



Lydia Galagovsky
Directora

QUÍMICA Y CIVILIZACIÓN

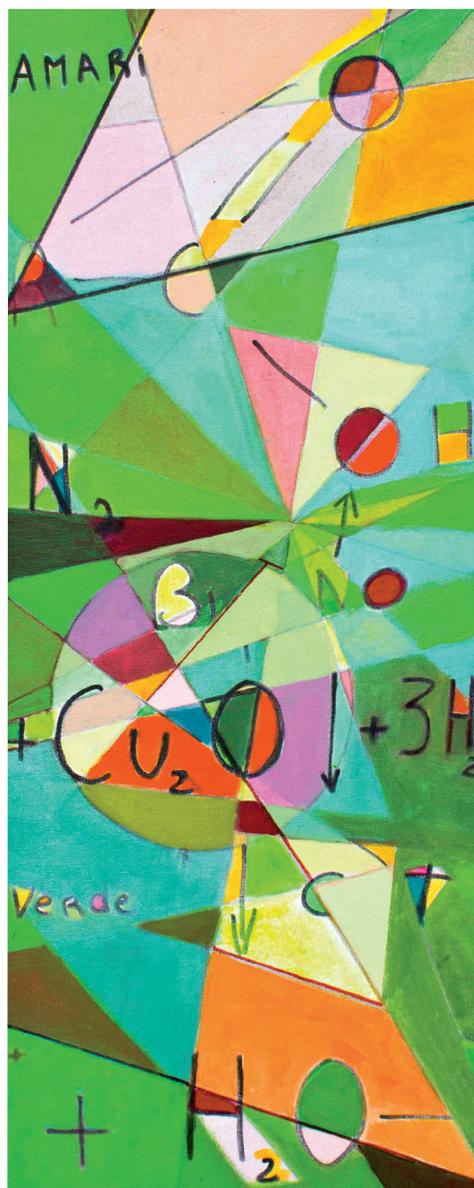
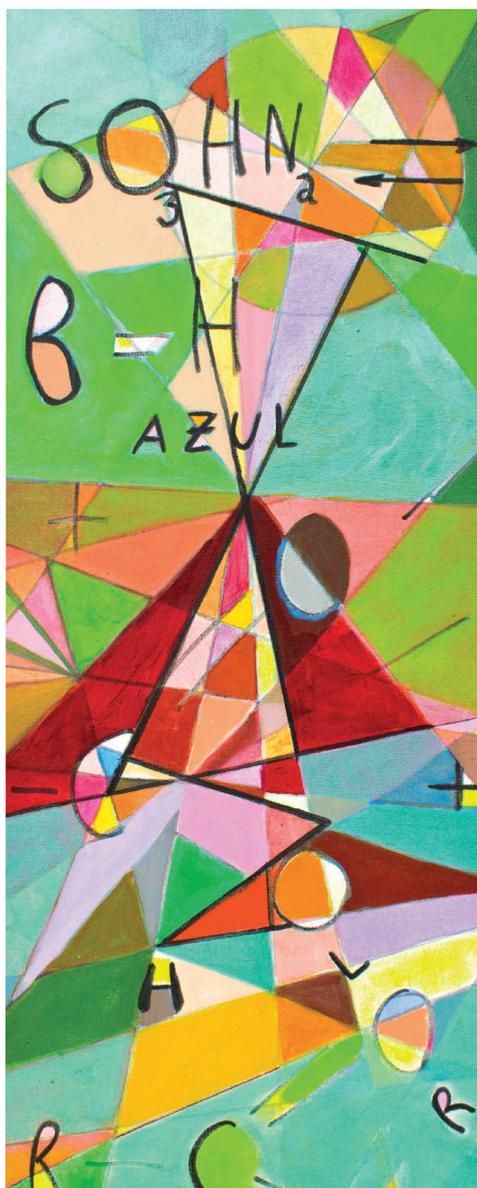


Asociación Química Argentina

QUÍMICA Y CIVILIZACIÓN



ASOCIACIÓN QUÍMICA ARGENTINA



*Química y Civilización / dirigido por Lydia R. Galagovsky. - 1a ed. - Buenos Aires: Asociación Química Argentina, 2011.
408 p. ; 30x21 cm.*

ISBN 978-987-99428-3-3

1. Historia de la Química. I. Galagovsky, Lydia R., dir.
CDD 540.09

Fecha de catalogación: 09/09/2011

Diseño y diagramación **PARADIGMA**

Con una tirada de 2250 ejemplares

Impreso en Argentina

Queda hecho el depósito que previene la ley 11.723

ISBN 978-987-99428-3-3

No se permite la reproducción total o parcial, de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos, sin el permiso previo del editor.

Este libro fue impreso en los talleres gráficos de **CCC Educando**

Los capítulos de este libro son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Diseño de tapa realizado por Karina Varela para **PARADIGMA** sobre fotografías tomadas por Pablo Landolfi a la obra titulada "¿Hay Química?", realizada por el artista plástico Guillermo Spector, con pintura acrílica sobre tela en tríptico de 30 x 80 cm.

QUÍMICA Y CIVILIZACIÓN

DIRECTORA

Lydia R. Galagovsky

AUTORES

María M Arecoa, Alicia Baldessari, Enrique J. Baran, José Sebastián Barradas, Delia L. Bernik, Miguel A. Blesa, Pablo M. Botta, Andrea Bruttomesso, María Pilar Buera, Gerardo D. Castro, Patricia Cerrutti, Isaac Marcos Cohen, Celia E. Coto, Norma B D'Accorso, Alejandro Drewes, María dos Santos Afonso, María Inés Errea, María Alejandra Fanovich, Mirta Liliana Fascio, Héctor Fasoli, Juan Carlos Furnari, Alberto A. Ghini, Lydia R. Galagovsky, María Joselevich, Miguel Katz, Teodoro S. Kaufman, Ruth Ladenheim, Melisa Elsa Lamanna, Carlos P. Lantos, Marta S. Maier, Laura Matkovic, Albertina Moglioni, Martín Negri, Héctor Santiago Odetti, Oscar Héctor Pliego, Silvia Porro, José M. Porto López, Silvia Susana Ramírez, Florencia Mabel Rembado, María Victoria Rossetti, Luis Federico Sala, Alberto Santiago, Norma Sbarbati Nudelman, Rolando A. Spavanello, Alejandra G. Suárez, Osvaldo Teme Centurión, Héctor R. Tévez, Marcelo Wolansky.



ASOCIACIÓN QUÍMICA ARGENTINA



Ministerio de
Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva
Presidencia de la Nación

*Este libro ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia,
Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.
Secretaría de Planeamiento y Políticas. República Argentina.*

HACIA UNA ARGENTINA DEL CONOCIMIENTO: Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo con Inclusión Social	XI
<i>Dra. Ruth Ladenheim</i>	
¿POR QUÉ ESTOS LIBROS?	XIII
<i>Dra. Lydía R. Galagovsky</i>	
PRÓLOGO	XVII
<i>Dra. Lydía Galagovsky, Dr. Héctor Fasoli</i>	
LA FORMACIÓN EN QUÍMICA PERMITE EL ACCESO A MÚLTIPLES DISCIPLINAS ESPECIALIZADAS. UNA ESENCIA QUE VA CAMBIANDO A LA CIVILIZACIÓN (R)....	1
<i>Dra. Celia E. Coto</i>	
<i>Contratapa: Los seres humanos curiosos podemos preguntarnos</i> <i>Dra. Lydía Galagovsky</i>	

Relatos sobre químicos, sus circunstancias y contextos

LA CONTRIBUCIÓN DE JEAN REY A LA TEORÍA DE LA COMBUSTIÓN Y LA CALCINACIÓN (Resumen)	13
<i>Dr. Miguel Katz</i>	
CONTRIBUCIÓN DEL CONOCIMIENTO QUÍMICO A LA SUPERVIVENCIA HUMANA. LOS CASOS DE LAVOISIER Y PASTEUR (Resumen)	21
<i>Dr. Alberto A. Ghini y Dr. Carlos P. Lantos</i>	
LA ALQUIMIA DEL VERBO (Resumen)	35
<i>Dr. Héctor Santiago Odetti</i>	
LOS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DESCUBIERTOS EN AMÉRICA (Resumen)	41
<i>Dr. Enrique J. Baran</i>	
DE LA ACADEMIA A LA EMPRESA: WILLIAM PERKIN Y EL COLOR VIOLETA (Resumen)	45
<i>Dra. Lydía Galagovsky</i>	
JUGANDO AL "SOLITARIO" CON LOS NAIPES DEL CREADOR MENDELEEV Y LA TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS (Resumen)	55
<i>Dr. Teodoro S. Kaufman</i>	
LOS QUE PUDIERON SER MENDELEEV Y SUS SUCESOSES. INTENTOS INFRUCTUOSOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y MODIFICACIONES NOTABLES A LA TABLA PERIÓDICA DE MENDELEEV (Resumen)	67
<i>Dr. Teodoro S. Kaufman</i>	
LA QUÍMICA Y SUS CONTEXTOS. EL CASO FRITZ HABER (Resumen)	75
<i>Dr. Miguel Katz</i>	
DOS QUÍMICOS EN EL MUNDO DE LA FÍSICA: EL DESCUBRIMIENTO DE LA FISIÓN NUCLEAR (Resumen)	93
<i>Dr. Juan Carlos Furnari y Dr. Isaac Marcos Cohen</i>	
NIELS BOHR EN MANHATTAN. UN DISCURSO SOBRE LOS ÁTOMOS ENTRE LA GUERRA Y LA PAZ (1943-1950) (R)	99
<i>Dr. Alejandro Drewes</i>	
LA AVENTURA DE LA CORTISONA: QUÍMICA, MEDICINA Y GUERRA (Resumen)..	113
<i>Dra. María Joselevich</i>	

Relatos sobre químicas, sus circunstancias y contextos

MUJERES EN LA CIENCIA: MARIE-ANNE PIERRETTE PAULZE LAVOISIER (Resumen) <i>Dr. Miguel Katz</i>	125
“LA QUÍMICA” EN EL SIGLO XXI... (Resumen)..... <i>Dra. Norma Sbarbati Nudelman</i>	131
WATSON Y SU DESCUBRIMIENTO (Resumen) <i>Dra. Laura Matkovic</i>	137
MARJA SKLODOWSKA Y LISE MEITNER: SUS VICISITUDES Y LOGROS EN LA QUÍMICA NUCLEAR (Resumen)..... <i>Dr. Oscar Héctor Pliego</i>	149

Devenir y porvenir de áreas de la Química

QUÍMICA MEDICINAL: UNO DE LOS PILARES EN LA FORMACIÓN DEL PROFESIONAL FARMACÉUTICO (Resumen) <i>Dra. Albertina Moglioni</i>	161
LA QUÍMICA Y LOS MATERIALES CERÁMICOS: DESDE LAS ARCILLAS BABILÓNICAS HASTA LAS MEMORIAS DIGITALES (Resumen) <i>Dr. José M. Porto López, Dr. Pablo M. Botta y Dra. María Alejandra Fanovich</i>	169
LOS (MICRO)ALQUIMISTAS MÁS ANTIGUOS DEL PLANETA (Resumen) <i>Dra. Patricia Cerrutti</i>	183
POLÍMEROS: DESDE GOODYEAR HASTA LOS MICROCHIP (Resumen)..... <i>Dra. Mirta Liliana Fascio, Dra. Melisa Elsa Lamanna y Dra. Norma B. D'Accorso</i>	191
QUÍMICA, BIOMIMÉTICA Y SENSORES. PARTE I (Resumen) <i>Dra. Delia L. Bernik</i>	201
QUÍMICA, BIOMIMÉTICA Y SENSORES. PARTE II: DISPOSITIVOS ANALÍTICOS (Resumen) 211 <i>Dr. Martín Negri</i>	211
DE LOS PLÁSTICOS QUE CONDUCEN LA ELECTRICIDAD Y LA ELECTRÓNICA MOLECULAR. EL VALOR DE LA CIENCIA INESPERADA (Resumen) 221 <i>Dra. Andrea Bruttomesso</i>	221
EPIDEMIOLOGÍA MOLECULAR: LA CONTRIBUCION DE LA QUÍMICA A LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES DE ORIGEN AMBIENTAL (Resumen)..... <i>Dr. Gerardo D. Castro</i>	231

Química, sociedad y medio ambiente

LAS MUJERES Y LA QUÍMICA: UNA COMPLICIDAD DE GÉNERO (Resumen)..... <i>Dra. Silvia Porro</i>	243
DE LA SOPA DE LA ABUELA A LA COMIDA RÁPIDA... ¡MUCHO MÁS QUE MUCHO TIEMPO! (Resumen) <i>Esp. Lic. Florencia Mabel Rembado y Bqca. Silvia Susana Ramírez</i>	255

LA QUÍMICA, EL COLOR, LOS ALIMENTOS Y EL ARTE (Resumen).....	263
<i>Dra. María Pilar Buera</i>	
DEGRADACIÓN Y MOVILIDAD DE LOS AGROQUÍMICOS EN SUELOS Y AGUAS NATURALES. CASOS DE ESTUDIO EN ARGENTINA (Resumen).....	275
<i>Dr. Héctor R. Tévez y Dra. María dos Santos Afonso</i>	
LA QUÍMICA SUBYACENTE AL CULTIVO DE SOJA. UN BALANCE NECESARIO ENTRE EL BENEFICIO ECONÓMICO Y LA PRESERVACIÓN DEL AMBIENTE (Resumen).....	285
<i>Dra. María Inés Errea, Dr. José Sebastián Barradas y Dra. Norma B. D'Accorso</i>	
TRESCIENTOS CINCUENTA AÑOS DE QUÍMICA. LOGROS, ERRORES, TRIUNFOS, FRACASOS Y DESAFÍOS PARA EL SIGLO XXI (Resumen)	293
<i>Dr. Miguel A. Blesa</i>	
LOS PECADOS DE LA QUÍMICA (Resumen)	303
<i>Dr. Rolando A. Spanevello y Dra. Alejandra G. Suárez</i>	
QUÍMICA PARA COMPRENDER AL MUNDO. DOS EJEMPLOS AMBIENTALES (Resumen)	311
<i>Dr. Luis Federico Sala</i>	
BIOSORCIÓN: UN MÉTODO ALTERNATIVO PARA EL TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS (Resumen)	317
<i>Dra. María M. Areco y Dra. María dos Santos Afonso</i>	
ENZIMAS QUE NOS CONDUCEN HACIA LA QUÍMICA VERDE (Resumen).....	325
<i>Dra. Alicia Baldessari</i>	
LA QUÍMICA Y EL DEPORTE (Resumen).....	335
<i>Dr. Osvaldo Teme Centurión</i>	
¿EVITAR EL DOLOR? ¿BÚSQUEDA DE LA FELICIDAD? DROGAS DE USO Y ABUSO (Resumen).....	347
<i>Dr. Marcelo Wolansky y Dra. María Victoria Rossetti</i>	
ASPECTOS QUÍMICOS DE LOS ALIMENTOS UTILIZADOS POR EL EJÉRCITO DE LOS ANDES PARA EL CRUCE DE LA CORDILLERA, EN 1817 (Resumen).....	363
<i>Prof. Alberto Santiago</i>	
QUÍMICA Y ARTE. TECNOLOGÍA E HISTORIA (Resumen)	369
<i>Dra. Marta S. Maier</i>	

HACIA UNA ARGENTINA DEL CONOCIMIENTO: Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo con Inclusión Social

Dra. Ruth Ladenheim*

Según una estimación de las Naciones Unidas el planeta contará con más de nueve mil millones de habitantes para el año 2050, a los que habrá que proveer de alimentos, acceso al agua potable, servicios de salud, transporte, vivienda y energía, entre otros. Al mismo tiempo, la Tierra manifiesta alteraciones en gran parte de sus ecosistemas en general y en los cursos de agua dulce, suelos, costas y humedales en particular. Desde una perspectiva global, la escasez e inequitativa distribución de los recursos existentes a nivel mundial dejan en claro que es preciso generar nuevas alternativas ambientalmente sostenibles para pensar el crecimiento económico y el desarrollo social. Desde una perspectiva nacional y regional, estos objetivos deben integrarse a la necesidad de avanzar en la construcción de un modelo de desarrollo que además ponga en un primer plano la reorientación del perfil productivo a partir del uso intensivo del conocimiento, el uso ambientalmente responsable de los recursos naturales, la creación de puestos de trabajo calificados y la inclusión social.

El conocimiento resulta un factor estratégico para poder enfrentar estas problemáticas. La Química es una de las ciencias básicas de las que se ha servido el hombre para aprender sobre los fenómenos y materiales de la naturaleza y usarlos en su provecho. Su objeto de estudio es la composición, estructura y propiedades de la materia y las transformaciones que ésta experimenta. Además, sus descubrimientos y desarrollos brindan la posibilidad de encontrar soluciones a los problemas anteriormente mencionados: sistemas de potabilización del agua contaminada; aumento en la producción de alimentos a través de la biotecnología; nuevas generaciones de fármacos; investigación acerca de las propiedades de la materia a nano escala y su aprovechamiento con las nanotecnologías; y desarrollo de bio-refinerías; son algunos ejemplos.

En la actualidad, existen 7 millones de investigadores alrededor del mundo, acompañados de un gasto en Investigación y Desarrollo (I+D) de u\$s 1.000 billones¹ (45% superior al de 2002) y de la producción de 25.000 revistas científicas². Su ritmo de producción exponencial ha quedado de manifiesto en iniciativas como el proyecto genoma humano, que requería hace dos décadas de millones de dólares y hoy - con unos

pocos miles de dólares y en pocos días - podemos acceder a la secuencia completa del genoma de casi cualquier especie.

En la última década, la inversión en I+D ha crecido en todo el mundo de la mano de consignas movilizadoras como la sociedad del conocimiento, la innovación y la economía basada en el conocimiento. La inversión en I+D de los países de América Latina y el Caribe (ALC) aumentó en el período a un ritmo mayor que en los países industrializados. Argentina posee una importante tradición científica reconocida mundialmente con tres Premios Nobel en Ciencias. Sin embargo, los investigadores latinoamericanos tradicionalmente se alinearon y coordinaron en agendas científicas y tecnológicas concebidas fuera de la región. De esta manera, generaron conocimiento aplicado que en la práctica no lo fue porque su producción ha estado en gran medida desacoplada de las necesidades locales de su tejido productivo, de sus instituciones y de sus actores sociales.

Por esta razón, desde el año 2003, el Gobierno Nacional puso énfasis en el fortalecimiento del sistema científico y la promoción de la innovación en el sector privado, orientando su accionar al desarrollo de un modelo productivo que genere mayor inclusión social y mejore la competitividad de la Argentina, bajo el paradigma del conocimiento como eje del desarrollo. Esta nueva orientación en la política científica y de innovación se plasmó en el año 2007, cuando la presidenta Cristina Fernández de Kirchner decidió crear el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (MINCyT), a cargo del Doctor en Química José Lino Barañao.

El fortalecimiento del sistema científico se vio reflejado en el aumento del 49,6% de los recursos humanos (investigadores, becarios y personal técnico) y en el incremento de más del 340% en la inversión destinada a investigación y desarrollo. Asimismo, desde el MINCyT pusimos a disposición un importante y diversificado abanico de instrumentos destinados a financiar la actividad científica y de un ambicioso plan de infraestructura que vino a revertir años de desidia y abandono.

Como estrategia complementaria y no menos crucial, la promoción de la innovación en el sector pro-

*. Secretaría de Planeamiento y Políticas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.

1. "Se refiere a billones sajones. Un billón sajón equivale a mil millones europeos.

2. Royal Society. "Knowledge, Networks and Nations: Global scientific collaboration in the 21st century" (2011).

ductivo está concebida como la clave para mejorar la productividad y generar más y mejores empleos. Con este fin, el Ministerio financia proyectos de innovación y modernización tecnológica en empresas, especialmente en las PyMEs, a través de diferentes modalidades de aportes reembolsables y no reembolsables. Asimismo, es de destacar la política de fomento a la generación de nuevas Empresas de Base Tecnológica, financiando desarrollos experimentales, infraestructura, aportando capital semilla para emprendimientos y desarrollando marcos legales adecuados para ello. También avanzamos en el fomento de lazos duraderos entre los sectores de producción del conocimiento y la economía, en las actividades de vigilancia tecnológica, transferencia y protección de la propiedad intelectual, y en la formación de gerentes tecnológicos.

La decisión del Ministerio de generar nuevos mecanismos para que la ciencia sea aplicada a la resolución de problemas socio-productivos condujo a la creación, en el marco de su Secretaría de Planeamiento y Políticas, de las denominadas políticas orientadas, una nueva generación de herramientas a través de las cuales se asignan recursos para favorecer el desarrollo de áreas (nanotecnología, biotecnología y TIC) y sectores estratégicos para el país: agroindustria, energía, salud, ambiente y desarrollo sustentable y desarrollo social. Los Fondos Sectoriales son el instrumento central de esta nueva política que apunta a dar respuesta a las necesidades, expectativas y demandas del Estado y la sociedad, y que al presente ha significado un salto cualitativo inédito en la vinculación del sistema público de I+D con el sector productivo.

Tenemos la convicción de que los desarrollos científicos mostrarán sus verdaderos frutos cuando sus resultados se orienten a mejorar la calidad de vida de todos los habitantes de nuestro país, siendo éstos conscientes de las implicancias que la ciencia y la tecnología tienen en sus vidas. Esto requiere un verdadero cambio cultural que el Ministerio ha decidido encarar realizando un esfuerzo inédito a nivel regional hacia la apropiación social del conocimiento científico tecnológico generado en nuestro país.

De esta manera, surge Tecnópolis⁴. Esta muestra es la expresión de un cambio cultural, y por sobre todas las cosas, de una política que pone a la ciencia y a la tecnología en un lugar clave como motor del desarrollo productivo y social. Tecnópolis recupera lo que fuimos capaces de hacer y adelanta lo que podemos hacer con talento, creatividad y conocimiento.

Asimismo, Tecnópolis TV será la primera señal íntegramente digital del país y se orientará a dar publicidad a las carreras científico-tecnológicas para fomentar nuevas vocaciones científicas y a promover

la innovación en las pequeñas y medianas empresas. Nuestro país precisa de más químicos, matemáticos, computadores, físicos e ingenieros, entre otros profesionales, para avanzar hacia un modelo de país basado en el conocimiento.

Como sostiene el lema del Año Internacional de la Química: "Química, nuestra vida, nuestro futuro", creemos muy importante divulgar el quehacer científico-tecnológico de esta disciplina. La química está fuertemente presente en todas las actividades que el Ministerio organiza con este fin, como el Programa "Los científicos van a las escuelas" orientado a acercar a los científicos al ámbito educativo y realizar un acompañamiento al docente que redunde en el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias naturales y la matemática; la Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología; CINECIEN el Festival de Cine y Video Científico o el Concurso Nacional de Innovaciones, INNOVAR.

Investigar en Química en Argentina es una tarea valiosa y apasionante. Los libros que publica la Asociación Química Argentina y que desde el Ministerio hemos decidido apoyar, son estímulos para todos aquellos que quieran acercarse a las experiencias de los verdaderos protagonistas de esta disciplina: los químicos. El Libro "La Química en Argentina" presenta un relato sobre la historia de las instituciones de base química; los químicos y químicas con sus experiencias personales en el desempeño de la profesión, así como las empresas y empresarios que apostaron al desarrollo de una pujante industria en nuestro país. En los distintos capítulos que se desarrollan a lo largo del libro "Química y Civilización", podremos conocer más de cerca cuáles fueron esos descubrimientos que impactaron profundamente en la historia de la humanidad, los errores y aciertos de la investigación química y en la utilización de sus productos y la preocupación actual para subsanar los daños cometidos en perjuicio de la sociedad y el medio ambiente, así como la implicancia de esta ciencia en nuestra vida cotidiana.

En palabras de la señora Presidenta de la Nación "hemos tomado la decisión de privilegiar el talento, la inteligencia, la educación, la ciencia y la tecnología como los verdaderos motores que van a permitirnos profundizar este proceso de transformación y distribución del ingreso"⁵. Y esto es una invitación abierta a que todos juntos, de manera asociada y articulada, trabajemos por una Argentina del conocimiento más justa y más equitativa.

3. *Tecnópolis es una gran exposición de ciencia, tecnología y arte que refleja los 200 años de desarrollo de la Argentina inaugurada en julio de 2011. A través de conferencias, instalaciones, experimentos y talleres los visitantes pueden establecer una relación directa con el mundo de la ciencia, la tecnología y la innovación. La muestra está dividida en cinco continentes cada uno de los cuales responde a una construcción icónica: Tierra, Agua, Aire, Fuego e Imaginación. 1. Billones estadounidenses. En castellano corresponde a un millón de millones.*

4. *Discurso de la Presidenta Cristina Fernández de Kirchner en la inauguración de la Muestra Tecnópolis (2011).*

¿POR QUÉ ESTOS LIBROS?

En 2012 la Asociación Química Argentina cumple 100 años de vida como institución. Este hecho relevante nos ha movilizado para recuperar la memoria de quienes pudieran y quisieran contar a las nuevas generaciones historias sobre la Química en la Argentina, a través de relatos sobre acciones y experiencias de mujeres y hombres involucrados en un accionar académico, empresario o industrial relacionado con esta disciplina científica. La idea fue la constitución de dos libros: "La Química en la Argentina" y "Química y Civilización".

Esta decisión responde a dos cuestiones fundamentales:

Por un lado, se registra una problemática mundial respecto de la merma de la matrícula de estudiantes que se deciden a estudiar carreras de Química; esta situación se reproduce en la Argentina. Por lo tanto, un requerimiento fuerte para los autores de los capítulos fue la consigna de escribir para lectores "no químicos".

Por otro lado, los profesionales de la Química, apasionados por esta disciplina, deberíamos ser los "comunicadores naturales" para transmitir la importancia de este área científica a lectores nuevos, desconectados del interés directo por la lectura de contenidos químicos específicos. Por lo tanto, otro requerimiento fuerte para los autores fue la consigna de rescatar aspectos humanos de las historias a ser contadas, anécdotas, peripecias, esfuerzos, frustraciones y logros.

En base a estas dos premisas, nos dimos cuenta que debíamos responder con hechos concretos a la pregunta: *Si los químicos -conocedores apasionados por la Química- no podemos transmitir ese "fuego sagrado" a las nuevas generaciones... ¿Quién lo hará por nosotros?*

Simultáneamente a esta decisión, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó durante su 63ª reunión celebrada en diciembre de 2008 que el año 2011 fuera declarado Año Internacional de la Química, y confió su organización a la UNESCO y a la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Con ese objetivo se ideó la realización una serie de actividades para poner de manifiesto los logros de la Química y su contribución al bienestar de la humanidad. La idea que promueve estos eventos es hacer aportes para aumentar la toma de conciencia y la comprensión por parte del gran público sobre cómo la química puede responder a las necesidades del mundo; para fomentar el interés de los jóvenes hacia la Química; y para celebrar las contribuciones de las mujeres al mundo de la Química (por ello, la celebración coincide con el centenario de la concesión del premio Nobel de Química a Marie Curie, en 1911).

El lema de la designación UNESCO es: *"Química: nuestra vida, nuestro futuro"*. Estas palabras, resumen perfectamente nuestro propósito de generación de los libros "La Química en la Argentina" y "Química y Civilización". Sin embargo, son sólo cinco palabras... El reto con el que nos enfrentamos es que los destinatarios no químicos del lema sólo lean cinco palabras

y no capten el sentido visceral que le otorgamos los químicos. La pregunta que nos desafía es, entonces *¿Cómo lograr expresar las significaciones vehementes que los químicos les otorgamos a esas cinco palabras?* Se trata de tender un puente para superar el abismo de comunicación entre la trascendencia y el valor que a esas cinco palabras le adjudicamos lectores químicos o lectores no-químicos.

Bajo estas ideas hemos generado estos libros con el aporte imprescindible de colegas-autores de capítulos, quienes han tenido y/o tienen un desempeño activo en el mundo de la Química.

Confiamos en que estos libros constituirán insumos valiosos para la formación de futuras generaciones, particularmente desde considerar los siguientes aportes:

Aportes para la cultura

Frecuentemente los argentinos no estamos al tanto de la variedad de instituciones científicas y académicas con las que el país cuenta. La información sobre nuestras instituciones, sus historias, logros y potencialidades es imprescindible para construir en los jóvenes un conocimiento sobre la riqueza de la sociedad en que nos desenvolvemos.

La construcción de unidades científico-académicas a lo largo y a lo ancho del país, no se debió a un fenómeno de *generación espontánea*. Muy por el contrario, fue la visión, decisión, trabajo, empeño y desempeño de quienes las idearon, fundaron y desarrollaron, el motor que las generó y potenció, y el compromiso de sus actuales integrantes el factor que las sostiene.

La Argentina produce profesionales con nivel de excelencia y los resultados científicos son propios de ámbitos del *primer mundo*, fundamentalmente, a partir de las capacidades de sus recursos humanos involucrados en la formación y docencia científico-tecnológica y de la calidad de sus estudiantes, y no necesariamente a partir de la sofisticación del equipamiento de centros y universidades.

Evidentemente, los saltos tecnológicos requieren de la actualización en equipamiento, y el grado de recambio y progreso en este sentido obliga a los centros de investigación y docencia a no perder lugares en esta carrera. Actualmente, el acceso casi inmediato al conocimiento científico que se produce en el mundo, y la vertiginosidad de requerimientos de equipamiento de última tecnología enfrenta a las nuevas generaciones de químicos a desafíos renovados. Por ello, tener memoria sobre cómo nuestros maestros enfrentaron sus desafíos y los superaron, nos podrá dar confianza y aliento: *la ciencia química en la Argentina siempre se ha destacado por la calidad constante de sus recursos humanos*. Eventualmente, con dinero los equipamientos se pueden comprar, pero las ideas y las voluntades de trabajo son cualidades de los individuos que sólo se generan en el seno de las sociedades.

En el libro "La Química y la Argentina" hay numerosos ejemplos de historias personales, de instituciones o

de empresas, que dan cuenta de esta *cultura química* que atesora nuestra sociedad en su seno. Obviamente no son todos los casos que existen en la Argentina... son sólo algunos ejemplos, que pueden considerarse paradigmáticos.

Aportes a una visión humanizada del profesional químico

Frecuentemente, la imagen naturalizada que tienen los jóvenes sobre los científicos cae en el estereotipo de "hombre, calvo, con anteojos y guardapolvo, abstraído frente a tubos de ensayo o a una computadora, ensimismado, distraído del mundo, parco, poco afectivo y poco divertido". Posiblemente la percepción general sea que los químicos son personas aplicadas a temas que no resultan de fácil comprensión para el "resto" de la gente...; y por lo tanto, están aislados, o sólo conversan con sus pares.

Numerosos autores de capítulos tanto del libro "La Química en la Argentina" como de "Química y Civilización" se revelarán a los lectores como comunicadores cálidos, entusiastas, llenos de las cualidades que nos hacen humanos. Relatos personales en primera persona, anécdotas, historias en sus contextos de vida, osadas formas de encarar narraciones, referencias a hechos culturales fuera del campo estrictamente de la Química, son algunas de las satisfacciones que podrá encontrar el lector de estos libros.

Cuanto más alejada sea la imagen de un científico o de un profesional químico en relación a las capacidades y autoestima que siente como propias un joven, tanto más difícil será que ese joven intente indagar y reconstruir ese mundo que le resulta tan ajeno... Frecuentemente lo ignorará, o lo rechazará. Esta distancia, acartonamiento, congelamiento de la imagen que discrimina al científico como segregado de los valores y tradiciones del común de la gente, podrá, eventualmente, satisfacer la egolatría personal de algún científico, pero no invita a los jóvenes a sentirse parte de esta ínfima comunidad –en número-, ni permite ver la importancia de una integración de los valores y capacidades de la ciencia y de los científicos como ingrediente valioso para la sociedad.

Obviamente, hay muchos otros químicos y químicas que podrían aportar muchos más capítulos con los cuales mostrar que somos tan humanos como cualquier congénere... Los que presentamos en estos libros, son sólo algunos ejemplos.

Aportes a una visión de la Química en relación con la tecnología, la sociedad, y el ambiente

Los libros de texto de la asignatura Química, ya sean de nivel secundario o universitario suelen presentar los conceptos canónicos de la disciplina, en un orden y con una lógica que se ha mantenido por los últimos 40 años. Hay reclamos de algunos investigadores anglosajones en didáctica de la Química que, por un lado, cuestionan la lógica de los abordajes atómico-moleculares como camino único a través del cual se

enseña Química en la escuela secundaria y, por otro lado, sostienen que el currículo de química se constituye actualmente a partir de una cantidad de temas que se fueron agregando desde finales del siglo XIX como capas –muchas veces inconexas– a los programas de la asignatura. Ese currículo tiene, por lo tanto, una estructura de tipo "sedimentaria" donde el peso de estas capas de contenidos sucesivos habría desplazado a otros contenidos enriquecedores tales como las controversias, los contextos históricos, humanos, sociales, económicos, etc.

Lo cierto es que la problemática de falta de alumnos de secundaria que eligen materias de química y la merma en la matriculación de alumnos en carreras universitarias de base Química ha encendido fuertes luces de alerta. También resulta difícil modificar la cantidad de temas y el orden del currículo, por cuanto lleva *décadas de mantenerse esa tradición*.

Los libros "La Química en la Argentina" y "Química y Civilización" no responden a esa tradición de los textos de química. Entendemos y confiamos que este material bibliográfico puede ser refrescante, por ser único, inédito, escrito por especialistas que pueden responder a inquietudes de los lectores, con referencias a temáticas químicas que pueden ampliarse, investigarse, complementarse, y profundizarse hasta los niveles deseados por lectores, profesores y estudiantes.

Justamente, lo que se ha cuidado en cada capítulo es que no sea indispensable la comprensión de los conceptos químicos para la aprehensión de los significados del texto. Cada capítulo puede leerse desde múltiples enfoques: cómo están escritas las historias que se cuentan, la importancia de los contextos sociales de los relatos, la influencia de los escenarios políticos, las derivaciones empresarias y económicas que tuvieron o tienen aún. Desde este punto de vista, estos capítulos pueden ser insumos bibliográficos para muchas disciplinas de la escolaridad secundaria.

Aportes de nuevos formatos de presentación de información en Química

Se sabe que los sujetos humanos aprendemos desde niños mediante el juego y las narrativas. Sin embargo, los contenidos de los libros de texto de las ciencias naturales en general, y de la Química en particular, están llenos de clasificaciones, definiciones y ejercicios. Desde hace unas dos décadas, existen, además, propuestas editoriales donde se observan muchas imágenes en color, mucho espacio vacío, mucho picadillo de información, con "algo" de historia o de la vida cotidiana.

Estos formatos de informaciones parciales en un salpicado de vocabulario e imágenes no son fáciles de decodificar por los lectores novatos (estudiantes). Esta situación se suma al ambiente de clases escolares donde se sumerge a los estudiantes en un mundo artificial y limitado, en el que la experiencia previa y las cuestiones cotidianas pierden relevancia. Así, la información científica muchas veces resulta ininteligible para los estudiantes. Ellos manifiestan sus resistencias a someterse a un discurso ajeno a sus vidas, mediante el rechazo a estas asignaturas, que se construye, tam-

bién, sobre la percepción de la imposición de permanecer inmóviles en una silla interminables horas, con la prohibición de hablar con los compañeros, mirando alternativamente a un profesor y a una pizarra (o la computadora), luchando por mantener un mínimo interés y debiendo estudiar de memoria contenidos para ellos incomprensibles.

Los capítulos que aquí presentamos han cuidado extremadamente estos aspectos: las narraciones fueron los estilos literarios básicos sobre los cuales los autores construyeron sus discursos.

Aportes para la comunicación intergeneracional

Los autores de los capítulos de sendos libros están escritos por argentinos, mayoritariamente químicos, que están actualmente en actividad o que son ahora consultores por haber tenido una participación muy activa en el mundo académico, empresario o industrial. Todos ellos están accesibles para consultas por parte de los lectores, para lo cual al presentarse al inicio de cada capítulo han incluido sus direcciones de correo electrónico. La idea subyacente es tender un puente entre los jóvenes y los profesores potenciales lectores de estos libros que estuvieran interesados en contactarse con los autores.

Los conocimientos y el acervo cultural de los autores no se agotaron en la redacción de sus capítulos; muy por el contrario, los textos son una pequeña muestra del universo de sabidurías que ellos atesoran.

Las nuevas tecnologías de información y comunicación pueden ayudar al encuentro humano entre los jóvenes que deseen interesarse y profundizar en el conocimiento de los temas expuestos en estos libros y los autores de capítulos, quienes son representantes paradigmáticos de la erudición que se cobija en nuestra sociedad.

Por otra parte, azarosamente, las autoras mujeres constituimos el 39% de las contribuciones a los capítulos, lo cual simplemente resulta un indicador sobre cómo las estructuras académicas de la Argentina se han abierto como espacios de albergue y desarrollo de recursos humanos interesados en el estudio de la Química, más allá del género. La lectura de muchos de los capítulos dará cuenta de que este hecho es relevante y muestra la capacidad de nuestra sociedad de evolucionar y de superar barreras de prejuicios muy fuertemente instaladas en el mundo de la ciencia hasta mediados del siglo XX.

Finalmente, estos libros son una realidad gracias al aporte generoso y desinteresado de los autores de capítulos, colegas muy atareados que, sin embargo, han comprendido la trascendencia de las conmemoraciones convocantes y valoraron la oportunidad de comunicarse con lectores no especialistas en sus temas, haciendo un gran esfuerzo por expresarse en lenguajes accesibles.

Confiamos en que para cada capítulo, cada lector podrá disfrutar de una zambullida intelectual en mundos posibles: desde anécdotas íntimamente personales hasta datos objetivos, una gama de amenos contenidos expresados mediante variadas estéticas y

recursos expresivos son indicadores de las capacidades culturales y de comunicación de los autores.

Entre todos construimos la sociedad en que nos hallamos inmersos: así, autores y lectores también la formamos. Confiamos en que estos libros, con sus aportes, serán lazos que establezcan vínculos entre estamentos de nuestra sociedad, generados y sostenidos a partir del conocimiento mutuo.

Propósitos, desafíos, intenciones... Estos libros son el resultado del esfuerzo desinteresado de los autores de sus capítulos: químicos, químicos y profesionales de la Argentina, apasionados por lo que hacen y por las reconstrucciones históricas o de proyección científica que descubrieron haciendo ciencia y/o leyendo otros materiales bibliográficos, dispuestos a contárselos a los jóvenes. Comunicar para ayudar a recuperar memorias, para comprender la naturaleza humana de la actividad científica, para entender la importancia de los aportes de la Química como disciplina modeladora de la civilización... y para divertirse escribiendo.

Agradecimientos

La Asociación Química Argentina agradece profundamente al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (MINCyT) el otorgamiento de un subsidio específico para la concreción de los libros "La Química en la Argentina" y "Química y Civilización". Con su sustancial aporte material el MINCyT hizo posible que las ideas y los trabajos que son el contenido de estos libros adquieran una verdadera dimensión cultural al facilitar que lleguen en formatos impresos o digitales a sus naturales destinatarios.

Agradecemos también la enorme colaboración de los Dres. **Alfredo Weiss** y **Héctor Fasoli** en la lectura crítica de los capítulos.

Dra. Lydia R. Galagovsky
División Educación
Asociación Química Argentina

PRÓLOGO

Respecto de los objetivos del libro

El presente libro es el resultado del trabajo de químicos quienes como autores armaron sus relatos para lectores "no químicos". La idea de pensar en un público lector que no está especializado en la disciplina científica Química resultó a la vez un propósito y un gran desafío.

El propósito era generar un producto tangible para contribuir a modificar la "imagen" que generalmente se tiene de los químicos como personas aisladas en sus laboratorios, poco amigables, con gustos e intereses "diferentes", y con un discurso incomprensible.

Confiamos en que una opción para cambiar esta imagen podría ser escribir textos (producir discursos) sobre hechos químicos mediante narraciones destinadas a lectores no-expertos. Es lo que intentamos hacer en los capítulos de este libro.

El gran desafío fue cómo lograr contar cuestiones de química sin usar lenguajes específicos. Los autores de los capítulos son docentes e investigadores que tienen experiencia en comunicarse con otros químicos (en tesis doctorales, artículos en revistas científicas, libros para especialistas, etc.), pero la intrepidez de lograr transmitir ideas en otros lenguajes y formatos requirió mucho esfuerzo, y los indicadores de haberlo logrado con éxito se verán por el juicio de los lectores.

Preparar los capítulos de este libro significaba, entonces, presentar discursos para lectores no expertos en Química... Pero, ¿qué tipo de lectores? La propuesta de invitación a los autores señalaba que los capítulos debían ser atractivos para estudiantes de la escuela secundaria en adelante. ¿Por qué textos de Química para un público joven? El motivo es que constituyan una base bibliográfica inédita, fundamentada sobre dos criterios:

Por un lado, un criterio epistemológico sobre qué es la ciencia y qué es la actividad científica. Los contextos sociales, históricos, económicos y políticos son, en definitiva los escenarios creados por los seres humanos donde los químicos han trabajado y seguirán haciéndolo para realizar sus aportes específicos. La Química es una disciplina científica y, por lo tanto, sus contenidos son productos de la observación intencionada, del estudio, de la imaginación y del trabajo sistemático y apasionado de seres humanos. No se trata de una ciencia que descubre verdades existentes más allá de los humanos, porque si bien los objetos de estudio pueden ser en muchos casos objetos de la realidad circundante, los modelos con los que se los aborda provienen de perspectivas subjetivas. Por ejemplo, el hecho de no haber considerado problemas ambientales como derivaciones de los procesos químicos industriales y, ahora, desde los años '80 considerarlos imperiosamente, es un ejemplo simple de cómo la mirada humana es la que define al universo "real" a ser estudiado.

Las temáticas abordadas en los capítulos debían, por lo tanto, mostrarse en conexión con la cultura, explicitándose relaciones entre los hechos químicos y los hombres y mujeres que estuvieron involucrados en sus descubrimientos o aplicaciones. Los aportes debían mostrar la naturaleza humana de la ciencia como actividad de la civilización y, por lo tanto, los contenidos de cada capítulo debían estar contextualizados.

Por otro lado, debe tenerse un criterio epistemológico sobre qué significa enseñar Química a los jóvenes. Explicar las reflexiones que sustentan la respuesta a esta pregunta requiere referirse al menos a tres cuestiones relacionadas: la motivación, la tecnología y los lenguajes. Brevemente:

Primera cuestión: la Naturaleza ofrece millones de materiales que desde los comienzos de la Historia han atraído la curiosidad de los seres humanos, quienes se han esmerado en comprender para qué les podían servir y cómo los podían transformar. Así, a partir de los conocimientos de cada época, los humanos hemos podido aprender a utilizar desde la piedra pedernal para generar chispas y encender el valorado fuego, hasta crear herramientas de bronce y de hierro para dominar a otros pueblos, o desarrollar secretos remedios y venenos para dominar la frágil vida humana. Enseñar Química supondría, entonces, motivar a los estudiantes con la curiosidad que generan los materiales naturales, su manipulación, sus propiedades, sus posibles utilidades y sus transformaciones.

Segunda cuestión: desde la alquimia hasta finales del siglo XVII, las aproximaciones a los contenidos de la Química eran procedimentales, con técnicas macroscópicas y justificaciones que ahora llamaríamos "mágicas" (de hecho, hay quienes no consideran a la alquimia como precursora de la Química). El devenir de la civilización nos ha provisto actualmente con una cultura química que incluye millones de compuestos y materiales nuevos, y con explicaciones de nivel simbólico que se derivan de las teorías científicas del siglo XX. Aquellas técnicas se reinterpretaron a la luz de nuevos conceptos, dentro de nuevos modelos, enmarcados en nuevas teorías, descriptos con lenguajes específicos. La potencialidad de estos modelos y teorías permitió el desarrollo de nuevas tecnologías, como aplicaciones derivadas de los nuevos conocimientos científicos. Enseñar Química supondría, entonces, dar valor educativo a ese devenir, y no necesariamente presentar sólo información absolutamente sesgada a partir de lenguajes específicos y complejos modelos expertos más recientes. Un análisis de los libros de textos actuales muestra que este sesgo está generalizado, y que los discursos presentan a estos modelos como verdades absolutas, alejadas de los debates humanos por los que atravesaron.

Tercera cuestión: Desde finales del siglo XVIII, con el nacimiento de la Química como ciencia independiente, los químicos han debido ponerse de acuerdo e ir consensuando lenguajes específicos para los contenidos de la disciplina. Sus fórmulas, sus leyes, sus defini-

ciones, entes conceptuales y operaciones están llenos de códigos y de formatos sintácticos específicos. En un continuo crecimiento, durante el siglo XX se expandió vertiginosamente el vocabulario químico, incluyendo nomenclaturas, nuevas definiciones y elementos teóricos, matemáticos y gráficos; es decir, aumentó su riqueza lingüística para la comunicación entre expertos. Consecuentemente, los currículos y textos de la universidad fueron agregando más temas y más jerga específica al listado de lo que "hay que enseñar de Química". Pero fue hacia mediados de los años '70 que ese enfoque se precipitó sobre la enseñanza secundaria (primeramente en el mundo anglosajón), y así, los textos para este nivel se transformaron de tal forma que sólo explican modelos teóricos, con interpretaciones simbólicas y lenguajes expertos; y presentan eventos químicos muy específicos para confirmar esas informaciones simbólicas. Es decir, se ha producido un distanciamiento epistemológico entre los contenidos y los lenguajes expertos que presentan los textos de secundaria y las capacidades de procesamiento de información que pueden realizar lectores no expertos. Además, en su afán de "transmitir" mucha información en pocas páginas, con muchos colores, dibujos, esquemas, fotos y espacios en blanco, se han generado transposiciones didácticas epistemológicamente cuestionables.

En resumen, en los últimos 40 años se han producido decisiones curriculares y bibliográficas - a partir de las cuales, inevitablemente los docentes deben pivotar sus acciones - que habrían potenciado procesos de distanciamiento entre las generaciones de jóvenes y su motivación por el aprendizaje de la Química (Johnstone, 2010; Galagovsky, 2010).

El presente libro constituye un ejemplo bibliográfico que intenta romper esta tendencia. Es un libro diferente porque:

- está escrito por químicos de la Argentina, implicados en la educación universitaria, que, a partir de estos trabajos, pueden ser convocados para ampliar sus relatos;
- cada capítulo es una entrada al inmenso mundo de la Química desde puertas prácticamente inexistentes en los currículos tradicionales;
- todos los capítulos son "cajas de Pandora" desde donde se puede motivar a los estudiantes a desarrollar contenidos curriculares;
- los contextos recreados en los diferentes capítulos convocan al interés de lectores de áreas diferentes de la Química (como Historia, Economía, Sociología, Medicina, Psicología, etc.);
- desafía a reflexionar sobre qué significa enseñar Química a los jóvenes del siglo XXI.

Dra. Lydia Galagovsky

Johnstone, A. H. (2010). "You can't get there from here", *Journal of Chemical Education*, 87, pp 22-29.

Galagovsky, Lydia (2010). ¿Podrá modificarse el currículo de enseñanza de Química en la escuela secundaria? *Revista Industria y Química (Asociación Química Argentina)*, 361, pp 45-51.

Respecto de las secciones del libro

"Todo tiene que ver con todo", dicen los jóvenes cuando descubren relaciones probables entre hechos aparentemente desconectados. Tal vez como una interpretación más o menos libre del "efecto mariposa" o de una reminiscencia de Anaxágoras de Clazomene, para entender el mundo en el que estamos inmersos es necesario tener conocimiento de los fundamentos de las disciplinas fácticas básicas: Física, Química y Biología. Los capítulos de este libro dan cuenta de ello, particularizándolo con ejemplos del área Química.

El presente libro se inicia con un capítulo escrito por la Dra. Celia Coto donde se presentan las múltiples sub-ramas de la Química -muchas de las cuales se ampliarán en las siguientes secciones- y ejemplos paradigmáticos de químicas y químicos que han constituido aportes que son hitos en el devenir de esta disciplina.

En la sección **Relatos sobre químicos, sus circunstancias y contextos** los autores han centrado sus textos en personajes históricos. De siglo en siglo, enmarcados por la cultura y demandas de conocimientos, la fuerza impulsora del devenir de la Química toma cuerpo sobre relatos personalizados. El Dr. Miguel Katz nos cuenta la contribución de Jean Rey, que a comienzos del siglo XVII hizo importantes aportes a la teoría de la combustión y la calcinación, comenzando a sentar las bases de la Química como disciplina científica. Los Dres. Alberto Ghini y Carlos Lantos relatan aspectos interesantísimos de la vida de Lavoisier, el genio que estableció las bases cuantitativas de la Química, y el gran Louis Pasteur, que no solo hizo aportes importantísimos a nuestra disciplina sino que es a quien debemos gran parte de nuestro triunfo en la lucha contra las infecciones. Seguidamente, el Dr. Héctor Odetti, a partir de su referencia al libro de Umberto Eco "El péndulo de Foucault", hace un pormenorizado estudio de referencias alquímicas a través de la historia, en un trabajo a la vez curioso y fascinante. Al respecto, quedará siempre la pregunta sobre si debemos considerar a la alquimia como precursora de la Química; ambas posiciones tienen sus defensores y el autor, sutilmente desliza el planteo al principio, al mencionar a personajes que fueron "alquimistas y/o químicos".

En la misma sección, el Dr. Enrique Baran nos relata la historia de los dos elementos químicos descubiertos en América y a continuación la Dra. Lydia Galagovsky cuenta la historia de William Perkin que, con la síntesis de la mauveína, dio origen a la industria de los colorantes sintéticos. En los dos capítulos siguientes el Dr. Teodoro Kaufman trata, primero, la vida y la obra de Demetrio Mendeleev, que con su Ley Periódica estableció uno de los grandes pilares que hacen de la Química una ciencia independiente y que se pone de manifiesto en la poderosa herramienta predictiva que llamamos Tabla Periódica. Inmediatamente después el autor nos cuenta sobre los antecesores y sucesores de Mendeleev, prueba clara de que una obra monumental es resultado de la contribución de muchos esfuerzos sucesivos.

Los cuatro capítulos finales de la sección nos muestran las relaciones históricas entre la Química y el período de las dos grandes guerras del siglo XX. El Dr. Miguel Katz nos relata los trabajos de Fritz Haber en la Alemania de aquellos días. Los doctores Juan Carlos Furnari y Marcos Cohen tratan sobre el descubrimiento de la fisión nuclear; el Dr. Alejandro Drewes se adentra en un tema siempre espinoso: el proyecto Manhattan, y la Dra. María Joselevich cuenta la historia de la cortisona, un ejemplo más sobre los avances científicos que se producen durante los conflictos bélicos. Estos capítulos nos hacen reflexionar sobre la ciencia como actividad humana y sobre delgada línea que separa las posibles aplicaciones de la ciencia con las decisiones morales y éticas, cuando resuenan tambores de guerra.

En la sección **Relatos sobre químicas, sus circunstancias y contextos** se muestra, como en un espejo deformante, cómo las mismas épocas, circunstancias y demandas han desplegado poderes distorsionantes cuando se aplicaban a hombres o mujeres. Siendo 2011 el Año Internacional de la Química en homenaje al centenario de la concesión del premio Nobel de Química a Marie Curie, consideramos más que oportuno refrescar memorias sobre mujeres científicas y sus contextos.

En el primer capítulo, el Dr. Miguel Katz cuenta la vida de Madame Lavoisier, quien colaboró activamente en los trabajos de su esposo, el “padre de la Química”. Seguidamente, la Dra. Laura Matkovic, a través de la historia del descubrimiento de la estructura del ADN, nos recuerda a Rosalind Franklin, que injustamente ha sido una convidada de piedra en un descubrimiento crucial para la ciencia; y el Dr. Oscar Pliego relata las contribuciones de María Skłodowska y Lisa Meitner a la Química Nuclear. El capítulo de la Dra. Norma Nudelman nos presenta datos que resultan indicadores de mejoras en la proporción de mujeres involucradas en la actividad científica, aunque no de la superación completa de aquellas tendencias que por acción u omisión conducen a discriminaciones por género.

En la sección **Devenir y porvenir de áreas de la Química** los autores son investigadores que centran sus trabajos científicos actualmente en desarrollo en algunos de los tópicos sobre los que narran en sus capítulos. Para los jóvenes lectores que quieren saber el inmenso abanico de posibilidades que existe en la investigación y las aplicaciones de la Química, los ocho capítulos de la sección darán un panorama sobre alguna de las más interesantes contribuciones actuales de la Química.

El capítulo de la Dra. Albertina Moglioni trata sobre Química Medicinal, una disciplina cuyo objetivo final es el diseño de nuevas moléculas para la obtención de medicamentos. Los Dres. José Porto López, Pablo Botta y María Alejandra Fanovich hacen un relato sobre la historia y perspectiva de las aplicaciones de los materiales cerámicos, desde las piezas de arte babilónico hasta sus increíbles aplicaciones actuales en tecnología digital.

El capítulo de la Dra. Patricia Cerruti nos sumerge en el mundo de la microbiología y de los procesos químicos para la obtención de alimentos. Las Dras. Mirta Fascio, Melisa Lamanna y Norma D’Accorsso nos cuentan sobre la fructífera historia de los polímeros y sus aplicaciones tecnológicas, relatando sobre la enorme variedad de este tipo de materiales que utilizamos cotidianamente tanto en los neumáticos de nuestros vehículos, como en las más pequeñas piezas de la electrónica de nuestras computadoras personales.

En los dos capítulos que siguen la Dra. Delia Bernik y el Dr. Martín Negri se adentran en el mundo de la Química Biomimética y sus aplicaciones, una muestra de los esfuerzos del ser humano de construir sistemas más eficientes imitando las soluciones que la naturaleza encontró para resolver sus propios problemas. La Dra. Andrea Bruttomesso trata también con un tema de frontera: materiales plásticos conductores de la electricidad y electrónica molecular.

Cierra la serie el Dr. Gerardo Castro explicándonos cómo la Química contribuye a la prevención de enfermedades a través de la denominada epidemiología molecular.

Finalmente, en la sección **Química, sociedad y medio ambiente** se presenta una selección de tópicos que dan cuenta de la importancia que tiene para un país contar con una comunidad de químicos, por la variedad de temas y categorías que aborda la Química.

En el primer capítulo, la Dra. Silvia Porro trata sobre las relaciones entre Química y civilización desde la óptica de las mujeres, sus tareas habituales, necesidades y desempeños en una sociedad que evoluciona. La Esp. Mabel Rembado y la Bqca. Silvia Ramírez particularizan en su capítulo la evolución de la comida como hecho químico cotidiano, y nos ayudan a reflexionar acerca de cuánto ha participado la Química y los químicos en toda esa evolución que se desarrolló en forma paralela a profundos cambios sociales. En torno a los alimentos, los tres capítulos siguientes nos muestran diferentes enfoques en los que los químicos tenemos mucho para hacer y para investigar: la Dra. Pilar Buera nos sumerge en el mundo interior de los colores de los alimentos, y su relación con la tecnología y la economía. Mientras, los Dres. Héctor Tévez y María dos Santos Afonso nos alertan -tanto en forma general como específica de la Argentina- sobre la necesidad de hacer estudios acerca de las estrategias de uso de agroquímicos para el cultivo de alimentos, y de las dificultades teóricas y prácticas que supone hacer ese tipo de estudios. A continuación, la Dra. María Inés Errea, el Dr. José Barradas y la Dra. Norma D’Accorsso analizan situaciones actuales, tanto desde el punto de vista químico como del impacto socio-económico generado por los cambios producidos en el mapa agrícola del país.

Los siguientes cinco capítulos se relacionan entre sí con respecto a la concientización que ha llevado a la civilización humana a considerar el cuidado del medio ambiente como un aspecto prioritario del desarrollo científico-tecnológico. El Dr. Miguel Blesa nos presenta a través de la historia del elemento cloro y sus aplicaciones, un panorama sobre los últimos 350 años de historia de la Química en la que se han realizado

aportes fundamentales para la humanidad, y también sustancias que, a la larga, demostraron ser perjudiciales para el hombre. En el capítulo del Dr. Rolando Spanevello y la Dra. Alejandra Suárez centrado en la generación y uso de armas químicas, los autores nos hacen reflexionar sobre cómo con el advenimiento de la revolución industrial, el uso dual del conocimiento científico adquirió una relevancia preponderante: desde mejorar la calidad y la duración de la vida hasta el uso de gases venenosos a gran escala para la guerra. Los capítulos del Dr. Luis Sala, de las Dras. María Areco y María dos Santos Afonso, y el de la Dra. Alicia Baldessari, abordan temáticas sobre remediación de impactos ambientales negativos mediante procesos químicos que implican nuevos y desafiantes conocimientos conceptuales y procedimentales. Más allá de los ejemplos particulares, se percibe en los relatos la preocupación y ocupación de la inteligencia de los investigadores que con sus conocimientos de Química deben generar estrategias nunca antes pensadas. Estos capítulos dan cuenta de la aplicación de conocimientos químicos tanto para la remediación de situaciones generadas por la naturaleza, o por el hombre, así como para el desarrollo de la llamada Química Verde, rama de la Química dirigida al diseño de procesos y productos que no produzcan contaminación.

Finalmente, los últimos cuatro capítulos son otras muestras sobre cómo la Química necesita de los químicos y los químicos se nutren de las diversas manifestaciones culturales de la civilización para abreviar y derivar, de allí, sus proyectos. En su capítulo, el Dr. Osvaldo Teme Centurión aborda la relación entre Química y deporte; el Dr. Marcelo Wolasnky y la Dra. Victoria Rossetti conectan la Química con las denominadas drogas de uso y abuso, en sus variantes naturales y sintéticas. El Prof. Alberto Santiago nos relata cómo la sabiduría popular y la tecnología que hoy consideraríamos más que precaria han sustentado epopeyas históricas increíbles como la del cruce de la cordillera por el Ejército de los Andes. Y, para concluir con la sección y con el libro, la Dra. Marta Maier relata las contribuciones de la Química al conocimiento arqueológico. En este capítulo se muestra cómo desde la ciencia se puede avanzar en el conocimiento del arte pictórico.

Se percibe, en esta sección cómo el desarrollo de la cultura humana relaciona permanentemente su historia con el arte, con la ciencia y con la tecnología: tal como señalamos en el inicio de este prefacio "todo tiene que ver con todo".

Confiamos en que este libro sea un hecho fundacional para la educación química de las próximas generaciones de argentinos. En una cultura mundial donde la cantidad de conocimientos científicos se multiplican geométricamente cada año; donde la impaciencia adolescente se refuerza con la opción del zapping; donde el interés por las carreras de base química ha disminuido y se documentan cuestionamientos en la percepción pública hacia "los químicos" (lamentable traducción del inglés del adjetivo sustantivado *chemical*, como sinónimo de sustancias nocivas); y donde no se encuentran puntas innovadoras para desarrollar esta complejidad... este libro es algo nuevo.

Nos ilusionamos con la potencialidad de la propuesta como materia prima bibliográfica, cuyo impacto positivo dependerá de las existentes capacidades de recepción, transformación y recreación de los contenidos por parte de los lectores.

Dra. Lydia Galagovsky, Dr. Héctor Fasoli

LA FORMACIÓN EN QUÍMICA PERMITE EL ACCESO A MÚLTIPLES DISCIPLINAS ESPECIALIZADAS. UNA ESENCIA QUE VA CAMBIANDO A LA CIVILIZACIÓN

Dra. Celia E. Coto

Profesora titular Consulta. Departamento de Química Biológica.
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
Email: virocoto@qb.fcen.uba.ar

Develar el misterio de la naturaleza

Fue el hilo conductor que conectó a los antiguos griegos, a los alquimistas medievales, a los padres de la química hacia el final del siglo XVI y a los químicos contemporáneos. Existen otras motivaciones poderosas que relacionan el hacer del químico a través de los siglos. Quizás la principal sea, la posibilidad de crear materia. Y, aunque actualmente, no tiene connotaciones místicas como las que tuvo entre los protoquímicos que ansiaban descubrir el elixir de la vida o la piedra filosofal, crear o descubrir nuevos elementos simples o compuestos ha tenido siempre un atractivo irresistible.

Además de la síntesis de nuevos compuestos (crear materia) en la actividad química podemos considerar: el análisis de muestras que puede derivar en el aislamiento de nuevas especies químicas y la modificación de sustancias conocidas con el objetivo de otorgarles otras propiedades.

En todas estas circunstancias se conjugan el conocimiento para elaborar una teoría, el afán para desentrañar un fenómeno y la experimentación que es el atractivo principal cuando se trabaja en el laboratorio.

Pasión por la química

Puede ser que el mobiliario de los laboratorios modernos no encierre la magia de los antiguos laboratorios con sus retortas, alambiques y sofisticados aparatos de destilación. Por fortuna y a pesar de ello, durante las clases de aprendizaje de la carrera de Química se puede disfrutar todavía de algunos fenómenos simples pero efectistas.

¿Quién no se ha sentido maravillado al ver cómo del seno de una solución sobresaturada de una sal, por simple acción de raspar con una varilla de vidrio las paredes del recipiente, surgen cristales como de la nada? La misma emoción nos embarga cuando hacemos emerger de una solución biológica (luego de un proceso de extracción) un fideo gelatinoso transparente alrededor de una varilla, que es nada más ni nada menos que el ADN (ácido desoxirribonucleico) de las células en solución.

Y estos simples ejemplos me conducen a la reflexión que es probable que si al nivel de enseñanza secundaria se realizaran más experimentos y se impartiera una dosis más moderada de teoría, un número mayor de alumnos optaría por cursar una Carrera Química

que permite el acceso a múltiples campos disciplinares tanto en una faz teórica como tecnológica. Si la enseñanza de la química se limita sólo al conocimiento teórico es posible que resulte aburrida y un poco compleja resultando en un escenario poco atractivo del que muchos escapan y al que muy pocos acceden.

Diversidad en el mundo de la Química

La **Química** se define como la *Ciencia que estudia la estructura, propiedades y transformaciones de la materia a partir de su composición atómica, así como también los cambios que la materia experimenta durante las reacciones químicas y su relación con la energía.*

Dado que el objeto de estudio de la Química es la materia física, el campo que abarca esta disciplina científica es tan vasto que en la actualidad está conformada por un conjunto muy numeroso de ramas o especialidades que se definen de acuerdo a la clase de objeto en estudio o al tipo de análisis que se realiza. Algunas de estas divisiones se conocen desde hace más de un siglo en tanto que otras se han ido incorporando en los últimos años, surgidas como consecuencia del desarrollo de nuevas tecnologías, aparatos de precisión y de la posibilidad de manejarse al nivel molecular. Hay que tener en cuenta que en muchos casos el campo de acción de cada una de las disciplinas especializadas se complementa o superpone con otras. No es mi intención que la lectura de este capítulo sea tediosa para el lector pero creo necesario además de mencionar los nombres realizar una referencia mínima a cada campo de acción.

Química inorgánica: Síntesis y estudio de las propiedades eléctricas, magnéticas y ópticas de los compuestos formados por átomos que no sean de carbono (aunque con algunas excepciones). Trata especialmente los nuevos compuestos con metales de transición, los ácidos y las bases, entre otros compuestos.

Química orgánica: Síntesis y estudio de los compuestos que se basan en cadenas de carbono.

Química Biológica o Bioquímica: estudia las reacciones químicas en los seres vivos, estudia el organismo y los seres vivos.

Química física: estudia los fundamentos y bases físi-

QUÍMICA Y CIVILIZACIÓN

cas de los sistemas y procesos químicos. En particular, son de interés para el químico físico los aspectos energéticos y dinámicos de tales sistemas y procesos. Entre sus áreas de estudio más importantes se incluyen: la **termodinámica química**, la **cinética química**, la **mecánica estadística** y la **espectroscopia**.

Química industrial: Estudia los métodos de producción de reactivos químicos en cantidades elevadas y de la manera económicamente más beneficiosa. En la actualidad también intenta aunar sus intereses iniciales, con un bajo daño al medio ambiente.

Química analítica: estudia los métodos de detección (*identificación*) y cuantificación (*determinación*) de una sustancia en una muestra. Se subdivide en Cuantitativa y Cualitativa.

Debemos considerar que estas divisiones de la Química son las más conocidas y constituyen la base de todo plan de estudios de Química. Los conocimientos se extienden, sin embargo, a otras especialidades de modo que la nómina no se agota sólo con las mencionadas. El listado que sigue menciona especialidades recientes y otras de larga data.

Química organometálica: se ocupa del estudio de los compuestos organometálicos, que son compuestos químicos que poseen un enlace entre un átomo de carbono y un átomo metálico, de su síntesis y de su reactividad. En este contexto, el término "metal" se puede definir utilizando una escala de electronegatividad, asignando la palabra metal a todo elemento que presenta un carácter más electropositivo que el carbono. Puede considerarse una parte de la Química diferenciada de la Química orgánica (en la que el carbono se une de modo covalente a átomos de no-metal). Tiene un potencial de aplicabilidad industrial.

Fotoquímica: estudia las interacciones entre átomos, moléculas pequeñas, y la luz.

Química medioambiental o química ambiental: es la aplicación de la química al estudio de los problemas y la conservación del ambiente. Estudia los procesos químicos que tienen lugar en el medio ambiente global, o en alguna de sus partes: el suelo, los ríos y lagos, los océanos, la atmósfera, así como el impacto de las actividades humanas sobre nuestro entorno y la problemática que ello ocasiona. En los últimos años la Química de la atmósfera ha incrementado su importancia debido principalmente a las consecuencias del efecto invernadero que producen entre otros los gases de productos manufacturados por el hombre.

Química teórica: aplica el uso de la Física para explicar o predecir los fenómenos químicos. Esta rama de la Química es múltiple y dentro de su área encontramos las formas más recientes de aplicación en campos de tanta gravitación como la obtención de medicamentos. Las ramas que la componen son: **Química Cuántica** que aplica la mecánica cuántica y la teoría cuántica de campos a problemas de química. La química cuántica describe matemáticamente el comportamiento fun-

damental de la materia a escala molecular. Una aplicación de la química cuántica es el estudio del comportamiento de átomos y moléculas, en cuanto a sus propiedades ópticas, eléctricas, magnéticas y mecánicas, y también su reactividad química, sus propiedades redox, etc., pero también se estudian materiales, tanto sólidos extendidos, como superficies. **Química computacional:** la aplicación de códigos o lenguaje computacionales a la química. Es una rama de la química que utiliza computadoras para ayudar a resolver problemas químicos. Utiliza los resultados de la química teórica, incorporados en algún software para calcular las estructuras y las propiedades de moléculas y cuerpos sólidos. Mientras sus resultados normalmente complementan la información obtenida en experimentos químicos, pueden, en algunos casos, predecir fenómenos químicos no observados a la fecha. La química computacional es ampliamente utilizada en el diseño de nuevos medicamentos y materiales. **Modelado molecular:** que comprende la aplicación de métodos para desarrollar modelos moleculares estructurales sin referirse necesariamente a la mecánica cuántica. Ejemplos de esta rama son: **Acoplamiento molecular o Docking** (del inglés, anclarse) este es un método que predice la orientación preferida de un molécula, al estar unida a otra, con el fin de formar un complejo estable. El conocimiento de la orientación preferida a su vez puede ser usado para predecir la fuerza de la asociación o la afinidad de enlace entre dos moléculas. Fundamentalmente se trata de moléculas biológicamente relevantes como las proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y carbohidratos. Estas interacciones tienen fundamental importancia en el campo de las señales de transducción que juegan un papel fundamental en las "órdenes" que recibe el núcleo celular cuando se acoplan dos moléculas determinadas para avisarle al núcleo que puede comenzar a expresar un gen (por ejemplo) es sólo un ejemplo escribiríamos un tratado sólo refiriéndonos a las señales de transducción. Aunque no podemos extendernos en sólo este aspecto de la química, diremos que la interacción entre moléculas tiene que ver con la respuesta del sistema inmune. Las células especializadas encargadas de vigilar la salud de un individuo responden a la unión de moléculas llamadas ligando a receptores presentes en las membranas celulares y esta interacción desencadena una serie de fenómenos inmunológicos que pueden ser beneficiosos para la salud o por el contrario resultar perjudiciales. Nos volcamos así al campo de la Inmunología y de la Inmunología de la mano de los conocimientos químicos. La tercera rama dentro del modelado molecular comprende la especialización que se conoce con el nombre de **Diseño racional de drogas:** Se trata del proceso creativo que permite encontrar medicamentos nuevos basados en el conocimiento del blanco biológico, es decir crear una molécula que sea complementaria en forma y carga a la molécula natural a la que desplaza por cantidad lo que le permite unirse al blanco y neutralizar o inactivar a la molécula biológica activa por ejemplo una enzima. Generalmente la molécula sintetizada es una molécula orgánica de pequeño tamaño que activa o inhibe la función de la molécula biológica. Es el principio utilizado por algunos antivirales específicos. Si un virus

posee una enzima responsable de armar la cubierta del virus o cáscara que lo contiene y se logra obtener una molécula que reemplaza al blanco original de la molécula, se detiene la síntesis viral. **Química combinatoria:** se refiere a una síntesis rápida o la simulación por computadora de un gran número de moléculas o materiales diferentes pero relacionadas estructuralmente. **Mecánica molecular:** Es el modelado de las interacciones de Superficie de Energía Potencial intra e inter-moleculares por medio de una suma de Fuerzas de interacción. **Química matemática:** La discusión y predicción de la estructura molecular usando métodos matemáticos sin recurrir necesariamente a la mecánica cuántica. **Cinética química teórica:** La cinética química es un área de la fisicoquímica que se encarga del estudio de la rapidez de reacción, cómo cambia la rapidez de reacción bajo condiciones variables y qué eventos moleculares se efectúan durante la reacción general. La cinética química es un estudio puramente empírico y experimental. **Dinámica molecular (DM):** aplicación de la mecánica clásica para simular los movimientos del núcleo y el ensamble de átomos y moléculas. Se trata de una técnica de simulación en la que se permite que átomos y moléculas interactúen por un período, permitiendo una visualización del movimiento de las partículas. Originalmente fue concebida dentro de la física teórica, aunque hoy en día se utiliza sobre todo en biofísica y ciencia de materiales. Su campo de aplicación va desde superficies catalíticas hasta sistemas biológicos como las proteínas. Si bien los experimentos de cristalografía de rayos X permiten tomar "fotografías estáticas" y la técnica de RMN (resonancia magnética nuclear) nos da indicios del movimiento molecular, ningún experimento es capaz de acceder a todas las escalas de tiempo involucradas. Resulta tentador, aunque no es enteramente correcto, describir a la DM como un "microscopio virtual" con alta resolución espacial y temporal.

En general, los sistemas moleculares son complejos y consisten de un gran número de partículas, por lo cual sería imposible encontrar sus propiedades de forma analítica. Para evitar este problema, la DM utiliza métodos numéricos. La DM representa un punto intermedio entre los experimentos y la teoría. Puede ser entendida como un experimento en la computadora.

Una de las contribuciones más importantes de la dinámica molecular es crear conciencia de que el ADN y las proteínas son máquinas en movimiento. Se utiliza para explorar la relación entre estructura, movimiento y función. En otras palabras permite entender a los materiales y a las moléculas no como entidades rígidas sino como cuerpos animados.

Electroquímica: es una rama de la química que estudia la transformación entre la energía eléctrica y la energía química. En otras palabras, las reacciones químicas que se dan en la interface de un conductor eléctrico (llamado electrodo, que puede ser un metal o un semiconductor) y un conductor iónico (el electrolito) pudiendo ser una disolución y en algunos casos especiales, un sólido.

Química nuclear: es el campo de la Química que se ocupa de la radiactividad, los procesos nucleares y las

propiedades nucleares. En especial estudia a los elementos radiactivos radio, radón etc., con la química asociada a los procesos nucleares que ocurren en un reactor atómico, problemas derivados de accidentes y desechos de material radiactivo. También abarca todo lo concerniente a las radiaciones biológicas y su efecto sobre los seres vivos así como el uso de la radioterapia para combatir el cáncer. Por lo que resulta un auxiliar fundamental para los tratamientos médicos. También tiene aplicaciones en la industria por el uso de trazadores radiactivos. Entre las actividades que no se ocupan de los aspectos radiactivos se encuentra la espectroscopia RMN (resonancia magnética nuclear) de aplicación en química orgánica, fisicoquímica y química macromolecular.

Petroquímica: Petroquímica engloba a la ciencia y técnica correspondiente a la petroquímica. La petroquímica es lo perteneciente o relativo a la industria que utiliza el petróleo o el gas natural como materias primas para la obtención de productos químicos. Entre los productos obtenidos a partir de combustibles fósiles encontramos el metano, propano, butano, nafta, queroseno y gasoil. El combustible para aviación y además pesticidas, herbicidas, fertilizantes y otros como los productos plásticos.

Química macromolecular: es la rama de la Química que se encarga de estudiar la preparación, la caracterización, las propiedades y las aplicaciones de las moléculas que tienen una masa molecular elevada, formadas por un gran número de átomos, llamadas macromoléculas. Generalmente estas macromoléculas se pueden describir como la repetición de una o unas pocas unidades mínimas o monómeros, las cuales forman los polímeros.

Magnetoquímica: es la rama de la química que se dedica a la síntesis y el estudio de las sustancias de propiedades magnéticas interesantes. El **magnetismo molecular**, entendido como campo de estudio y no como fenómeno, es la parte de la magnetoquímica y de la física del estado sólido que se ocupa de sistemas moleculares.

La magnetoquímica y el magnetismo molecular combinan medidas experimentales como la magnetometría es un modelo para racionalizar las propiedades magnéticas de diferentes sistemas, buscando una aproximación a sus estructuras electrónicas en el caso de iones o moléculas, o a sus bandas en el caso de los sólidos extendidos.

Química supramolecular: es la rama de la química que estudia las interacciones supramoleculares, esto es, entre moléculas. La química supramolecular estudia el reconocimiento molecular la formación de agregados supramoleculares. Estas interacciones no son covalentes sino por lo común son: iónicas, dipolares, de van der Waals, puente de hidrógeno.

Astroquímica: es la ciencia que se ocupa del estudio de la composición química de los astros y el material difuso encontrado en el espacio interestelar, normalmente concentrado en grandes nubes moleculares. La

astroquímica representa un campo de unión entre las disciplinas de la astrofísica y de la química. La molécula más abundante en el Universo, el hidrógeno (H₂) no presenta un momento bipolar eléctrico, por lo que no es fácilmente detectable. En su lugar es mucho más fácil estudiar el material difuso en moléculas como el CO. Los astroquímicos han conseguido identificar cientos de tipos de moléculas, algunas tan complejas como los aminoácidos o los fulerenos.

La investigación moderna en astroquímica incluye también el estudio de la formación e interacción de estas moléculas complejas en medios poco densos pudiendo tener implicaciones en la comprensión del origen de la vida en la Tierra.

Geoquímica: es una especialidad de las ciencias naturales, que sobre la base de la geología y de la química estudia la composición y dinámica de los elementos químicos en la Tierra, determinando la abundancia absoluta y relativa, distribución y migración de los elementos entre las diferentes partes que conforman la Tierra (hidrosfera, atmósfera, biosfera y geosfera) utilizando como principales testimonios de las transformaciones los minerales y rocas componentes de la corteza terrestre, con el propósito de establecer leyes o principios en las cuales se basa tal distribución. Los elementos geoquímicos son en una escala de mayor a menor abundancia: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio.

Nanoquímica: es una nueva disciplina de la Química que comprende el estudio de la síntesis y análisis de materiales incluyendo moléculas orgánicas grandes, conjuntos de compuestos inorgánicos y partículas metálicas o semiconductoras, usando las herramientas, tecnologías y metodologías, síntesis química, análisis y diagnóstico bioquímico en los dominios de los nanolitros (10⁻⁹ L) a los femtolitros (10⁻¹⁵ L). La nanotecnología pudo desarrollarse después que se inventó el microscopio de efecto túnel y el microscopio de fuerza atómica. El primero es un instrumento poderoso que permite visualizar superficies a escala del átomo mientras que el otro microscopio es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los piconewtons.

Neuroquímica: es una rama de la neurociencia (aspectos químicos del cerebro) que se encarga del estudio de los neuroquímicos. Un neuroquímico es una molécula orgánica que participa en la actividad neuronal. Este término es empleado con frecuencia para referir a los neurotransmisores y otras moléculas como las drogas neuroactivas que influyen la función neuronal.

Las divisiones mencionadas de la Química no deben considerarse absolutamente estrictas ya que por la temática o las herramientas que se usan suele haber un solapamiento en mayor o menor grado o en otros casos cierto grado de complementariedad entre dos o más especialidades.

Reflexiones sobre los alcances de la Química

Aunque resulte tediosa su lectura, el acápite anterior nos muestra que los alcances de los estudios químicos no sólo son muy vastos sino que han conquistado la esencia de la materia misma: los átomos. En esta etapa de la ciencia se manipulan los átomos no sólo para liberar energía sino para construir maquinarias moleculares para beneficio de la vida humana. La tecnología actual permite fabricar nanotubos, nanoalambres y dendrímeros, éstos últimos son moléculas tridimensionales arborescentes que se construyen paso a paso a partir de un polímero y que se utilizan en el reconocimiento de moléculas, como nanosensores y aparatos optoelectroquímicos. Pero el estudio de los átomos va más allá de nuestro planeta ya que ha alcanzado también a los átomos de las estrellas. Como se puede deducir de las especialidades mencionadas, gran parte de los resultados de los estudios químicos se vuelcan en el campo de la medicina y en los últimos años en el mejoramiento del medio ambiente así como también en las técnicas de manejo agropecuario. La ingeniería genética que se nutre de la biología molecular está también conectada con la Química de las macromoléculas ADN, ARN (ácido ribonucleico) y proteínas y enzimas que permiten el desarrollo de herramientas moleculares de aplicaciones en la industria farmacéutica, en la biotecnología y criminalística, principalmente.

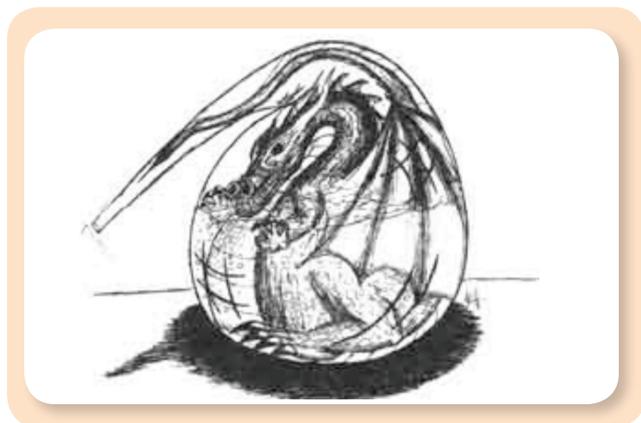
Como muy pocas de las especialidades mencionadas se dictan regularmente se puede deducir que con la formación básica que se adquiere, al menos en nuestro país, se puede lograr el perfeccionamiento en alguna de las ramas mencionadas ingresando a trabajar en grupos de investigación o centros, relacionados o no, con la universidad o dependientes de institutos privados.

Derivaciones del conocimiento químico: los químicos que trascendieron su campo visto desde un contexto histórico, desde la alquimia al nacimiento de la Química

Actores principales

Los alquimistas fueron los principales antecesores de la Química moderna y aunque su actividad estaba teñida de supersticiones y conceptos erróneos, derivados principalmente del pensamiento de Aristóteles, fueron creando los instrumentos de laboratorio que luego sirvieron a los padres de la Química para el inicio de esta especialidad como ciencia. La **alquimia**, palabra proveniente del árabe es una antigua práctica **protocientífica** y una disciplina **filosófica** que combinaba elementos de la **química**, la **metalurgia**, la **física**, la **medicina**, la **astrología**, la **semiótica**, el **misticismo**, el **espiritualismo** y el **arte** (ver Figura 1). La alquimia fue practicada en **Mesopotamia**, el **Antiguo Egipto**, **Persia**, la **India** y **China**, en la **Antigua Grecia** y el **Imperio romano**, en el **Imperio islámico** y después en **Europa**, comprendiendo una compleja red de escuelas y sistemas filosóficos que abarcó desde el año 476 (caída del Imperio Romano y 1453 (descubrimiento de la im-

prenta) o 1492 (descubrimiento de América). Expresado en siglos: desde el siglo V al siglo XV.



Obtenido de: bibliotecadigital.ilce.edu.mx

Figura 1: El huevo filosfal

En esta brevísima referencia al tema mencionaremos al fraile franciscano inglés Roger Bacon (1214-1292) quien inspirado en las obras de autores árabes anteriores —herederos y conservadores de las antiguas obras del mundo griego—, puso considerable énfasis en la experimentación aplicada a operaciones químicas como la destilación y calcinación. Por su apego a las teorías empíricas se lo considera como el primer hombre de ciencias moderno.

La sensación que se tiene al indagar sobre los alquimistas es que eran charlatanes que intentaban convertir plomo en oro, y que empleaban la mayor parte de su tiempo elaborando remedios milagrosos, venenos y pociones mágicas. La realidad no era precisamente así, la mayoría eran filósofos destacados como Santo Tomás de Aquino (1224-1274), investigadores cultos, inteligentes y bien intencionados, e incluso distinguidos científicos, como Isaac Newton (1643-1727) que dedicó mucho más tiempo y escritos al estudio de la alquimia que a la óptica o la física, por lo que es célebre, por nombrar solo a algunos.

Salteando a numerosos hombres destacados y pensadores, el hilo de la historia nos conduce a Robert Boyle, irlandés, (1627-1691) aunque pasó la mayor parte de su vida en Inglaterra, considerado junto con Antoine Lavoisier uno de los padres de la Química (ver Figura 2).



Figura 2: Robert Boyle.

([http://www.kyrene.org/staff/sreed/Science/Scientist/Webpages/2005_06/Period6/Robert Boyle/ind](http://www.kyrene.org/staff/sreed/Science/Scientist/Webpages/2005_06/Period6/Robert%20Boyle/ind))

Robert Boyle era alquimista pero su labor teórico-experimental representó un verdadero punto de inflexión que marcó el paso de la alquimia a la química. En 1661, Boyle publicó su libro más famoso " *El químico escéptico o Dudas y paradojas químico-físicas*", él sostenía que los experimentos niegan que los

elementos químicos se limiten sólo a los cuatro clásicos (tierra, fuego, aire y agua) que definió Aristóteles y alentó a los químicos a experimentar. En su libro también rompe con la tradición de los alquimistas de trabajar en secreto, con su convicción e insistencia acerca de publicar todo su trabajo experimental con descripciones detalladas, incluso de aquellos experimentos que habían fracasado. Boyle observó que el aire se consume en el proceso de combustión y que los metales ganan peso cuando se oxidan. Reconoció la diferencia entre un compuesto y una mezcla, y formuló su teoría atómica de la materia basándose en sus experimentos de laboratorio. Abogó por un acercamiento riguroso a la experimentación científica: creía que todas las teorías deben ser probadas experimentalmente antes de ser consideradas como verdaderas. También declaró que la química debería dejar de estar al servicio de la medicina o la alquimia, y la ascendió a la categoría de ciencia. Todavía está vigente la Ley de Boyle que permite describir las variantes producidas en el volumen de un gas sometido a presión. También se atribuye a Boyle el uso, por primera vez, del término "análisis químico", que utilizó con el mismo sentido con que se lo utiliza actualmente. Realizó ensayos sobre el oro y la plata, hizo pruebas sobre el cobre con amoníaco, practicó ensayos sobre la presencia de sal en agua con nitrato de plata y diseñó una prueba que contenía alrededor de treinta reacciones para el análisis de minerales en el agua.

Lo que Boyle hizo, en realidad, fue introducir el método científico en la alquimia. Este hecho logró que la alquimia se convirtiera en química (incluso suprimió la primera sílaba del término alquimia para transformarlo en química (-"alchemist" y "chemist", en inglés-) y suprimió las bases en que pretendían apoyarse ciertas creencias, como las de la piedra filosofal. Si bien el libro no transformó la alquimia en química de la noche a la mañana, cuando la química se desarrolló en los siglos XVIII y XIX, los científicos consultaron mucho el libro de Boyle y lo consideraron, como dijimos antes, un punto de inflexión. Por ello, desde ese momento se considera que la ciencia fue la química y los que trabajaban en el campo eran los químicos.

Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794). Fue un químico francés que realizó grandes contribuciones a la química (ver Figura 3). Se le considera el padre de la química o fundador de la química moderna por sus detallados estudios, entre otros: el estudio del aire, el fenómeno de la respiración animal y su relación con los procesos de oxidación, análisis del agua, uso de la balanza para establecer relaciones cuantitativas en las reacciones químicas estableciendo su famosa *Ley de conservación de las masas*. Estudió Derecho, aunque su actividad comenzó a centrarse en la investigación científica. Fue elegido miembro de la Academia de Ciencias en 1768. Ocupó diversos cargos públicos, incluidos los de director estatal de los trabajos para la fabricación de la pólvora en 1776, miembro de una comisión para establecer un sistema uniforme de pesas en 1790 y comisario del tesoro en 1791. Lavoisier trató de introducir reformas en el sistema monetario y tributario francés y en los métodos de producción agrícola.



Figura 3: (a) Antoine de Lavoisier y su esposa Marie-Anne Pierrrette Paulze que lo ayudaba en sus experimentos y realizaba los dibujos de sus libros (<http://www.general-anaesthesia.com/images/antoine-lavoisier.html>). (b) Portada del libro de Lavoisier "Tratado elemental de la química" (todoesfisicayquimica.blogspot.com).

Lavoisier realizó los primeros experimentos químicos realmente cuantitativos. Demostró que en una reacción, la cantidad de materia siempre es la misma al final y al comienzo de la reacción. Estos experimentos proporcionaron pruebas para la ley de la conservación de la materia. Lavoisier también investigó la composición del agua y denominó a sus componentes oxígeno e hidrógeno.

Algunos de los experimentos más importantes de Lavoisier examinaron la naturaleza de la combustión, demostrando que es un proceso en el que se produce la combinación de una sustancia con oxígeno. También reveló el papel del oxígeno en la respiración de los animales y las plantas.

Con el químico francés Claude Louis Berthollet y otros, Lavoisier concibió una nomenclatura química, o sistema de nombres, que sirve de base al sistema moderno. Concibió el *Método de nomenclatura química* (1787). En el *Tratado elemental de química* (1789) (ver portada de la obra en la Figura 3b), Lavoisier aclaró el concepto de elemento como una sustancia simple que no se puede dividir mediante ningún método de análisis químico conocido, y elaboró una teoría de la formación de compuestos a partir de los elementos. También escribió sobre la combustión (1777) y consideraciones sobre la naturaleza de los ácidos (1778). Su libro se utilizó durante mucho tiempo en el estudio de la Química y aún hoy es posible conseguir algunos ejemplares. Sus estudios sobre la combustión y la respiración llevan a la conclusión de haber sido el creador de la Química fisiológica. Lamentablemente Lavoisier, una mente brillante, era también tesorero y recaudador de impuestos de la corona razón por la cual fue decapitado como consecuencia de la Revolución Francesa. Lavoisier fue guillotinado el 8 de mayo de 1794, cuando tenía 50 años. Joseph Louis Lagrange (famoso matemático, físico y astrónomo) dijo al día siguiente: "Ha bastado un instante para segar su cabeza; habrán de pasar cien años antes de que nazca otra igual".

Sir Humphry Davy: (1778 - 1829). Químico británico. Fundador de la *Electroquímica*, junto con Volta y Faraday. Davy contribuyó a identificar experimentalmente por primera vez varios elementos químicos mediante la electrólisis, entre ellos el boro, el potasio y el cloro. Fue jefe y mentor de **Michael Faraday** (1791-1867) físico y químico británico que estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Ha sido conocido principalmente por su descubrimiento de la inducción electromagnética, que ha permitido la construcción de generadores y motores eléctricos, y de las leyes de la electrólisis, por lo que es considerado como el verdadero fundador del electromagnetismo y de la electroquímica.

Otros notables

Luis Pasteur: Químico francés (27 diciembre 1822 - 28 de septiembre 1895) (ver Figura 4).

Ante los ojos de un científico moderno la titánica tarea que realizó Pasteur en el transcurso de su vida es por demás asombrosa. Se agiganta más aún si consideramos, que durante muchos años estuvo trabajando hemipléjico. Su primer trabajo como químico consistió en demostrar que el ácido tartárico sintético estaba formado por una mezcla de cristales formando una mezcla racémica. Existía la curiosidad de conocer porqué el ácido tartárico natural proveniente del hollejo de las uvas hacía virar un haz de luz polarizada hacia la derecha (D) mientras que el sintético era neutro. Para entender este misterio Pasteur pasó horas y

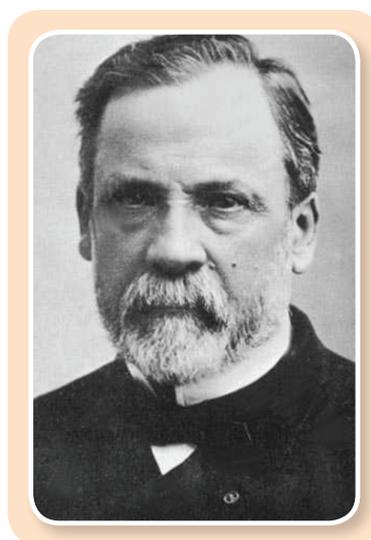


Figura 4: Retrato de Luis Pasteur (pequesdezaragoza.wikispaces.com).

horas observando al microscopio cristales de esta sal y separando con una pinza dos tipos de cristales, iguales, pero con simetría especular como nuestras manos enfrentadas. Las soluciones preparadas con cada tipo de cristal por separado desviaban, una, la luz polarizada a la derecha, la otra a la izquierda mientras que en la mezcla se anulaba el efecto.

Fue su primer gran descubrimiento, la existencia de los racémicos. Una **mezcla racémica** es una mezcla en la cual productos de una reacción química, con actividad óptica debida a isomerismo son encontrados en proporciones aproximadamente equivalentes. Es decir L y D estereoisómeros¹ están presentes en un 50%. Como prueba de su estudio al analizar los cristales de tartárico proveniente de una fuente natural encon-

1. D: dextrógiro; L: levógiro, según la rotación del plano de la luz polarizada, en sentido de las agujas del reloj, o contrario, respectivamente.

tró un solo tipo de cristales. Este hallazgo, en el que Pasteur demostró su agudo poder de observación y su perseverancia, le valió al joven químico la concesión de la *Legión de Honor Francesa*, con sólo 26 años de edad. En 1854 fue nombrado decano de la Facultad de Ciencias en la Universidad de Lille y siete años más tarde, se convirtió en director y administrador de estudios científicos en la misma *École Normale Supérieure* en la que había estudiado.

Sin embargo, más que en su carácter de Químico, Pasteur es recordado como uno de los padres de la Bacteriología y como el científico que con inteligencia, tenacidad y vehemencia defenestró la teoría vigente en esa época: la **generación espontánea**. Esta teoría fue propuesta por Aristóteles que creía en el origen espontáneo de peces e insectos a partir del rocío, la humedad y el sudor. La interacción de estas fuerzas daba vida a lo que no la tenía. En la época de Pasteur la generación espontánea estaba asociada a seres vivientes más pequeños como los gusanos asociados a la putrefacción. La teoría se mantuvo durante muchos años; en el siglo XVII Van Helmont, la estudió y perfeccionó. Más tarde sería rebatida por los experimentos de los científicos Lazzaro Spallanzani, y Francesco Redi pero en última instancia fue Pasteur quien demostró su falacia mediante experimentos simples e ingeniosos. Todavía se conserva en el Museo del Instituto Pasteur frascos de cuello de cisne conteniendo caldo nutritivo estéril. Es que Pasteur pensó que los organismos que crecían sobre la materia orgánica provenían del aire que los transportaba de un lado a otro, para probar su teoría que un ser vivo proviene de otro ser vivo, diseñó unas retortas en las que colocó caldo nutritivo, luego hizo hervir el caldo y el vapor arrastró el aire contenido en el recipiente a través de un cuello doblado como el cuello de un cisne de modo que una vez dejado en reposo era muy difícil que el aire retornara al recipiente. Todas las veces que probó el método nada creció en el caldo, en cambio si se dejaba penetrar aire, al poco tiempo se observaba la aparición de una masa opalescente constituida de bacterias y hongos. A esta altura de su vida científica la balanza se inclinaba hacia los procesos biológicos preferentemente en los que intervenían las bacterias y las levaduras. Aunque la labor de Pasteur merece toda nuestra admiración, si tuviera que detallar cada una de sus obras no daría lugar al comentario sobre otros químicos destacados. Por ello sólo nombraremos sus grandes conquistas tales como: la pasteurización (método que se usa todavía para la conservación de muchos alimentos) destacándose además dentro del campo de las enfermedades. Comenzó por resolver un problema que afectaba a los gusanos de seda de gran importancia comercial y luego se abocó de lleno a las enfermedades contagiosas. Pasaron por sus manos y de sus discípulos métodos que permitieron obtener vacunas exitosas contra el ántrax y el cólera basadas en el proceso de atenuación consistente en disminuir la virulencia del microorganismo original. Su éxito mayor en el que expuso todo su prestigio e integridad moral fue vacunar a un niño mordido por un perro rabioso a quien salvó de morir de rabia, recordemos que Pasteur era químico y no médico lo que le vedaba ese tipo de tratamiento. Su vacuna, sin embargo, fue

un éxito y constituyó la fórmula usada durante mucho tiempo para la preparación de las vacunas contra esta enfermedad. Este suceso médico ocurrió en 1885 cuando todavía no se habían descubierto los virus ni definido como entidades diferentes del resto de los microorganismos, el virus de la rabia sigue siendo letal en la actualidad pero afortunadamente la rabia citadina ha sido controlada con la vacunación obligatoria de los perros.

Linus Carl Pauling: Químico estadounidense (febrero 1901- agosto 1994) (ver Figura 5).

La lectura de la biografía de Pauling despierta una inmediata pasión por volver al laboratorio, deseo hoy sepultado en lo más hondo por el devenir de la vida. Pauling es considerado como una de las mentes más brillantes del siglo XX a la par de Newton, Galileo y Einstein. Recorriendo su trayectoria parece imposible que haya abarcado tantos campos en los que se ha desempeñado con extrema lucidez. Él mismo se definía como químico cristalógrafo, biólogo molecular e investigador médico. Comenzó a trabajar sobre cristales mediante difracción con rayos X y se especializó luego en Química cuántica con varios expertos europeos. Vuelto a Estados Unidos concentró sus estudios en la naturaleza de los enlaces químicos. Sus estudios sobre el tema culminaron con la escritura de un libro muy famoso *The Nature of the Chemical Bond* aparecido en 1939 y el premio Nobel de Química en 1954. No obstante la profundidad de dichos estudios que englobaban el enlace iónico, el covalente y la tetravalencia del carbono, realizó estudios con moléculas biológicas que lo condujeron a ser considerado uno de los padres de la Biología Molecular. Se interesaba también por estudios genéticos con los que pudo demostrar que el defecto en un gen podía conducir al desarrollo de una enfermedad. Así fue como interesándose en la importancia de los micronutrientes y la vitamina C para la dieta humana fue el creador de la *Medicina ortomolecular* no muy bien apreciada por la medicina ortodoxa en esa época.

Fue un férreo defensor de las propiedades de la vitamina C a la que atribuía beneficios múltiples que con el tiempo no fueron comprobadas. A partir de 1951

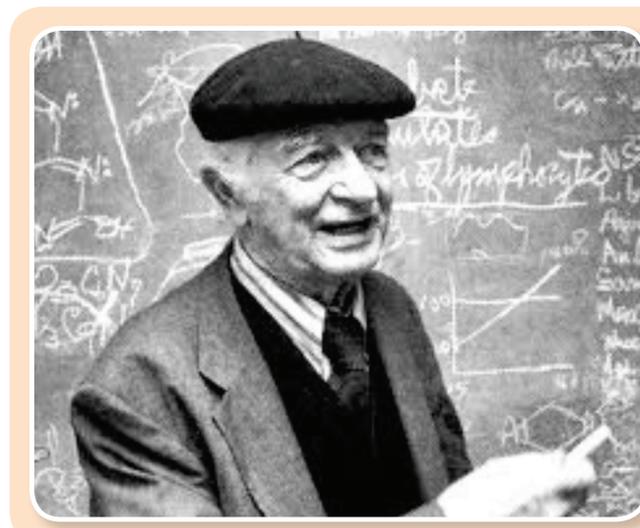


Figura 5: Retrato de Linus Pauling (elproyectomatrix.wordpress.com)

se interesa en el enlace peptídico, la unión entre los aminoácidos que forman los polímeros constitutivos de las proteínas, lo que le permite describir la estructura secundaria de las moléculas proteicas. Se trata de formas que adoptan en el espacio diferentes tramos de la molécula por interacción entre sus aminoácidos constitutivos a las que denominó hojas beta y hélices alfa. Poco le faltó para lograr descifrar la estructura del ADN la que como todos sabemos terminó siendo el modelo aceptado el de Watson y Crick. Además de otros intereses en temas tales como el esmog, la inmunología y el funcionamiento de las enzimas, Pauling abogó contra las armas nucleares convirtiéndose en un pacifista notorio, actitud que le creó muchos problemas en su país pero que le valió un segundo premio Nobel.

En 1962 se le otorgó el Premio Nobel de la Paz (*"a Linus Pauling, quien desde 1946 ha abogado incesantemente, no solamente contra las pruebas nucleares, ni solamente contra la proliferación de las armas nucleares, ni solo contra su uso, sino en contra de cualquier forma de resolver los conflictos internacionales por la vía bélica"*). Aunque parezca mentira no todos sus colegas festejaron este premio y más de una vez fue visto como un enemigo de su patria. Si celebramos las actividades de Pasteur más allá de la química, la vida de Pauling no deja de asombrarnos ya que realizó contribuciones notables en mecánica cuántica, química cuántica, química inorgánica, química orgánica, bioquímica, biología molecular y medicina. Y lo más notable, que resalta para un científico de esta época en que los trabajos científicos son producto del trabajo de autores numerosos, es que en la mayoría de sus trabajos los publicó solo o con algún colaborador y tampoco dejó de lado la divulgación científica que le permitía llegar también al gran público.

Gertrude B. Elion: Química estadounidense (enero 1918- febrero 1999) (ver Figura 6).

En su autobiografía, Gertrude Belle Elion nos cuenta la vicisitudes que tuvo que afrontar para trabajar en investigación química. La necesidad de obtener un sustento y también su condición de mujer conspiraron para que esta excelente científica no pudiera acceder al título de doctora. A mí me emocionó particularmente, leer las razones que la indujeron a elegir la carrera de química porque fueron similares a las que motivaron la elección de la mía. Por amor a un abuelo decidió dedicarse a buscar un medicamento para curar el cáncer y ella se aproximó mucho en lograrlo. Las necesidades la condujeron a trabajar dentro de la compañía farmacéutica Burroughs-Wellcome, a la fecha Glaxo Smith Kline. Trabajando sola o junto a George H. Hitchings, Gertrude comenzó a investigar principalmente sobre la síntesis de las purinas con la idea de producir fármacos que interfirieran con la síntesis normal de estos compuestos pudieran alterar los caminos que conducen a la célula a un estado de crecimiento sin freno, estado tumoral. Para ello no sólo se valieron del conocimiento para sintetizar derivados de las purinas sino en una investigación conjunta crearon un laboratorio de cultivos celulares para probar la toxicidad de las drogas, uno de cultivo de virus para analizar los pasos de la replicación que podía afectar

la droga (antiviral), un sector de enzimología, otro de farmacología y uno de inmunología. De esta forma y con una dedicación apasionada a su trabajo Gertrude logró sintetizar las siguientes drogas: 6-mercaptopurina (primer tratamiento para la leucemia); azatioprina (el primer agente inmunosupresor para el trasplante de órganos); alopurinol (para la gota); pirimetamina (contra la malaria); trimetoprima (contra meningitis y septicemias bacterianas); aciclovir (contra virus Herpes). El desarrollo de este último compuesto culminó con la obtención del archifamoso AZT primer medicamento contra la infección por virus HIV.



Figura 6: Retrato de Gertrude Elion (minerva.unito.it)

Gertrude Elion recibió en 1988 el Premio Nobel de Fisiología o Medicina que compartió con Hitchings y Sir James Black. *"Por sus descubrimientos sobre importantes principios del tratamiento por medio de drogas."* Poco tiempo después en 1991 se convirtió en la primera mujer perteneciente al *"National Inventor Hall of Fame"*. Como corolario a su magnífica labor podemos decir que sus investigaciones revolucionaron la producción de medicamentos y la Medicina. En vez del método tradicional de prueba y error, tanto ella como Hitchings estudiaron las sutiles diferencias en la reproducción celular y desarrollaron drogas que interrumpían el ciclo celular de las anormales, sin alterar las sanas y o los ciclos de replicación de los virus sin afectar el metabolismo celular de la célula huésped.

En vez del método tradicional de prueba y error, tanto ella como Hitchings estudiaron las sutiles diferencias en la reproducción celular y desarrollaron drogas que interrumpían el ciclo celular de las anormales, sin alterar las sanas y o los ciclos de replicación de los virus sin afectar el metabolismo celular de la célula huésped.

César Milstein: Químico argentino (octubre 1927-marzo 2002) (ver Figura 7).

César Milstein nació en Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires y se trasladó a Buenos Aires a los 18 años para estudiar Química en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires donde se recibió de Licenciado en Química a los 25 años, cuatro años más tarde obtuvo su doctorado trabajando sobre estudios cinéticos de la enzima aldehído deshidrogenasa. Casi en forma inmediata obtuvo una beca para trabajar en el Departamento de Bioquímica de la Universidad de Cambridge donde continuó con sus estudios enzimáticos, obteniendo allí un nuevo doctorado en 1960 bajo la dirección del Dr. F. Sanger. Si bien regresó a la Argentina entusiasmado con un proyecto para establecer un laboratorio de biología molecular, las persecuciones políticas a científicos cercanos lo indujeron a tomar la resolución de abandonar el país y volver a Cambridge donde se estableció definitivamente. Así es como adopta la ciudadanía Británica y comienza una nueva etapa en su investigación



Figura 7: Retrato de César Milstein (turismoenba.wordpress.com)

dedicándose a la Inmunología.

Su preocupación por el estudio de los anticuerpos naturales y su naturaleza monoclonal lo condujo junto a su asistente Kohler a descubrir la forma de obtener este tipo de anticuerpos en cultivos *in-vitro* denominados hibridomas². En el esquema de la Figura 7 se presenta el procedimiento para obtener anticuerpos monoclonales. Una breve

descripción del proceso es el siguiente (ver Figura 7): el antígeno representado con la forma de una bacilo bacteriano presenta cuatro determinantes antigénicos; si este antígeno se inyecta a un ratón los linfocitos constitutivos del bazo del ratón fabricarán anticuerpos contra cada uno de los antígenos. Cuando se extrae la sangre del ratón inmunizado se obtendrá un antisuero conteniendo una mezcla de anticuerpos (rama izquierda del esquema). Para obtener los anticuerpos monoclonales (específicos para cada determinante antigénico o epitopo) se extrae el bazo del ratón y se purifican los linfocitos (rama derecha del dibujo). Esos linfocitos se fusionan con el uso de PEG (polietilenglicol) con células de mieloma. Las células plasmáticas provenientes de un mieloma (cáncer de este tipo de células) tienen la capacidad de mantenerse *in-vitro* por tiempo indefinido. Al fusionarse con los linfocitos forman lo que se conoce como hibridoma. De estos cultivos se pueden aislar clones de células, en el dibujo se muestran 4 clones, cada uno de ellos sintetizará un anticuerpo monoclonal que actuará solamente contra uno solo de los epitopos del antígeno original. Por ejemplo: el clon 1 producirá anticuerpos contra el epitopo dibujado en color violeta y así sucesivamente. Los anticuerpos monoclonales han resultado ser una herramienta de gran utilidad en el campo de la medicina, la bioquímica y la biología molecular por su capacidad de reconocer moléculas con diferente estructura química. Son empleados habitualmente tanto en el diagnóstico como en el tratamiento de enfermedades y también dentro del campo de la investigación. De algún modo los anticuerpos monoclonales pue-

den ser considerados como la famosa "bala mágica" que definió Paul Ehrlich (premio Nobel de Fisiología o Medicina 1908) que afectan directamente al blanco a neutralizar sin afectar al resto del organismo.

El éxito de producir anticuerpos monoclonales mediante esta técnica les valió a ambos investigadores la obtención del premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1984 compartido con otro gran investigador el Dr Jerne. Es bueno destacar que Milstein no patentó su descubrimiento lo que lo hubiera convertido en un hombre inmensamente rico. Milstein consideraba que su descubrimiento era patrimonio intelectual de la humanidad. Cualquier sustancia que es capaz de producir una respuesta antigénica en un organismo, porque el sistema inmune la reconoce como extraña, genera entre otras respuestas la aparición de anticuerpos específicos contra esa sustancia. Conviene destacar que un antígeno ya sea proteico o un hidrato de carbono ofrece a la visión del sistema inmune que podemos imaginar como un ejército de células patrullando constantemente para detectar extraños, tienen más de un sitio de reconocimiento antigénico denominados epitopos. Por eso cuando el organismo reacciona sintetizando anticuerpos lo hace respondiendo con una colección de inmunoglobulina (anticuerpo) dirigidos a los distintos epitopos de la molécula extraña. La idea de Milstein consistió en buscar una técnica que le permitiera poder aislar un solo tipo de anticuerpos específicos y lograr un sistema *in-vitro* de producción constante de los mismos.

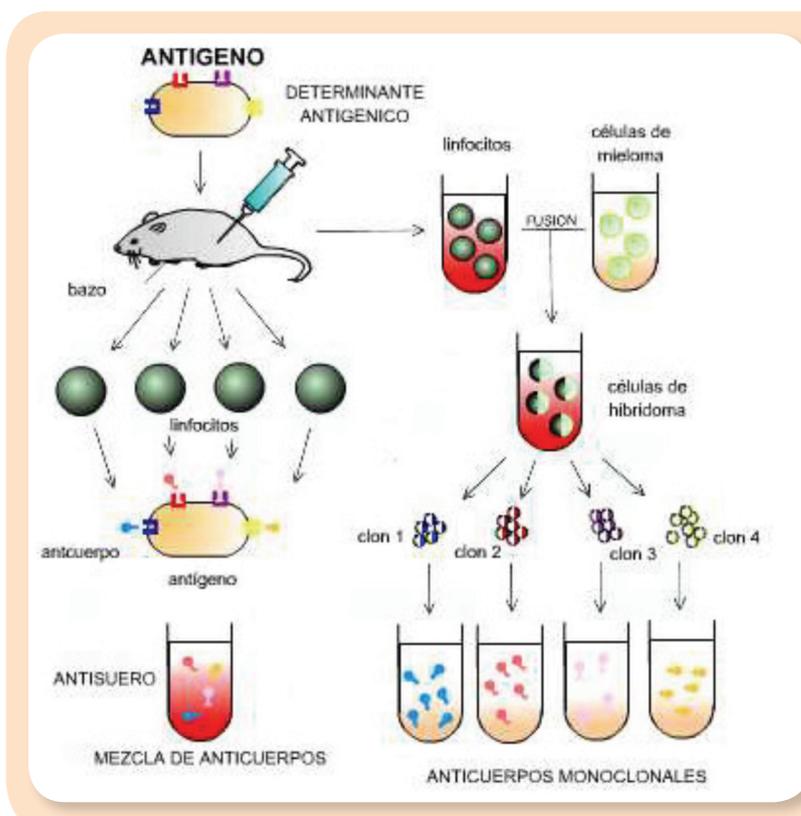


Figura 8: Esquema que muestra la forma de obtener anticuerpos monoclonales (http://grupos.emagister.com/imagen/anticuerpos_monoclonales/6691-602816).

2. Un hibridoma es una línea celular híbrida obtenida mediante la fusión de un linfocito B productor del anticuerpo específico de interés, con una línea celular de mieloma –un tipo de cáncer– que no produce inmunoglobulina propia. Se obtiene así una línea celular inmortal capaz de expresar el anticuerpo de interés, que se aísla del sobrenadante.

Conclusiones finales

Presentamos una clasificación de las subáreas de la Química, donde se observa la continua evolución de esta disciplina científica, que suma a sus interesantes aspectos tradicionales nuevos temas interdisciplinarios, con incorporación de tecnologías de última generación.

Se pone en evidencia el carácter de ciencia básica central, y su capacidad para ser la plataforma de conocimientos y desarrollo para los nuevos enfoques que demanda la actividad científica de frontera.

Quisimos mostrar con ejemplos concretos cómo los químicos han ido enriqueciendo la calidad de vida de la humanidad a través de los siglos más allá de los conocimientos específicos de esta ciencia. Seleccionamos sólo algunos de los científicos que trascendieron las fronteras de la Química y ejercieron su influencia en otros campos, principalmente, la Física y la Medicina.

Resulta evidente que el estudio de la Química nos conduce al corazón mismo de la naturaleza de la materia y sirve como herramienta para ampliar los conocimientos de todos los aspectos relacionados con la vida en este planeta y en todo el universo.

Referencias bibliográficas

Teresa de la Selva: De la Alquimia a la Química. Segunda edición. (La Ciencia para Todos) 1998. ISBN 968-16-5766-7

Paul de Kruif: Microbe hunters. Hartcourt, Inc. 1996. ISBN 0-15-602777-1

Dubos René: Louis Pasteur, Free Lance of Science, 1950, 1960, Charles Scribner's Sons, Da Capo Press 1986 reprint of 1960 edition: ISBN 0306802627

http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/

<http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

Temas buscados en Wikipedia: alquimia; química; biografías.

***RELATOS SOBRE QUÍMICOS,
SUS CIRCUNSTANCIAS
Y CONTEXTOS***

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

LA CONTRIBUCIÓN DE JEAN REY A LA TEORÍA DE LA COMBUSTIÓN Y LA CALCINACIÓN

Dr. Miguel Katz

Profesor de Epistemología e Historia de la Química
Instituto Superior del Profesorado "Dr. Joaquín.V. González"
Email: muon_k@yahoo.com.ar

Se suele creer que toda ciencia avanza acumulando conocimientos para alcanzar la verdad acerca de los aspectos de la realidad que estudia. El científico observa, experimenta y a partir de los resultados que obtiene se formula hipótesis acerca de las causas y los efectos de los mismos, tratando de establecer un cuerpo racional de enunciados que generalicen sus resultados y le permitan predecir resultados futuros. Esta tarea se realiza sobre la base de premisas y argumentos regidos por las reglas de la Lógica. En función de ello, se suele decir que la Ciencia es una actividad "racional". Pero en toda teoría intervienen "inobservables" — que son llamados "términos teóricos"— y que requieren de convenciones apropiadas para conectarlos con aquellos hechos que resultan de la experimentación. Esas convenciones son arbitrarias y son útiles para explicar un cierto número de casos conocidos. Pero suele ocurrir que eventos nuevos contradicen la convención adoptada. Cuando este tipo de contradicciones se repite, las convenciones deben modificarse y eso suele traer aparejado modificar la teoría vigente y, en algunos casos, descartarla.

Lo cierto es que el desarrollo de las ciencias se ha dado — y continuará así — a partir de la imaginación, la convicción y el trabajo sistemático de los seres humanos que hicieron los aportes en cada temática. En este capítulo, revisaremos la cuestión de la comunicación de los hechos científicos y, mediante un ejemplo histórico, valoraremos a ésta como una parte vital de la evolución de las ideas científicas.

Introducción

La concepción aristotélica de los cuatro elementos, suponía que el aire es un "cuerpo leve" y, por lo tanto, carente de peso. Dado que durante muchos siglos fue imposible pesar una cantidad de aire, la carencia de peso se adoptó como convención. Esta convención tornaba ilógica la aceptación de que el aumento de peso que experimentan los productos de la combustión se debe a que el material que se quema se combina con el aire.

En este trabajo hacemos una breve descripción de los primeros ensayos que mostraban aumento de peso en las combustiones y calcinaciones y las hipótesis que se formularon para explicar dicho aumento.

¿Qué diferencia hay entre combustión y calcinación?

Desde los albores de la alquimia se atribuyó una gran importancia a la acción del calor sobre diversos cuerpos y los escritos alquímicos describen muchos tipos de hornos, así como los experimentos que en ellos se realizaban.

Ya desde el siglo XII a C. se sabía que ciertos metales, como el hierro o el plomo, al ser expuestos al fuego sufren transformaciones. Cuando se los calentaba en crisoles expuestos al aire, dejaban una escoria que, con el tiempo, se popularizó con el nombre genérico de "cal". En cambio, el oro y la plata, no formaban "cales" y, al estado puro, el único cambio que producían era la fusión —si la temperatura que alcanzaban era la adecuada. Debido a estos comportamientos disímiles, el oro y la plata fueron llamados "metales perfectos", mientras que aquellos metales que por calentamiento al aire formaban "cales", fueron llamados, genéricamente, "metales imperfectos".

El nombre de "combustión" quedó para el proceso de quemar no metales como el azufre o materiales combustibles como la madera o el carbón. En cambio, el proceso de quemar metales en recipientes abiertos se llamó, y se llama actualmente, calcinación.

Durante la Edad Media, el desarrollo de la metalurgia fue suministrando información cada vez más precisa acerca de las propiedades de los metales imperfectos bajo la acción de la llama. Sin embargo, no había una hipótesis que mereciera el calificativo de científica, que explicase el comportamiento de los metales y de otros materiales al ser expuestos a la acción del fuego.

Recién a principios del siglo XVII y gracias a los trabajos de Johann Baptiste van Helmont (1577 – 1644), comenzaron a estudiarse las propiedades de los gases y sus comportamientos bajo diversas condiciones exteriores, así como las características distintivas de sus naturalezas. En ese siglo, científicos como Robert Boyle (1627 – 1691), Robert Hooke (1635 – 1703) y John Mayow (1643 – 1679), realizaron estudios sobre la combustión y la calcinación que incluían la participación de los gases en la producción de esas transformaciones.

¿Qué sucede con los metales cuando se calcinan?

Boyle y su ayudante, Hooke, realizaron varios experimentos en los que intentaron quemar, en el vacío, diversos materiales dejándolos caer sobre una lámina de hierro calentada al rojo. Salvo en el intento de quemar azufre —donde el papel que envolvía al azufre produjo un poco de humo— no observaron formación de sales. También comprobaron que, al hacer el vacío, la llama de una bujía se extingue. Los resultados experimentales les permitieron formular la hipótesis de que no puede mantenerse ninguna llama en ausencia de aire.

Boyle publicó un trabajo (Boyle, 1673) donde describió el aumento de peso de los metales al ser calcinados al aire. En uno de esos experimentos encontró que, cuando permitía el ingreso de aire, 2 onzas de estaño calentados a muy baja presión aumentaban su peso en 12 granos (0,78g)¹. También comprobó un aumento de peso en la formación del *precipitado rojo per se* (óxido de mercurio) y que:

“... si se aplica un grado de calor superior y conveniente [...] se reduce de nuevo a mercurio vivo sin el añadido de ningún agente volatilizante, operación que puede realizarse con facilidad. Los químicos y los médicos que suponen que este precipitado se forma sin añadido ninguno, se encontrarían quizás en grandes dificultades para dar una explicación satisfactoria de la consistencia y grado de fijeza que se obtiene en el mercurio; pues si en ese cambio no se agrega ningún cuerpo al mercurio, la transformación sólo puede ser de carácter mecánico [...] aunque confieso que he tenido la sospecha de que, tal vez, desde un punto de vista estrechamente filosófico, ese precipitado se haya formado per se con el añadido de algunas partículas ígneas, especialmente, salinas, que se han asociado con los corpúsculos del mercurio.”²

El aumento de peso que acompaña a la calcinación de metales ya había sido encontrado por Paulus Eck von Sulzbach (Sulzbach, 1489). Si bien sobre este tema hay alguna referencia en los trabajos de Geber³, von Sulzbach fue el primero que demostró cuantitativamente que los metales aumentan de peso cuando se los calcina. Los valores que encontró difieren bastante de los que pueden obtenerse a través de mediciones cuidadosas. Pero en todos los casos que él analizó, la cal pesaba más que el metal que le había dado origen. A los óxidos metálicos que se forman los llamó “cenizas fijas” (*cineres fixi*), al óxido de mercurio lo llamó *mercurium fixe* o “cinabrio artificial”. “Seis libras”, dijo, “de mercurio y de plata amalgamadas, calentadas en cuatro vasos diferentes durante ocho

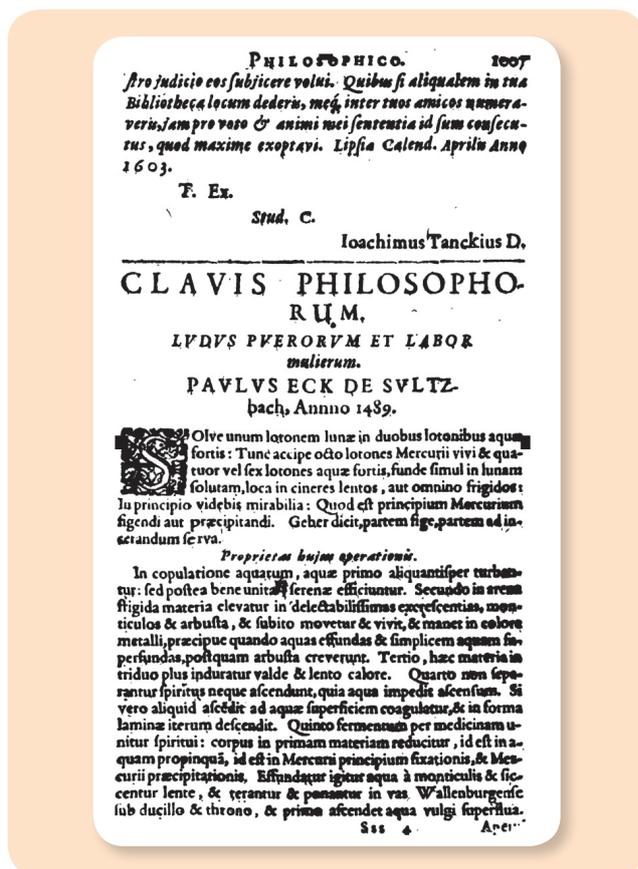


Figura 1: von Stulzbach, P. E. *Clavis philosophorum ludus puerorum et labor malierum*.

días, probaron un aumento de peso de tres libras”. Este experimento fue repetido en noviembre de 1489 y extendido al mercurio, demostrando el aumento de peso de las cenizas de mercurio.

“Este aumento de peso viene de un espíritu (gas) que se une al cuerpo del metal⁴ que, con el mercurio, forma el cinabrio artificial y que cuando este último se somete a destilación, libera al espíritu”.

Girolamo Cardano (1501- 1579) observó también el aumento de peso que acompaña a la calcinación (Cardano, 1551) pero su hipótesis acerca de la causa de ese aumento dista bastante de ser científica: en la oxidación del plomo a “cerussa” (carbonato de plomo) sostuvo que el aumento de 1/13 de su peso se debe a que al quemar el plomo, este muere y desaparece su “calor celestial”, que es su alma. Así como el “calor celestial” le da vida y levedad al metal, su ausencia le da gravedad y muerte.

Julius Cæsar Scaliger (1540 – 1609), hizo una interpretación diferente a la de Cardano sobre la causa del aumento de peso al cabo de la calcinación (Scaliger,

1. Lo que correspondería a una oxidación superficial. Boyle supuso, erróneamente, que este aumento de peso se debía a que cuando el aire ingresaba, el metal calentado absorbía “partículas ígneas”.
 2. “...with a greater and competent degree of heat [...] would without the help of any volatilizing aditament be easily reduced into running mercury again. Chemists and physicians who agree in supposing this precipitate to be made without any aditament, will, perchance, scarce be able to give a more likely account of the consistency and degree of fixity, that is obtained in the mercury; in which since no body is added to it, there appears not to be wrought any but a mechanical change [...] though, I confess, I have not been without suspicions, that in philosophical strictness this precipitate may not be made per se but that some penetrating igneous particles, especially saline, may be associated themselves with the mercurial corpuscle. Works, edición de Birch, Vol. III. p. 620.
 3. Jabir ibn Hayyan al Azdi, (721 – 815) conocido en Occidente como Geber fue un alquimista iraquí que realizó enormes trabajos en esa especialidad.
 4. Spiritus prius unitur corpori.

1582), sosteniendo que el aumento de peso del plomo calcinado se debe "a las partículas aéreas que se consumen por el fuego". Por esta razón, explicó, los ladrillos horneados pesan más que los ladrillos que aún no han sido cocidos.

Estos pensadores, estaban imbuidos en la concepción aristotélica de los cuatro elementos, dos de los cuales se consideraban "graves" y los otros dos "leves". La levedad del aire y el fuego y la imposibilidad fáctica de pesarlos, llevaron a esos científicos a la convicción de que eran imponderables. Con esa convicción, nunca podrían haber encontrado la verdadera causa del aumento de peso que acompaña a la calcinación.

Los ensayos de Jean Rey

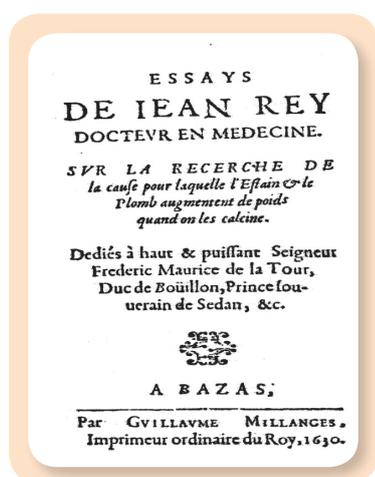


Figura 2: Carátula del libro de Jean Rey

Jean Rey nació alrededor de 1583 en Bugue, una pequeña villa de Périgord, en la Dordoña. Estudió en Mountauban donde obtuvo el título de *maître des arts*. Luego estudió medicina en Montpellier doctorándose en 1609. Regresó a su ciudad natal ejerciendo allí su profesión hasta su fallecimiento en 1645. Matizó su actividad profesional

con la investigación química realizando sus experimentos en la fundición de metales de su hermano.

En el año 1629, Jean Brun, que era el farmacéutico jefe en Bergerac, le envió una carta a Rey, contándole que había colocado 2 libras y 6 onzas de estaño de gran pureza en un recipiente de hierro y calentado fuertemente en un horno abierto con agitación continua. Sin haberle agregado nada, al cabo de 6 horas, obtuvo 2 libras y 13 onzas de una cal blanca. Este aumento de peso de 7 onzas, "lo llenó de asombro, ya que durante la calcinación se habían liberado humos". Por ello deseaba conocer la opinión del Dr. Rey acerca de la causa del aumento de peso. Más tarde el Sr. Brun le envió otra carta, relatándole sus experimentos de calcinación del plomo en los cuales también se había verificado un aumento de peso.

En enero de 1630, Jean Rey publicó el resultado de sus estudios sobre este caso en un ensayo titulado *Essays sur la Recherche de la cause pour laquelle l'Estain & le Plomb augmentent de poids quand on les calcine*⁵. En este trabajo, Rey desarrolló la teoría de que el aumento de peso en la calcinación del estaño y del plomo se debe a que esos metales se combinan con el aire. Para fundamentar su teoría recurrió a diversos experimentos. Si bien algunas de sus consideraciones son algo metafísicas (y otras erróneas) sus conclusiones son completamente correctas. En primer término se abocó a demostrar que el aire tiene peso, desvirtuando la teoría de que los "elementos leves", el aire y el fuego, son imponderables.

Para ello recurrió a un experimento en el cual cuatro materiales líquidos de distinta densidad, inmiscibles entre sí, se agitan en un recipiente y cuando alcanzan el reposo se estratifican nítidamente. Sobre esta base argumentó:

*"Que el fuego es, por su naturaleza, tan sutil que apenas merece el nombre de cuerpo y, consecuentemente, es despojado de prácticamente toda resistencia, de donde se sigue que el aire, subiendo sin obstáculos abordaría los cielos expulsando al fuego de su lugar y lo forzaría a buscar un estrato más bajo lo que contradice la propia doctrina (que el fuego es más leve que el aire). Yo le agrego a esto otro inconveniente, a saber: el perpetuo e infructuoso conflicto que existiría entre los elementos graves y leves, éstos últimos empujando hacia arriba mientras que los otros lo harían hacia abajo, a toda su potencia. De esto surgiría que en el lugar de su contacto un estado de tensión incomparablemente mayor que la que hay en una cuerda tirada de una y otra parte por dos manos poderosas cuyo esfuerzo provocaría su ruptura. Tal estado está muy lejos del nudo amistoso con que la Naturaleza ha querido unir los elementos vecinos implantando en su seno cualidades similares por medio de las cuales a diario se comunican entre sí simbólicamente amigables. De esto resulta que la levedad es un vocablo que, en la Naturaleza, no significa nada en absoluto, por lo que debemos rechazarla o, si la retenemos, sólo denotaría una relación o un informe de que una cosa es menos pesada que aquella que la aventaja (en el peso)."*⁶

Para reafirmar la idea de que el aire tiene peso da un argumento muy sencillo:

*"Ahora, si hemos acordado que todo lo que se hunde hacia abajo sin ninguna coacción tiene peso, cuando tal movimiento procede, ¿quién podría negarle tal cualidad al aire al ver que cuando se arrastra una estaca sobre la tierra corre sobre ella para llenar el agujero?"*⁷

5. Este ensayo fue reimpresso en 1777. en París, por Gobet, con el agregado de varias notas. En 1907, The Alembic Club publicó una traducción al inglés (Reprints N° 11).

6. "Que le feu estant de nature si subtile qu'à peine merite-il le nom de corps, il est consequemment desnü de presque toute resistance: d'oü s'ensuiuroit que l'air montant en haut sans empeschement aborderoit le ciel, exilant le feu de sa place, & le contraignant de chercher un siege plus bas, au detrimant de leur propre doctrine. l'adiouste à ceci un autre inconvenient, sçavoir est l'estrif perpétuel, sans nul fruit, qui seroit entre les elemens pesants & légers, ceux-ci tirans en haut, & les autres en bas, à toute leur puissance. D'oü sourdroit à l'endroit de leur contigüité, une souffrance sans comparaison plus grande que ne reçoit la fiscelle tirée d'une & d'autre part par deux puissantes mains, luy faisans tel effort qu'on en voit la rupture. Bien loin de ce nœud d'amitié dont la Nature a voulu joindre les elemens voisins, plantant dedans leur sein des qualitez semblables, par le moyen desquelles ils communiquent entr'eux, & tousiours amiablement symbolisent. Dont il resulte que la légèreté est un vocable qui ne signifie rien d'absolu en la nature: si qu'il le faut reietter; ou, si nous le retenons, que ce soit pour dénoter seulement une relation ou rapport d'une chose moins pesante à celle qui l'est davantage.". *Essays*, (1630), p. 17-18.

7. "Or, puis qu'on demeure d'accord que tout ce qui s'avele en bas sans aucune contrainte a de la pesanteur, d'oü un tel mouvement procède, qui fera celui qui pourra defnier cette qualité à l'Air, voyant qu'on n'aura pas plustost arraché un pal de la terre, qu'il n'aye couru au trou, pour fermir de remplage" *Ibid.* p. 19.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

Luego de “demostrar” que todos los cuerpos tienen peso, deduce que ningún cuerpo se eleva espontáneamente sino que, aquellos que se elevan, lo hacen porque algún cuerpo los empuja hacia arriba. Por ello, concluye que tanto el aire como el fuego, al tener peso, se mueven “naturalmente” hacia abajo a menos que algún cuerpo más “pesado” los empuje hacia arriba.

El empeño en demostrar que el aire tiene “peso” se debió a que quiso demostrar que el aumento de peso en la calcinación se debe a que, en ese proceso, el metal incorpora aire. Por ello escribió que el peso del aire puede aceptarse mediante la razón o mediante la balanza.

*“Con las armas de la razón, entro valientemente en la tarea de combatir ese error y sostener que el peso está tan íntimamente unido a la materia prima de los elementos que no pueden ser privados de él. El peso con el cual cada porción de materia ha sido impreso en la cuna, lo portará hasta su ataúd.”*⁸

Refiriéndose a los que sostenían que el aire no tiene “peso”, Rey explicó la imposibilidad de pesar el aire en aire diciendo:

“Ya que pesando aire en el aire mismo ellos no encuentran peso en él y no le encontrarán nunca ya que es muy cierto que ningún elemento pesa en sí mismo. Todo lo que se pesa en el aire, todo lo que se pesa en el agua debe, para volúmenes iguales, contener más peso (debido al exceso de materia) que el aire o el agua en la cual la pesada se realiza. De esto voy a deducir la causa que pocas personas han percibido. Todo lo que exhibe peso en el aire (y para el agua puede decirse lo mismo) lo rompe, lo empuja haciéndolo ir hacia el fondo. Esto se llama ejercer su fuerza y su acción en el aire. Ahora, el caso es que ningún agente actúa en un medio semejante a él ya que toda acción presupone una acción en contrario”.⁹

En cuanto a la causa del aumento de peso dada por Cardano, la cuestiona preguntando cómo se puede considerar que el plomo tiene un “alma” si no es un ser viviente. ¿Qué tenacidad debe tener esa alma para no abandonar al plomo cuando este es molido, moldeado o fundido? Rey reafirma su argumentación di-

ciendo que ha probado que nada que no sea materia puede incrementar el peso del plomo.

Rey refuta también la hipótesis de Scaliger y explica que al hornear los ladrillos estos expulsan el agua de sus intersticios lo que aumenta su densidad.¹⁰

*“En cuanto al plomo, como es bien sabido, funde sobre el fuego juntando todas sus partes en el vaso y no deja ninguna traza de aire dentro suyo, de acuerdo con el privilegio que la Naturaleza le ha otorgado a todas las cosas gravitantes y a los fluidos de forzar hacia arriba a aquellos que son menos (densos) y hundirse con ellos. Este plomo, abandonado a sí mismo, pierde su calor poco a poco y se va coagulando cerrando y contrayendo en sí mismo y disminuyendo en volumen como se aprecia en la hendidura de la superficie cuando se ha enfriado: de modo que no se puede imaginar que haya aire encerrado en esa pesada masa. Vuélvala a fundir y calcínela y encontrará un aumento de peso, no por la consumición de las partículas aéreas sino en razón del aire que se ha condensado y unido al plomo, tal como ya he dicho. Y, de hecho, si pierde algunas partículas aéreas, ¿No decrecería en volumen? Al contrario, aumenta. Y si esa razón fuese válida, ¿Por qué las rocas y las plantas no aumentan su peso cuando las calcinan? De lo anterior, yo infiero que la consumición de partes aéreas no aumenta jamás los pesos de las cosas cuando no resulta una contracción; lo que no es el caso de nuestro asunto y ella no puede ser admitida como causa del mayor peso del cual estoy exponiendo. Concluyendo, yo agregó que el aire que, mediante una jeringa, es forzado a entrar a un globo lleno de aire, disminuye el peso al escapar más que aumentarlo como Scaliger considera.”*¹¹

En el Ensayo XIX, Rey cuenta que Andreas Libavius, en el Capítulo X del sexto tomo de su *Syntagmatis Arcanorum Chymicorum* dijo que Andreas Cæsalpinus escribió, como algo digno de admiración, que en la calcinación del plomo hay un aumento de peso del 8 – 10% y que, en la búsqueda de la causa, Cæsalpinus planteó la hipótesis que el aumento se debe al “hollín que el fuego produce el que, al reflejarse en la bóveda del horno cae sobre la materia”. Para refutar esta hipótesis Rey dio los siguientes argumentos:

“Primero, que el hollín que el fuego exhala es de na-

8. Avec les armes de cette raison, l'entre hardiment en la lice pour combattre cet erreur, & soustiens que la pesanteur est tellement jointe à la première matière des elements, qu'elle n'en peut estre deprinse. Le poids que chaque portion d'icelle print au berceau, elle le portera jusques à son cercueil. Ibid. p.25.

9. Car, balançans l'air dans l'air mesme, & ne luy trouvant point de pesanteur, ils ont creu qu'il n'en avoit point. Mais qu'ils balancent l'eau (qu'ils croyent pesante) dans l'eau mesme, ils ne luy en trouveront non plus: estant tres-veritable que nul élément pese dans soy mesme. Tout ce qui pese dans l'air, tout ce qui pese dans l'eau, doit, sous esgal volume, contenir plus de poids (pour le plus de matière) que ou l'air, ou l'eau, dans lesquels le balancement se pratique. De ceci va-je desduire la cause, que peu de gens ont appercevé. Ce qui pese dans l'air (de l'eau soit dit le mesme) le send, l'escarte, & luy fait faire place pour s'en aller à fonds. Cela s'appelle exercer ses forces & son action dans l'air. Or est-il que nul agent agit dans son semblable, toute action presupposant quelque contrariété. Ibid. p. 29.

10. En esa época un aumento de densidad se entendía como un aumento de “peso”. En el Siglo XVII muchos filósofos creían que el aumento de densidad implica un aumento de peso. En la cocción de un ladrillo, se evapora el agua y el ladrillo aumenta su densidad pero disminuye su peso. Scaliger, al igual que muchos de sus contemporáneos estaba convencido que el peso también aumentaba y por ello dio ese ejemplo. El poco conocimiento acerca de la densidad de los cuerpos y su comportamiento en los fluidos le hizo perder a Galileo la famosa apuesta acerca de la tabla de ébano.

11. le plomb, il se fond au feu, comme on sçait; & estant fondu, joint de toutes parts le vase, ne laissant pas un brin d'air dedans soy, suyuant le privilege que la nature a départi aux choses pondereuses & fluides de chasser haut celles qui le sont moins, en s'enfonçant toussieurs dedans icelles. Ce plomb mis en arriere, sa chaleur se perd peu à peu: tandis il se reprend & se caillit, s'avallant dedans soy, & decheant de volume, ainsi qu'appert par la fossette qui se voit au-dessus quand il est refroidi: si qu'on ne peut s'imaginer quelque air enclos dans cette lourde masse. Refondez-là, & la calcinez, vous y trouverez plus de pesanteur; non pour la consommation des parties aërées, veu qu'il n'y en avoit point; mais à raison de l'air espessi qui s'y est joint, comme j'ay désia dit. Et, de fait, s'il se perdoit quelques parties aërées, ne décroistroit-il pas de volume? Il en augmente au rebours. Et puis, pourquoi les pierres & les plantes n'accroissent-elles de poids estans calcinées, si cette raison a lieu? J'infere de ce dessus que la consommation des parties aërées n'augmente jamais le poids aux choses dont l'estreccissement ne s'ensuit; ce qui n'estant en nostre affaire, elle ne peut estre admise pour la cause du plus de poids dont je discours. J'adjouste, pour la fin, que l'air qui est syringué à force dans le balon qui en est plein, sortant d'iceluy, le rabaisse de poids; bien loin de l'en accroistre, comme Scaliger veut. Essays.. p. 55- 56.

turalidad tan tenue, que las siete onzas que el Sr. Brun encontró en exceso, ocuparían más espacio que el que obtuvo en la calcinación. En segundo lugar, que esta abundancia de hollín ennegrecerían tanto la cal de estaño y de plomo que jamás las damas obtendrían de ellas la blancura para sus rostros, como muchas lo hacen. ¿Y se podría prevenir un aumento al infinito del peso de la cal, ya que uno puede continuar el fuego tanto como quiera suministrando hollín continuamente? Agreguemos que el Sr. Brun calcinó su estaño a fuego desnudo y abierto de modo que el hollín sólo podía salir a través de los reguladores de tiro del horno y no depositarse sobre la sustancia sobre la que, de ese modo no podía caer, por no tener tanto "peso" como el aire contenido en el vaso".¹²

Rey también descartó que el aumento de peso de las cales de estaño y de plomo se deba al hierro del recipiente en el cual se forman ya que oscurecería a las cales y éstas no serían de un color tan blanco. Además, al cabo de varias calcinaciones sucesivas el recipiente se habría vuelto inútil para el proceso. Si esta fuera la causa, a partir de pequeñas cantidades de estaño o plomo, se podrían obtener cantidades muy grandes de cal, lo que es refutado por la experiencia. Además, Rey hace notar que Andreas Libavius en la misma obra, cita a Modestinus Fascius quien estableció que en la calcinación también el vaso aumenta de peso.

Ante una sugerencia del Sr. Brun, de que el aumento de peso se debe a los "vapores del carbón"¹³, Rey la rechazó diciendo que es imposible. Si esos vapores no pasan a través del vidrio o de la porcelana (caso contrario, las comidas estarían contaminadas con ellos) menos pueden pasar a través del hierro.

También descartó que el aumento se debiera a lo que los espagiristas¹⁴ llamaban "sal volátil de mercurio" ya que esta no podría haber penetrado en el recipiente y rechazó como causa del aumento al vapor de agua atmosférico, ya que nunca la humedad podría provocar un aumento de tal magnitud que, además, fuera constante.

Luego de refutar todas las posibles causas del aumento de peso. Expresó:

"Entonces, apoyándome en los argumentos expuestos

respondo a esta cuestión y sostengo orgullosamente: "Que el incremento de peso viene del aire, que en el vaso se ha vuelto más espeso, pesado y, en cierta medida adhesivo, debido al largo y vehemente calentamiento continuo del horno, por el cual el aire se mezcla con la cal (con la ayuda de una agitación frecuente) y se adiciona a sus más diminutas partículas".¹⁵

Aquí Rey comete un error al afirmar que el aire se adiciona a la cal, aunque más adelante se refiere a que la formación de la cal es debida a una unión del aire, total o parcial, con el metal y el aumento de peso es debido a esa unión.

En la parte final de sus ensayos, describe un experimento en el cual no interviene el horno, ni el carbón del combustible, ni el hierro del recipiente, por lo que no hay hollín, ni fuego, ni vapores del combustible, ni sal volátil de mercurio, ni ningún otro factor al cual se le pueda adjudicar el aumento de peso. Este experimento fue descrito por Hamerus Poppius (Poppius, 1618), en 1618 y se refiere a la calcinación del antimonio por la acción de los rayos solares. Jean Rey lo describe así:

"Él tomó una cierta cantidad, la pesó y, habiéndola pulverizado, la colocó en forma de cono sobre (una placa de) mármol. Mediante un "espejo ardiente" colocado opuesto al sol dirigió la punta piramidal de los rayos reflejados sobre la punta del cono de antimonio que inmediatamente ahumó abundantemente y, en muy poco tiempo lo que los rayos tocaron se convirtió en una cal muy blanca, que separó con un cuchillo y condujo los rayos sobre el metal restante hasta que todo quedó (de color) blanco y entonces la calcinación terminó. Es una cosa admirable (él agregó) que si bien en esta calcinación el antimonio perdió bastante de su sustancia, por los vapores y humos que se exhalaban copiosamente, que su peso aumente y no que disminuya".¹⁶

Este experimento le permitió a Rey sostener su hipótesis:

"Esto confirma enteramente la verdad de mi creencia en el aumento del (peso) del plomo y el estaño, que no puede recibir otra causa que la mezcla del aire espesado y que no hay diferencia entre los aumentos de peso de esos dos metales y la del antimonio, sólo que en el

12. Premièrement, que la suye, à mesure que le feu l'exhale, est de nature li rare, que les sept onces que le Sieur Brun a trouvées de surcroit contiendroient plus d'espace que toute la chaux qu'il a tiré de sa calcination. En second lieu, que cette abondance de suye noirciroit tellement la chaux de l'estain & du plomb, que jamais les Dames n'iroient empruntant d'icelle la blancheur de leurs faces, ainsi que plusieurs font. Et puis qu'empêcherait qu'on n'augmentait à l'infini cette chaux, puis qu'on peut continuer le feu tant qu'on veut, qui fournira tousiours sa suye? Adjoustons que le Sieur Brun a calciné son estain à feu nud & ouvert, si que la suye a peu seulement passer à costé par les registres du fourneau, & prendre l'escart, non venir fondre sur la matière, dans laquelle aussi elle n'eut peu s'avalier, pour n'avoir tant de pesanteur que l'air contenu dans le vase. *Essays...* p. 56 – 57.

13. Los productos volátiles que se desprenden al calentar carbón.

14. El término Spagyria, fue acuñado por Paracelso para referirse a la Alquimia que se ocupaba de buscar nuevos medicamentos y no de la transmutación de metales viles a oro. Así, los alquimistas que hacían iatroquímica se los llamó espagiristas

15. A cette demande doncques, appuyé sur les fondemens ia posez, ie responds & soutiens glorieusement: Que ce surcroit de poids vient de l'air, qui, dans le vase, a esté espessi, appesanti & rendu aucunement adhesif, par la véhémence & longuement continuée chaleur du fourneau; lequel air se melle avecques la chaux (à ce aydant l'agitation fréquente), & s'attache à ses plus menues parties. *Ibid.* p. 50.

16. Il en prend certaine quantité, le pese, & l'ayant pulverisé, le pose en façon de cône sur un marbre; puis, ayant un miroir ardent, il l'oppose au Soleil, & dresse la pointe pyramidale des rayons réfléchis sur la pointe du cône de l'antimoine, qui tandis fume abondamment, & en peu de temps, ce que les rayons touchent se convertit en une chaux tres-blanche, laquelle il separe avec un couteau, & conduit les rayons sur le demeurant, tant que tout soit blanchi: & adonc sa calcination est lo faite. C'est une chose admirable, (adjouste-il en suite) que, bien qu'en cette calcination l'antimoine perde beaucoup de sa substance, par les vapeurs & fumées qui s'exhalent copieusement, si est-ce que son poids augmente, au lieu de diminuer. *Essays...* (1630), p. 67.

17. Ce qui confirme entièrement la vérité de ma créance en l'augmentation du plomb & de l'estain, qui ne peuvent recevoir d'autre cause que le meslange de l'air espessi; n'y ayant autre différence entre l'appesantissement de ces deux métaux & de celui de l'antimoine, sinon qu'ici l'air s'espessit par la chaleur des rayons solaires, & là, par la chaleur du feu commun. *Ibid.*, p. 68.

*último caso el aire es condensado por los rayos solares y en aquellos por el calor del fuego común.*¹⁷

Finalmente, Rey señala claramente que el aumento de peso no excede un cierto valor y afirma

*“La Naturaleza, en sus designios inescrutables, ha puesto límites que nunca sobrepasa”*¹⁸

La combustión y calcinación en el siglo XVIII

El aumento de peso que acompaña a la calcinación del plomo, fue verificado cuantitativamente en 1762 por Mathieu Tillet (1714 – 1791). También en Francia, 132 años después que Jean Rey lo publicara, Tillet se sorprendió por ese resultado y presentó un informe a la Academia de Ciencias en el que expresó *“la explicación de este remarcable hecho no ha sido aún dada pero tengo la esperanza de que en un futuro próximo se pueda suministrar alguna elucidación del tema”*.

La obra de Rey pasó desapercibida para la comunidad científica de su época. Durante buena parte del siglo XVIII prevaleció la concepción de que la combustión y la calcinación eran procesos diferentes con una característica común, iban acompañados por la liberación de una sustancia llamada “flogisto”. Esta sustancia sería un gas muy tenue que estaría presente en los metales y en los combustibles como el carbón o el azufre. Pero nadie pudo aislar esa sustancia sutil.

Una de las anomalías que presentó la teoría del “flogisto” fue que la calcinación de los metales va acompañada por un aumento de peso. Si en ese proceso se está liberando flogisto, la masa del producto calcinado debería ser menor y no mayor.

Concordar el aumento de peso del producto calcinado con la teoría del flogisto, que afirmaba que el peso debía disminuir, no fue tarea fácil, y dio lugar a hipótesis *ad hoc*¹⁹. Así, por ejemplo, en los cursos de Química que daba en el Laboratorio Montot, Gabriel-François Venel (1723-1775) explicaba que el flogisto no es atraído por el centro de la Tierra sino que tiende a elevarse como el fuego. Esa característica, sostenía, se debe a que *el flogisto tiene masa negativa*. De esta manera, Venel intentó explicar el aumento de peso en la calcinación.

En 1772 Antoine Laurent Lavoisier presentó una memoria ante la Academia de Ciencias describiendo

diversos experimentos probando que al quemar fósforo o calcinar metales en aire, los productos de estas transformaciones tienen pesos mayores que los materiales originales y que, además, en cada uno de estos procesos se absorbe una cierta cantidad de aire. Entre 1773 y 1774, con su esposa, Marie-Anne repitieron — sin conocerlos — los experimentos de Jean Rey, calcinando plomo y estaño en recipientes abiertos y observaron aumentos de peso (Lavoisier, 1774). Para evitar la disipación de productos volátiles, los Lavoisier repitieron los ensayos calentando esos metales en retortas de vidrio. Pesando las retortas cerradas *antes* y *después* del calentamiento encontraron que el peso no variaba. Pero al romper el extremo cerrado de la retorta, penetraba aire al interior y se formaba la cal con un aumento de peso. En esa época también observaron que, en la combustión del fósforo, no todo el aire se combina, sino que había una porción del aire que era “inerte”, a la que luego se la llamaría “aire fijo”.

Joseph Priestley (1733 – 1804) fue un teólogo no conformista aficionado a la Química. El 1º de agosto de 1774 al calentar *“mercurius calcinatus per se”* (óxido de mercurio II) mediante una lente convergente y recoger el gas desprendido bajo agua descubrió el oxígeno —al que bautizó “aire desflogistizado”— y se dedicó a estudiar sus propiedades²⁰. En octubre de ese año viajó a París en compañía de su amigo Lord Shelburne. En una cena con Antoine de Lavoisier y la esposa, Priestley comentó que había descubierto que el aire está formado por dos componentes, uno de los cuales avivaba la combustión de una bujía y el otro no. Priestley escribiría más tarde (Priestley, 1800): *“All the company and Mr. and Mrs. Lavoisier as much as any, expressed great surprise”*. Ante la sorpresa de Lavoisier y su esposa, interrumpieron la cena y fueron al laboratorio donde Priestley repitió la descomposición del precipitado *per se* y mostró que el gas desprendido aviva la llama de una astilla de madera con un punto de ignición, demostrando, de esta manera, que el oxígeno favorece la combustión.²¹ Lavoisier se percató de la importancia del descubrimiento de Priestley ya que le permitió establecer que lo que se incorporaba en la calcinación era el “aire deflogistizado”. En 1776 realizó experimentos muy rigurosos con los que pudo comprobar cuantitativamente que en el aire se encuentran dos gases. Al nitrógeno lo llamó primeramente *“mofete atmosphérique”*, luego *“air méphitique”* y más tarde *“azote”* (el nombre “nitrógeno” fue acuñado por Chaptal en 1790). Al oxígeno lo llamó inicialmente *“air éminemment respirable”* y

18. “La nature, par son inscrutable sagesse, c’est ici mise des barres qu’elle ne franchit jamais” *Ibid.*, pp. 69-70.

19. Una hipótesis *ad hoc* es un enunciado que se adiciona a una ley, teoría o modelo porque se lo quiere sostener. Su función es justificar un hecho que, sin esa interpretación adicional, sería una evidencia en contra de dicha ley, teoría o modelo.

20. “Having afterwards procured a lens of twelve inches diameter, and twenty inches focal distance, I proceeded with great alacrity to examine, by the help of it, what kind of air a great variety of substances, natural and factitious would yield putting them into the vessels ... which I filled with quicksilver, and kept inverted in a basin of the same... With this apparatus, after a variety of other experiments ... on the 1st. August 1774, I endeavoured to extract air from mercurius calcinatus per se; and I presently found that, by means of this lens, air was expelled from it very readily. Having got about three or four times as much as the bulk of my materials, I admitted water to it, and found that it was not imbibed by it. But what surprised me more than I can well express, was, that a candle burned in this air with a remarkable vigorous flame ... I was utterly at a loss how to account for it” (Priestley, J.: *Experiments and Observations on Different Kinds of Airs*, 1775, p. 8 – 10)

21. Carl Wilhem Scheele, había descubierto el oxígeno un año antes, al que llamó *aire igneo* (feuerluft), obteniéndolo no sólo del precipitado de *per se* (óxido de mercurio (II)), sino también calentando dióxido de manganeso con ácido sulfúrico y por descomposición térmica del nitrato de potasio, nitrato de mercurio (II) y de mercurio (I), calentado plata con carbonato de mercurio (I) y otros procedimientos. Pero sus hallazgos se publicaron recién en 1777. En 1892, fueron encontradas y publicadas las notas del cuaderno de laboratorio de Scheele. (Nordenskjöld, Scheele, *Nachgelasse Briefe*. Stockholm, 1892). A partir de entonces, la comunidad científica lo reconoce como el descubridor del oxígeno.

luego "air vital". En 1789, Lavoisier publicó su *Traité Élémentaire de Chymie* donde expuso que tanto el proceso de combustión como la calcinación consisten en la combinación de un no metal o un metal con el "principio oxígeno".

Conclusión

A lo largo de este trabajo, encontramos que, si bien el aumento de peso fue constatado desde fines del siglo XV, durante el siglo XVII muchos químicos, partidarios de la Teoría del flogisto, no se habían percatado de ello y cuando esa característica se hizo pública en la comunidad química, se formularon hipótesis *ad hoc* para "salvar" a la teoría del fracaso. Obviamente, en la Edad Media y Moderna las dificultades en las comunicaciones y el alto precio de los libros fueron factores importantes en la evolución errática de la Ciencia. No ponemos en duda que cuando el matrimonio Lavoisier realizó sus primeros experimentos sobre el oxígeno desconocía el libro de Jean Rey, (que estaba en la Biblioteca de la Academia de Ciencias de París, donde Antoine Lavoisier era uno de sus principales dirigentes). Lo que puede arrojar alguna sombra es que un químico de la Academia, Pierre Bayén, republicó el libro de Rey en París en 1777, pero en ninguno de sus trabajos posteriores Lavoisier mencionó a Rey.

Toda teoría que se precie de tal, incluye entre sus enunciados principales cuantificadores universales como "todos", "ningún", "siempre", etc., y pretenden ser válida no sólo para explicar los casos pasados y presentes sino predecir el comportamiento en casos futuros. Basta que alguna de sus predicciones no se cumpla para que esa teoría "tenga que ir al taller", que sufra correcciones de mayor o menor importancia, o la incorporación de hipótesis *ad hoc*. En general, los científicos — como todos los seres humanos — se resisten a abandonar una teoría en uso, aún cuando notaran hechos inconsistentes. Las teorías o los modelos (Lombardi, 2011) se descartan cuando se formula una teoría o un modelo "mejor". Por ejemplo, durante más de quince siglos se fue perfeccionando el modelo astronómico geocéntrico. La hipótesis de Copérnico descartó casi por completo todo lo desarrollado por el geocentrismo. Por todo esto es que debemos aceptar que *toda teoría nace provisoria y muere cuando aparece una teoría que explica lo que aquella no puede explicar y tiene mayor poder predictivo*.

Queda claro que en el devenir de la actividad científica los conceptos "verdad", "realidad", "descubrimiento", etc. son variables subsumidas en el mundo de posibles ideas, modelos, explicaciones y métodos, cuyos límites son sólo los que se derivan de la imaginación de los seres humanos (Schnek, 2008; Cárcova, 2011; Massarini, 2011). Así mismo, la historia relatada en este capítulo nos hace reflexionar sobre el papel fundamental de la comunicación entre los científicos para promover —o no— la capacidad de consolidar, rechazar o evolucionar de esas ideas, modelos, explicaciones y métodos.

Referencias bibliográficas

Boyle, R.; (1673): *New Experiments to make Fire and Flame Stable and Ponderable*. Publicado por Birch, J.; (1744): *Life of Boyle, Works*. Vol. III. p. 340 y ss.

Cárcova, C. (2011). La deriva de la verdad, en *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos* (Galagovsky, L Coordinadora), Lugar Editorial, Buenos Aires.

Cardano, G.; (1551): *De Subtilitate. Libri XXI*, Edición de Gugliemum Rouillium, Lugduni. p. 212.

Lavoisier, A.L., (1774) : «Sur la calcination de l'étain dans les vaisseaux fermés et sur la cause de l'augmentation de poids qu'acquiert ce métal pendant cette opération ». *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1774, p. 351.

Lombardi, O (2011). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad, en *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos* (Galagovsky L., Coordinadora), Lugar Editorial, Buenos Aires.

Massarini, A. (2011). El papel de las metáforas en el desarrollo de los conocimientos científicos y en su enseñanza, en *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos* (Galagovsky L., Coordinadora), Lugar Editorial, Buenos Aires.

Poppio, H., (1618) "De calcinatione antimonio per ignem caelestem, Seu "Radios solares", en *Basilica antimonii, in qua antimonii natura exponitur et nobilissimae remediorum formulae, quae pirotécnica arte ex eo elaborantur, quam accuratum traduntur, manuali experientia comprobata et conscripta ab Hamero Poppio Thallino, Philochymico*. Francofurti; Apud Hummium (1618). p.p. 21 – 24.

Priestley, J., (1800): *The Doctrine of Phlogiston Established, and that of the Composition of Water Refuted* p. 88.

Rey, J. (1630): *Essays sur la Recherche de la cause pour laquelle l'Estain & le Plomb augmentent de poids quand on les calcine*. Bazas ; Paris.

Scaliger, J. C., (1582): *Exotericarum Exercitationum Liber XV De Subtilitate ad Hieronymum Cardanum* Wechelians, Hannover, p.p. 365-67.

Schnek, A (2008). ¿Que aporta la historia de las ciencias a la enseñanza de las ciencias naturales?, en *¿Qué tienen de naturales las ciencias naturales?* (Galagovsky L, Coordinadora), Editorial Biblos, Buenos Aires.

von Sulzbach, P. E.; (1489) : « Clavis philosophorum ludus puerorum et labor malierum » Publicado en 1556 en el *Theatrum Chemicum Præcipus Selectorum Auctorum Tractatus de Chemiæ et Lapidis Philosophici*. Vol. IV, Anno 1489., p.p. 1008 – 1014.

3

CONTRIBUCIÓN DEL CONOCIMIENTO QUÍMICO A LA SUPERVIVENCIA HUMANA. LOS CASOS DE LAVOISIER Y PASTEUR

Dr. Alberto A. Ghini¹ y Dr. Carlos P. Lantos²

¹Cátedra de Química, Ciclo Básico Común y UMYMFOR (CONICET-UBA), Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, C1428EHA. Buenos Aires, Argentina. E-mail: ghini@qo.fcen.uba.ar

²Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires y CONICET. Pabellón 2, Ciudad Universitaria, C1428EHA. Buenos Aires, Argentina. E-mail: clantos@qb.fcen.uba.ar

Según los léxicos, la química es la ciencia que estudia la estructura, propiedades y transformaciones de la materia. La definición de la vida es bastante más compleja; siempre fue, y sigue siendo, objeto de discusiones metafísicas, un poco alejada del propósito y ocasión de esta presentación. Se trata de una de las causas por las que preferimos hablar aquí de supervivencia. En cuanto a nosotros, "los químicos", desde que fuimos alquimistas se nos asocia con toda suerte de misterios, retortas y llamas, con fuego y humos, y con muchas de las desgracias que afligen a la humanidad. Estos juicios aún perduran aunque ninguno de nosotros trabaje con retortas y que muchos químicos contribuyan con sus inventos a una vida más larga y sana, tal como ahora se prueba estadísticamente. Que estos inventos no contribuyan también a la felicidad humana no debemos acusar a la química ni a los químicos, sino a que muchos encargados de usar nuestros inventos y descubrimientos los hayan mal-usado y los mal-usen. Piénsese solamente en el ab-uso y mal-uso de la liberación de la energía nuclear...

Otro prejuicio que esta vez nos toca de cerca a todos los investigadores científicos de la disciplina que fuere, es que la ciencia "básica" –sin posibilidad remunerativa aceptable inmediata, o lo que es lo mismo, sin provecho para la humanidad, su salud, bienestar o felicidad - no sirve para nada y no merece ser apoyada. Es triste escuchar este prejuicio en diversos grados, aún en boca de personas inteligentes de las cuales uno espera opinión expresa más sensata.

Para empezar con estas contradicciones y confrontaciones que no son nuevas, nada mejor que hablar del padre de la química moderna, Antoine Laurent Lavoisier, y de su continuador y padre de la microbiología, Louis Pasteur, a quienes dedicaremos respectivamente la primera y la segunda parte de esta monografía.

PRIMERA PARTE: Antoine Laurent Lavoisier

Antoine Laurent Lavoisier, que vio la luz en París en 1743, fue acusado de estafador y envenenador, y fue guillotinado en consecuencia, también en París, en 1794. Se recuerda en Lavoisier a un sabio multifac-

cético que además de la química incursionaba en las matemáticas, la mineralogía y la teoría económica y política, y que aún así encontró tiempo para estudios sobre el fraguado del yeso que hoy se siguen teniendo en cuenta. Demostró experimentalmente las leyes de la química mediante calorímetros y balanzas que él mismo diseñaba y de esta conjunción teórico-práctica nació necesaria y espontáneamente su "filosofía experimental". Por algo Louis Pasteur, un siglo después, lo nombró "Legislador" de la química. Pero más que nada nos entusiasma el espíritu crítico con el que comenta ingenuamente los errores de la metodología científica de su tiempo, los de transmisión del conocimiento y la nefasta combinación de ambos.

En lo que sigue, Lavoisier -pedagogo, legislador, crítico y "filósofo experimental"- llega a conclusiones a través de observaciones y experimentos: el pedagogo inicia a sus neófitos en el estudio de la química mostrándoles racionalmente cómo experimentar y cómo sacar conclusiones de los experimentos, cómo y qué discutir, y cómo poner por escrito en forma sencilla, precisa y didáctica, lo adquirido.

Dividimos esta primera parte dedicada a Lavoisier en dos secciones: la primera –dividida en sectores A y B- gira alrededor del Filósofo Experimental en los términos arriba definidos, tomando como base sus mismas ideas expresadas en el *Traité Élémentaire de la Chimie* (Figura 1) publicado pocos años antes de su muerte. La segunda sección lo ubica y describe en el ambiente saturado de intrigas de la época terminal y menos grata de la Revolución Francesa, la del Terror, que fue testigo de su vil asesinato.

Primera Sección

A. Breve incursión en la obra científica de Lavoisier a la luz del *Traité Élémentaire de la Chimie* (Editorial chez Cuchet, París 1789) y relacionadas. Significado de "elemento".

El libro en dos tomos que destaca el subtítulo es el que mejor expresa la contribución de Lavoisier a la ciencia a través de las ideas, los métodos y las hipótesis, seguidos de una "Nomenclatura" a la cual se aferra en todas sus descripciones. La palabra "élé-

1. Cátedra I de Química

2. Departamento de Química Biológica

mentaire” –imprescindible para entender el verdadero significado del título “Traité Élémentaire de Chimie”- no equivale aquí a “elemental” en el sentido de “necesario para poder seguir” que habitualmente se le da, sino a “propio de los elementos”, definidos por él como “sustancias más simples que ya no pueden ser descompuestas por ningún método conocido de análisis químico”, análisis a cuya ejecución, entendimiento y propia definición dedica luego toda su vida y obra.

Lavoisier generó una tabla de 33 sustancias que “carecen de la posibilidad de descomponerse aún más” entre las cuales se encontraban lo que después serían los metales y no-metales sólidos fósforo, mercurio, zinc y azufre, así como los gases oxígeno, nitrógeno e hidrógeno. El agua no era para Lavoisier un “elemento”, tal como lo habían propuesto los antiguos griegos que suponían toda la materia existente compuesta de cuatro elementos con propiedades características: la tierra: fría y seca; el agua: fría y húmeda; el fuego: caliente y seco, y el aire: caliente y húmedo. Pero aún científicos apenas anteriores a Lavoisier, tales como Robert Boyle (1627 – 1691) se expresaron respecto al término en forma vaga, como si las definiciones fueran objeto de compromisos políticos. Así Boyle definió el concepto **elemento** con las poco comprometedoras palabras de “cuerpos perfectamente no-mezclados” (“perfectly unmixed bodies”).

Sea como fuere, después de más de dos siglos resulta difícil discrepar con las definiciones, limitaciones y nómima de “elementos” de Lavoisier.

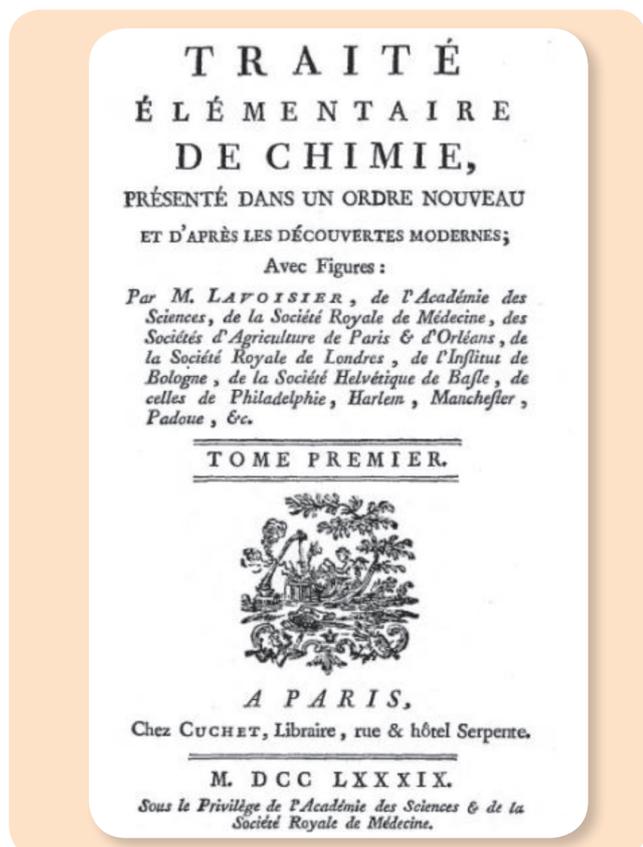


Figura 1: Primera página del libro publicado por A. Lavoisier. Ed. Chez Cuchet, 1789.

Reproducimos aquí un extracto en castellano del prefacio y primer capítulo de una traducción inglesa de aquella obra, aún hoy muy tenida en cuenta universalmente, hecha por su contemporáneo Robert Kerr en 1790. Este traductor científico la llamó con la contundente cuan sucinta lógica británica, simplemente: *Elements of Chemistry*. La traducimos al castellano en partes que nos parecieron pertinentes ya que Kerr aporta explicaciones de importancia al texto francés original y aclara dudas sobre algunas frases que se perdieron, que no quisimos ignorar ni -por otra parte- extender innecesariamente los conceptos del manuscrito con una duplicación bilingüe. En todo tratamos de ser fieles tanto al pensamiento como a la traducción originales, con unos pocos agregados que –en todo de aquí en adelante – se colocarán entre paréntesis.

Empieza Lavoisier: “Cuando inicié este trabajo, mi único objetivo fue extender y explicar con más detalles la Memoria que leí en la reunión de la Academia de Ciencia en el mes de abril 1767, sobre la necesidad de reformar y completar la Nomenclatura de Química. (Pero) Mientras estuve comprometido en esta tarea, me di cuenta mejor que nunca del acierto de las siguientes máximas del Abate Condillac, en su Sistema de Lógica y algunas otras de sus obras.¹

“...Los lenguajes son verdaderos métodos analíticos... El álgebra, que se adapta a sus propósitos en toda especie de expresión de la manera más sencilla, más exacta y mejor en todo sentido, es - al mismo tiempo - un lenguaje y un método analítico...”

“Es así como, mientras yo (Lavoisier) me creía dedicado exclusivamente a crear una Nomenclatura, y mientras me proponía solamente mejorar el lenguaje químico, mi trabajo se transformaba de por sí en un tratado de Elementos de Química, gradualmente y sin que yo lo pudiese evitar.

La imposibilidad de separar la nomenclatura de una ciencia de la ciencia misma se debe a que cada rama de una ciencia física ha de consistir en tres cosas: la serie de hechos que son el objeto de la ciencia, las ideas que representan estos hechos y las palabras que expresan estas ideas. ... ”

“Es una máxima universalmente admitida en geometría, y así en toda rama del conocimiento, que, en el desarrollo de la investigación, debemos proceder desde hechos conocidos a lo que es desconocido. En la infancia temprana, nuestras ideas saltan desde nuestros deseos; la sensación de deseo estimula la idea del objeto por el cual ha de ser gratificada. De esta manera, a partir de una serie de sensaciones, observaciones y análisis, surge un secuencial tren de ideas, tan interconectado, que un observador atento puede remontar hasta cierto punto el orden y la colección de la suma del conocimiento humano.

Cuando empezamos el estudio de cualquier ciencia, nos encontramos en una situación, con respecto a esta ciencia, similar a la de niños; y el camino por el cual debemos avanzar es precisamente el mismo que la Na-

1. Lavoisier se educó en el célebre Colegio Mazarin, y guardó durante toda su vida una alta estimación por sus maestros, entre ellos su distinguido profesor de Lógica, el abate de Condillac.

turalidad sigue en la formación de ideas. En el niño, la idea es meramente un efecto producido por la sensación, y, de la misma manera, comenzando el estudio de una ciencia física, no deberíamos formar una idea sino de aquello que es una consecuencia necesaria, un efecto inmediato, de un experimento o una observación. En realidad, quien entra en la carrera de la ciencia, se encuentra en una situación menos aventajada que (este) niño que adquiere sus primeras ideas. A un niño la Naturaleza otorga varios modos de rectificar errores que comete, teniendo en cuenta las cualidades saludables o dolorosas de los objetos que lo rodean. En toda ocasión sus juicios son corregidos por la experiencia: deseo y dolor son las consecuencias que necesariamente surgen de juicios errados, gratificación y placer son producidos si juzga bien. Con tales maestros, no podemos dejar de estar correctamente informados; y pronto aprenderemos a razonar con justicia.

En el estudio y la práctica de las ciencias (algo pero no todo) es totalmente diferente; los falsos juicios que formamos no afectan nuestra existencia ni nuestro bienestar (personal); y no nos fuerza ninguna necesidad física de corregirlos. Sin embargo la imaginación, que siempre vaga más allá de los límites, unida a la egolatría y la autosuficiencia que asumimos con tanto ligereza, nos llevan a dibujar conclusiones que no derivan inmediatamente de hechos; de tal manera que llegamos poco a poco a cierto grado de autoengaño. Así no es de extrañar que, en la ciencia de las físicas en general, los hombres hayan hecho suposiciones en vez de formular conclusiones. Estas suposiciones, transmitidas hacia abajo de una edad a otra, sufren el peso adicional de las autoridades que las apoyan, hasta que finalmente son recibidas, aún por hombres de genio, como verdades fundamentales.

“La única forma de evitar que se originen estos errores y de corregirlos una vez cometidos, es contener y simplificar nuestro razonamiento. Esto sólo depende de nosotros...(Aprendamos de) Los matemáticos (que) obtienen la solución de un problema por el mero arreglo de datos, reduciendo sus razonamientos a pasos sencillos hacia conclusiones tan obvias, que nunca pierden de vista la evidencia que los guía.

Profundamente convencido de estas verdades, me he impuesto, como ley, nunca avanzar sino de lo conocido a lo que es desconocido; nunca formular conclusión alguna que no sea una consecuencia inmediata fluyendo de observación y experimento, y de arreglar hechos (experimentales) y las conclusiones derivadas de ellos en tal orden que facilita a los principiantes el estudio de la química (para) entenderla en sus raíces. Esto me obligó a apartarme de los habituales cursos de conferencias y de tratados de química, los cuales siempre suponen conocidos los primeros principios de la ciencia, (aún) cuando no se debe creer que el alumno o el lector los sepa antes de que se hayan explicado en lecciones subsiguientes. Estos empiezan en todas las instancias tratando los elementos de la materia y explicando la tabla de afinidades sin considerar que, antes de hacerlo, tendrían que haber empezado a mostrar los principales fenómenos de la química. Usan términos que aún no (les) han sido definidos, y suponen que los entienden las personas que recién empie-

zan a recibir sus enseñanzas. También se debe considerar que muy poco de la química puede ser aprendido en el primer curso, que apenas alcanza para que el oído se familiarice con el aparato accesible a los ojos. Es totalmente imposible llegar a ser un químico en menos de tres o cuatro años de aplicación constante.

Estos inconvenientes son ocasionados no tanto por la naturaleza del sujeto, como por el método que los enseña; y para evitarlos, se me ocurrió sobre todo adoptar un nuevo arreglo de la química, que me pareció más de acuerdo con la Naturaleza.....”

Para entender lo revolucionario que significaba en esa época “avanzar sólo de lo conocido a lo que es desconocido”, recordemos la historia del flogisto y la des-historia de esta teoría debida a Lavoisier.

Lavoisier, entró en esta tarea cuando empezó a estudiar, **balanza mediante**, la “combustión” -que él equiparó a la “oxidación”- y la “reducción”, que primero denominó “desoxidación”.

Los “filósofos químicos” de sus días, entre ellos “hombres de genio” tales como Scheele y Priestley, creían (y enseñaban) que había un “principio” en toda sustancia combustible, susceptible de ser expulsado por quemazón, y que la reducción de lo que hoy (gracias también a Lavoisier, aunque más tarde,) llamamos “óxido de metal” a su estado metálico inicial se debía a que “absorbiera” este “principio” que aquéllos llamaban “phlogiston” (del griego: phlog iston = inflamación .- phlog = fuego). Lavoisier empezó por interesarse en la teoría de los flogistonistas, pero -mediante sus conocimientos experimentales- no tardó en dudar de esta teoría, según se desprende de lo que relata en el transcripto que sigue.

B. El segundo transcripto es la traducción del tercer capítulo del mismo *Traité Élémentaire de Chimie*. Importancia del oxígeno, que se encuentra en www.uv.es/bertomeu/material/clásico/lavoisier.htm Este capítulo da una descripción clara, siguiendo las normas arriba descritas, de un clásico experimento de Lavoisier, el cual se centra en el “sexto” de la atmósfera que se combina reversiblemente con metales, que da luz y brillo a la llama de las velas, y que sirve para hacer sobrevivir a los animales encerrados en su atmósfera.

“La química presenta en general dos medios para determinar la naturaleza de las partes constituyentes de un cuerpo, la composición y la descomposición. Cuando, por ejemplo, se combina el agua y el espíritu de vino o alcohol, y a través de esta mezcla, se obtiene el licor que lleva en el comercio por nombre “aguardiente” (eau-de-vie), se debe concluir que el aguardiente está compuesto de alcohol y de agua. Se puede llegar a la misma conclusión mediante la descomposición y, en general, no se alcanza plena satisfacción en química mientras no se ha podido reunir estos dos tipos de pruebas.

Se dispone de esta ventaja en el caso del análisis del aire atmosférico: se le puede descomponer y recomponer. Me limitaré aquí a describir las experiencias más concluyentes que han sido hechas a este respecto. Apenas se puede citar alguna que no me sea propia, bien porque la hice prime-

ro, bien porque la he repetido desde un punto de vista nuevo, el del análisis del aire de la atmósfera.

Tomé un matraz A de 36 pulgadas cúbicas aproximadamente de capacidad cuyo cuello BCDE era muy largo y tenía de seis a siete líneas de grosor interior. Lo curvé, tal y como aparece en la figura, de modo que pudo ser colocado en un horno MMNN y la extremidad E de su cuello se unió a la campana FG, colocada en un baño de mercurio RRSS (ver Figura 2).

Introduje en este matraz cuatro onzas de mercurio muy puro. Más tarde, succionando con un sifón que introduje en la campana FG, elevé el mercurio hasta LL. Marqué cuidadosamente esta altura con una banda de papel y observé exactamente el barómetro y el termómetro. Estando así dispuestas las cosas, encendí el fuego del horno MMNN y lo mantuve casi continuamente durante doce días, de modo que el mercurio fue calentado hasta el grado necesario para hacerlo hervir.

Nada destacable pasó durante el primer día. El mercurio, aunque no hervía, estaba en un estado de evaporación continua. Tapizaba el interior de los recipientes con pequeñas gotas, al principio muy finas, que fueron progresivamente aumentando de tamaño. Cuando estas gotas alcanzaban un cierto volumen, caían al fondo del vaso y se reunían con el resto del mercurio. El segundo día, comencé a ver nadar sobre la superficie del mercurio unas pequeñas laminillas rojas que, durante cuatro o cinco días, aumentaron en número y volumen. Pasado ese tiempo, dejaron de aumentar y permanecieron exactamente en el mismo estado. Al cabo de doce días, viendo que la calcinación del mercurio no hacía ningún progreso, apagué el fuego y dejé enfriar los recipientes. El volumen del aire contenido tanto en el matraz como en su cuello y en la parte vacía de la campana, reducido a una presión de 28 pulgadas y a 10 grados del termómetro, era antes de la operación de 50 pulgadas cúbicas aproximadamente. Cuando la operación acabó, este mismo

volumen a igual presión y temperatura, no era más que 42 o 43 pulgadas. Se produjo, por lo tanto, una disminución de una sexta parte del volumen aproximadamente. Por otra parte, tras recoger con cuidado todas las laminillas rojas formadas y separarlas en la medida de lo posible del mercurio líquido en el que se encontraban sumergidas, su peso ascendía a 45 granos.² Repetí varias veces esta calcinación del mercurio en un recipiente vacío, porque es difícil en una sola y misma experiencia conservar el aire con el que se ha operado y las moléculas rojas o cal de mercurio que se forman. A menudo, confundiré, por ello, el resultado de dos o tres experiencias del mismo género.

El aire que quedó tras esta operación y que había sido reducido a 5/6 de su volumen, por la calcinación del mercurio, no era adecuado ni para la respiración ni para la combustión: los animales que se introdujeron en él murieron en pocos instantes y las llamas se extinguieron rápidamente, como si se las hubiera introducido en agua. Por otra parte, tomé los 45 granos de materia roja que se había formado durante la operación, la introduje en una muy pequeña retorta de vidrio a la que había adaptado un aparato preparado para recibir los productos líquidos y aeriformes que pudieran separarse. Tras encender el fuego del horno, observé que, a medida que la materia roja era calentada, su color aumentaba de intensidad. Cuando se llevaba la retorta próxima a la incandescencia, la materia roja comenzaba a perder poco a poco su volumen y, en algunos minutos, desaparecía totalmente. Al mismo tiempo, se condensaron en este pequeño recipiente 41 granos y medio de mercurio líquido y pasaron a la campana de 7 a 8 pulgadas de un fluido elástico mucho más adecuado que el aire atmosférico para mantener la combustión y la respiración de los animales. Tras pasar una parte de este aire a un tubo de vidrio de una pulgada de diámetro e introducir en él una vela, ésta ofreció un brillo deslumbrante. El carbón en lugar de consumirse lentamente como en el aire ordinario ardía con llama y fuerte decrepitación, a la manera del fósforo, y con una vivacidad de luz que los ojos apenas podían soportarlo. Este aire que descubrimos casi al mismo tiempo, M. Priestley, M. Schéele y yo, fue nombrado, por el primero, "aire desflogisticado" y, por el segundo, "aire empireal". Yo le di primero el nombre de "aire eminentemente respirable" y, más tarde, este nombre fue substituido por el de "aire vital". Veremos más adelante qué es lo que se debe pensar acerca de estas denominaciones. Reflexionando sobre las circunstancias de esta experiencia, se ve que el mercurio al calcinarse absorbe la parte salubre y respirable del aire o, hablando de modo más riguroso, la base de esta parte respirable; que la porción del aire que queda es una especie de mofeta, incapaz de mantener la combustión y la respiración. El aire de la atmósfera está, por lo tanto, compuesto de dos fluidos elásticos de naturaleza diferente y, por decirlo de algún modo, opuesta. Una prueba de esta importante verdad es que, al combinar los dos fluidos elásticos que se obtuvieron

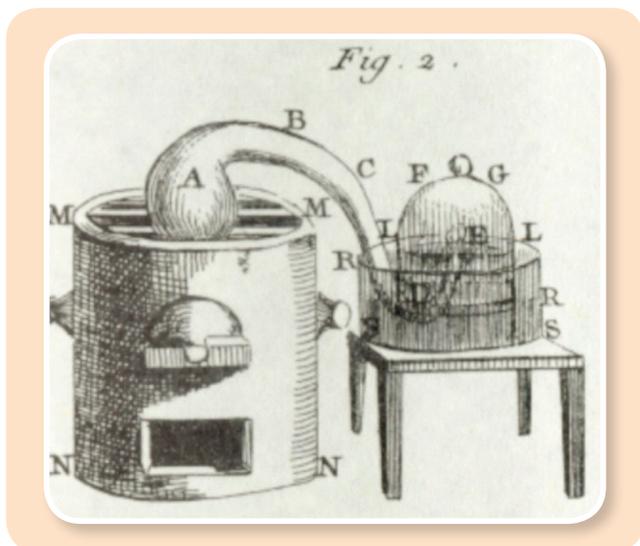


Figura 2: Esquema del equipo utilizado por Lavoisier en la descripción de sus experimentos sobre la calcinación del mercurio. Tomado de www.uv.es/bertomeu/material/clásico/lavoisier.htm

2. Unidades de medida empleadas por Lavoisier y equivalencias con el S.I.: Peso: 1 libra = 16 onzas = 16 x 8 x 72 granos = 489 g. 1 grano = 0,053 g. Longitud: 1 pulgada = 12 líneas = 27 mm.

de modo separado, es decir, las 42 pulgadas cúbicas de mofeta, o de aire no respirable, y las 8 pulgadas cúbicas de aire respirable, se vuelve a formar aire, idéntico en todo al que existe en la atmósfera y que es adecuado, en la misma medida, a la combustión, a la calcinación de los metales y a la respiración de los animales".

Es asombroso descubrir en este capítulo la forma cuasi-infantil en que Lavoisier nos enseña -experimental y cuantitativamente- la Ley de Conservación de la Masa: que nada en un "todo", sea éste mezcla o combinación química, se crea ni se pierde.

Pero también nos muestra que la masa puede transformarse, y que- durante esta transformación-, los componentes del "todo" llegan a un estado de equilibrio.

Que el punto de equilibrio depende de condiciones de temperatura (calor administrado) y presión, las que redundan en combustión o condensación del "todo" o de sus componentes.

A partir de allí empieza un fascinante "tren secuencial de ideas" y aplicaciones prácticas de todo lo que antecede: elemento, reacciones, análisis químico, separaciones de las sustancias a partir de las mezclas que se forman como consecuencia de la reacción. Sólo comentaremos que esta descripción preparativo-analítica, cualitativa, cuantitativa y sobre todo, lógica, de una reacción química con rol protagónico del reactivo-oxígeno, con evidentes alcances biológicos, no necesita explicaciones. Dejamos al lector culto y especializado la adecuación al sentido que se le da actualmente de los pocos términos que lo requieren; por ejemplo, de los que ahora se denominan "combinación", "mezcla", "oxígeno" y "nitrógeno".

Segunda Sección:

Lavoisier y el ambiente político-social y económico del siglo en que le tocó vivir. Sus ideas sociales y sus actitudes como ciudadano y funcionario. Interacciones con su obra científica.

El símbolo del "trait d'union" entre la vida científica del investigador-filósofo y la vida pública del ciudadano Lavoisier que a tan vil destino lo condujo, puede encontrarse en un químico de menor trascendencia que se llamaba Antoine François, conde de Fourcroy, nacido en París en 1755, hijo de un apotecario de la casa del Duque de Orleans. Fourcroy fue discípulo de Lavoisier y luego uno de sus más devotos colaboradores y aduladores. Fue miembro de los Comités de Instrucción Pública (la renombrada "Sûreté") en diversas etapas de la Revolución Francesa y miembro de la Convención en la peor época de ésta, la del Terror.

Habla tardíamente a favor de él que más tarde, como Director General de Instrucción en la era napoleónica, abogó por la formación científica de los alumnos en la educación primaria y secundaria, tradición que aún hoy perdura en Francia.²

Por su actuación como miembro de la Convención, Fourcroy fue acusado de haber participado del asesinato de Lavoisier, ya sea por acción u omisión. Hubo entre los protagonistas de aquella época argumentos a favor y en contra de esta acusación, pero hoy -se lamenta McKie (1952)- la participación de Fourcroy como de otros antiguos asociados y discípulos es prácticamente aceptada por los biógrafos, aunque permanezcan oscuras las razones que los indujeron a ella. McKie mismo, a pesar de manifestar sus simpatías, es muy crítico, tanto con respecto a la veracidad de las denuncias de "traición" a detractores, como a la actitud de Lavoisier antes de su asesinato.

En cuanto a Lavoisier mismo, como casi siempre sucede con las biografías importantes, la asignación del comienzo de la vida pública de un personaje histórico como el suyo es arbitraria. Sus biógrafos modernos, Poirier, McKie y otros la sitúan en los fines de la década de 1760, cuando es nombrado miembro de la *ferme générale* una asociación de colectores de impuestos protegidos por el Estado.

Douglas McKie, describe el siglo de nacimiento de Lavoisier como "uno de los más espectaculares, quizás el más espectacular en la historia de Francia. Su breve vida de 51 años ocurrió entre descontento social no remediado, seguido de revolución y la revolución, por despotismo militar. Entre las causas de este desorden y agitación memorables, que de lejos sobrepasaba sus fronteras, se encontraba, con no poca importancia, la falta de un sistema fiscal sano. Sus habitantes no pagaban impuestos y sus políticos no sabían cómo obligarlos. (Por otra parte, ya) desde el siglo 14, ha sido costumbre (de la monarquía) eximir de impuestos a las clases privilegiadas tales como los nobles y los tenedores de ciertos oficios adquiridos por "compra". (Para colmo) el cobro de impuestos fue "entregado a la labor de granja" ("farmed out")³ de una compañía de acumuladores de impuestos especuladores denominada Ferme Générale o "Granja de Impuestos", los cuales eran odiados como ladrones por el pueblo que oprimían. Naturalmente los Franceses trataron de evitar por todos los medios, la explotación por estos agentes oficiales; y, como la mayoría de los Franceses sujetos al pago de impuestos era pobre, Francia llegó con el tiempo a ser, según Calonne, un país ingobernable".

McKie describe en su libro con lujo de detalles el

3. Antoine François, conde de Fourcroy, trató de describir en diez volúmenes y bajo el nombre exagerado de "Système de Connaissances Chimiques", la obra de su maestro primero y admirado colaborador después, amén de sus propios aportes a la nomenclatura química. Es interesante remarcar que existe un ejemplar completo de la edición original del *Système de Connaissances Chimiques* en la Biblioteca Central de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Ese ejemplar perteneció al Dr Venancio Deulofeu, y fue donado por sus herederos al Departamento de Química Orgánica (del cual Don Venancio había sido fundador), quien para preservarlo en las condiciones adecuadas y hacerlo de uso público, lo donó a su vez a la Biblioteca Central cuando ésta dispuso de una sección especial para la preservación de libros valiosos y/o antiguos.

4. La traducción del inglés al castellano de todo lo relacionado con farm, a su vez traducido de ferme, (en francés igual también a cerrado en castellano), es difícil, y puede dar lugar a malas interpretaciones. El Diccionario Multimedia Auzon Sudamericana acepta para el sustantivo "farm", entre otros, los sentidos de "granja" y de "arrendamiento a terceros"; mientras que para el verbo "farm" acepta los sentidos de "cultivar la tierra" o de "explotar la tierra" y para "farm out", "entregar o mandar a hacer a terceros" ("tercerizar" en argentino).

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

objeto absurdo de los impuestos (a la sal de cocina, al tabaco, al hecho de beber, a la entrada de mercadería a París. etc...). En cuanto a Lavoisier, *"algunos días después de haber sido elegido miembro de la Academia de Ciencias, en marzo 1768, tomó la decisión más desafortunada de su vida. Después de consultarlo con amigos, compró un tercio de las acciones del "sitio" del Granjero General Baudon y se transformó en su asistente"*.

Con respecto a un acontecimiento posterior-prosigue McKie -*"durante su administración de la Ferme del distrito de Clermontois, relevó a los Judíos de un odioso peaje llamado pied-fourchu o pezuña hendida"*. Este precepto trata de la prohibición por la ley mosaica, de consumir carne de mamíferos que no reúnan la doble condición de rumiantes y de pies con pezuña hendida. Según estos preceptos son, por consiguiente, "inmundos" las carnes de los cerdos, equinos, camélidos y otras especies menos conocidas. El peaje de la pezuña hendida, discriminatorio y netamente antisemita, se aplicaba a los arrieros de todo ganado a pie que en esa época transitaba por los caminos de Francia y que reunía aquellas condiciones, gravamen que -continúa McKie -*"para vergüenza de los gobiernos, se había mantenido durante la época revolucionaria. Y como expresión de gratitud y en prueba de fraternidad religiosa, la comunidad judía de Metz le ofreció tortas de miel propias de la pascua hebrea"*.

El relato que antecede es sólo uno de los tantos que tratan de asegurar los costados positivos del recuerdo que deja Lavoisier-hombre público. Si repasamos con profundidad histórica el tema, lo que no podemos hacer aquí, seguiremos viendo a los historiadores y cronistas divididos sobre la verdadera finalidad o "culpa" del sabio. Muchos exponen los hechos y dejan al público, a través de la historia, la tarea de juzgarlos. Otros sostienen que en toda esta especulación, perdió dinero. Otros, que el dinero que ganó fue invertido en la adquisición de material de laboratorio, a veces por él diseñado (extraordinario, para su época) y en sus estudios en general. Otros, que una parte, aunque pequeña fue usada en una tarea muy humanitaria de salvar del hambre durante los períodos de hambruna, a dos ciudades del Clermontois, región en la que-como vimos- fue administrador de la *Ferme Générale*.

A través del tiempo surgieron otras contra-críticas para cuyo principio hay que remontarse a la época post-napoleónica y que duran hasta nuestros días. Al esgrimir como argumento "el contexto histórico de la época," defienden, quizás también con cierta arbitrariedad y tolerancia, la utilización del dinero de cualquier origen con fines útiles. La Catholic Encyclopedia relaciona además las críticas con las consecuencias que tuvieron en el trágico fin del sabio: ... *"sintió la necesidad de aumentar sus recursos para poder afrentar los requerimientos de sus experimentos científicos. Con esto en la mira, llegó a fermier général adjunto, con lo cual sus ingresos aumentaron grandemente. Pero ingresar en la asociación de colectores protegidos por el Estado sólo logró preparar el camino para*

muchos años de ataque y su parte en el "odium" público atada a sus privilegios. Encabezó muchas comisiones públicas que requerían investigación científica, y tuvo por meta llevar a la Francia a tal grado de expansión agrícola e industrial que el campesino y el trabajador tuviesen empleos bien pagos y el pequeño terrateniente se liberara de impuestos onerosos, hasta entonces incrementados con el sólo propósito de otorgar subsidios a los corruptos favoritos de la Corte. Habiendo incurrido en el odio de Marat, se volvió, junto a sus compañeros fermiers-généraux, cada vez más impopular durante El Terror, los días más funestos de la Revolución. Finalmente en 1794 fue detenido con otros veintisiete. Siguió la farsa de un juicio, en el que fue acusado de "incivismo" por deteriorar la salud pública agregando agua al tabaco. El y sus compañeros, entre ellos su suegro Jacques Alexis Paulze, fueron condenados a muerte. Lavoisier, ligado devotamente a su suegro, fue obligado a presenciar de pie que rodara la cabeza de Mr. Paulze bajo la guillotina, el 8 de mayo de 1794 (antes de su propia decapitación). Lavoisier tenía entonces 51 años."

La Enciclopedia Británica amplía esta información y detalla algunos aspectos antes no mencionados de esta vida pública-política-económica del padre de la química moderna:

Que creó una granja modelo en Fréchines, donde demostró las ventajas de la agricultura encarada científicamente. Que en 1785 fue incorporado al comité de agricultura. Y que en esta condición redactó informes e instrucciones sobre cultivos y cosechas. Elegido miembro de la asamblea provincial de Orléans en 1787, planificó la mejora de las condiciones sociales y económicas de la comunidad creando bancos de ahorro, compañías de seguro, canales y talleres. Adelantó dinero sin interés a las ciudades de Blois y Romorantin para la compra de cereales durante el período de hambruna de 1788 y, como Comisario de la Tesorería, instituyó un sistema contable de una precisión meticulosa, única experimentada. Diseñó asimismo un nuevo esquema de impuestos descrito con detalles en su informe *De la richesse territoriale de la France*. En diversas épocas formó parte de los comités de educación, higiene, acuñación de monedas y -durante los períodos bélicos tanto monárquicos como republicanos – pólvora explosiva y fundición de cañones. En 1790 la República lo nombró secretario de la comisión que uniformaba pesos y medidas en toda Francia, primer paso para la adopción en todo el país del sistema métrico decimal. Llegó a participar en la definición del gramo-patrón.

Hechos Finales

Una discutida anécdota relacionada con la vida y cruel muerte de Lavoisier, relatada por Poirier (1998), asigna a la Convención Republicana que votó el arresto de los *Fermiers Généraux* -entre ellos Lavoisier- la funesta frase que nos es extrañamente familiar a los argentinos actuales: *La République n'a pas besoin de savants*.⁴

Dice además en ese libro que "el 24 de Noviembre

5. La República no necesita sabios.

de 1793, la Convención votó el arresto de los "Granjeros generales" y los conminó a entregar las cuentas de la Granja general a partir de las cuales esperaba recibir una suma de dinero considerable. Lavoisier no se encontraba en su casa cuando la policía lo fue a buscar. Se mantuvo (luego) escondido durante varios días en la Academia de Ciencias, que había sido clausurada; después, acompañado por su suegro, se presentó en la prisión de Porte-Libre. La investigación previa al juicio duró cinco meses.

(Pero) el día 8 de mayo de 1794, el Tribunal Revolucionario juzgó a treinta y dos Granjeros por cargos de apropiación indebida de fondos, ganancias excesivas, distribución abusiva de bonos, demora injustificada de pagos a la Tesorería Pública, y especialmente, de aumentar sus beneficios introduciendo excesivas cantidades de agua en el tabaco, y de haber usado estos beneficios en conjurar contra el pueblo francés tendiendo a favorecer por todos los medios posibles el éxito de los enemigos de Francia.

Veintiocho de ellos fueron condenados a la guillotina y ejecutados ese mismo día. Toda su propiedad fue confiscada. Lavoisier fue el cuarto en morir. Al día siguiente, su colega Joseph Louis Lagrange comentó: "Les tomó sólo un instante para cortar esta cabeza, pero es improbable que cien años alcancen para producir una semejante".

Terminó así la carrera del químico, biólogo, perito en industrias y economía (que) había rendido testimonio al pensamiento liberal de Siglo de las Luces ("Enlightenment" que pronto le siguió) y a las primeras esperanzas de la Revolución. Si bien su trabajo en el campo de la química fue revolucionario, en el de la economía representaba una síntesis imperfecta de las ideas liberales en boga con el centralismo intervencionista que reinaba en Francia en los albores de la sociedad moderna".

"Con ocasión del primer centenario de su muerte, (continúa Poirier) los químicos restauraron el trabajo científico de Lavoisier en su lugar de honor y Louis Pasteur le otorgó el título de "Legislador de la química". Fue el bicentenario la ocasión para difundir su contribución a la historia económica, política y social de la Francia del final del siglo pasado".

Si entre críticas y contra-críticas hacemos un esfuerzo (que nos nace intuitivamente) de juzgarlo benévolamente, veremos en Lavoisier un notable producto del intelecto y el idealismo testimonial, que no sólo supo formular las leyes fundamentales de la química, especialmente las relacionadas con la conservación de la materia- a través de su demostración experimental, cuantificación, simplificación y desmitificación-, sino también de conjugar su fe católica con los principios de la tolerancia, igualdad y fraternidad del ala más

sana de La Revolución Francesa y con el papel social que debería desempeñar el Capital en el mundo. Todo esto, dos siglos antes de que una tendencia mundial, impulsada por su compatriota Jacques Maritain, intentara lo mismo en circunstancias no del todo diferentes.⁵

Referencias bibliográficas

Lavoisier, A. (París, 1789). *Traité Élémentaire de la Chimie*. Ed. chez Cuchet. *Traité Élémentaire de Chimie*. Importancia del oxígeno. Traducción al español tomada de www.uv.es/bertomeu/material/clásico/lavoisier.htm

Robert Kerr (Traslator), *Elements of Chemistry*. Edinburgh, 1790, pp. xiii-xxxvii.

McKie, D. (1952). *Antoine Lavoisier, The founder of modern chemistry*. London, Ed. Constable and Company Ltd.

Catholic Encyclopedia http://oce.catholic.com/index.php?title=Antoine-Laurent_Lavoisier

Encyclopedia Britannica Inc. -William Benton Publisher-Chicago, London, Toronto, Geneva, Sydney, Tokio, Manila, 1971.

Poirier, Jean Pierre (Rebecca Balinski translator; 1998). *Lavoisier Chemist, Biologist, Economist*. http://historyofscience.free.fr/Lavoisier-Friends/a_contents_lavoisier.html

Poirier, Jean Pierre (en francés) http://historyofscience.free.fr/Lavoisier-Friends/a_contents_lavoisier.html

SEGUNDA PARTE: Luis Pasteur

En la segunda parte de esta monografía, vamos a referirnos a Louis Pasteur, quien nació el 27 de diciembre de 1822 en la pequeña población de Dole, al este de Francia y murió "de muerte natural" en París, a los 72 años de edad. La cantidad y calidad de los descubrimientos trascendentes obtenidos de sus investigaciones, aún hoy (o, mejor, aún más hoy) nos resultan sorprendentes. A menudo se olvida que el descubrimiento de la vacuna contra la rabia no fue más que un episodio, remarcable por cierto, de una carrera ya larga y fructuosa.

Creemos que bien vale la pena acercarse a este gran maestro y dejarnos guiar a través del camino que él mismo recorrió, desde la química a la biología y desde

6. Jacques Maritain fue uno de los más grandes pensadores del siglo XX. Fue un hombre de profunda pasión religiosa, filosófica y cívica, así como un testigo activo y participante en los acontecimientos de su tiempo. Fue uno de los padres de la Declaración Universal de los Derechos del Hombre de 1948 y uno de los grandes defensores del ideal democrático amenazado por las ideologías totalitarias del siglo pasado. Sus reflexiones sobre democracia, arte y ciencia constituyen un instrumento sólido y efectivo para la interpretación de los cambios que experimenta el mundo de hoy. El suyo fue un mensaje de libertad y de independencia de la inteligencia, de vigilancia crítica de los tiempos y de compromiso con un futuro de diálogo y cooperación entre los hombres y las culturas. Maritain fue un filósofo de la nueva frontera mundial y su humanismo integral definió el alma de nuestra villa global. (Istituto Internazionale Jacques Maritain, Roma).

7. Los aspectos de la vida, anécdotas, frases y las referencias de premios, subvenciones, estadísticas, están tomados de las biografías citadas en las referencias bibliográficas y en particular del opúsculo editado por el Instituto Pasteur de París en ocasión del centenario del fallecimiento del sabio. Las conferencias y presentaciones científicas de Pasteur fueron tomadas del libro "Optical Rotatory Power", by T. Martin Lowry, Longmans, Green and Co, London, 1935. El esquema del polarímetro que se presenta en al Figura 3, fue bajado de la web

allí, a la medicina⁶. Trataremos de seguirlo en la rigurosidad de sus métodos, que como él mismo enseñaba, había tomado de sus ilustres predecesores: Galileo, Pascal, Newton, y en particular, de Lavoisier.

Dividimos también esta parte en dos secciones: la primera sigue el desarrollo de sus investigaciones, en forma relativamente correlativa, tomando como base sus escritos y comunicaciones. La segunda sección lo describe en el ambiente social de su época.

Primera Sección

Para comenzar el relato de la vida científica de Pasteur, tenemos que remontarnos al París de la primera mitad del siglo XIX. Allí, en la sesión del 14 de octubre de 1844 de la Academia de Ciencias, Jean Batiste Biot leyó la siguiente comunicación, enviada por el célebre químico de Berlín, Eilhard Mitscherlich: "El paratartrato y el tartrato dobles de sosa y de amoníaco tienen la misma composición química, la misma forma cristalina, el mismo peso específico, la misma doble refracción, y por consiguiente, los mismos ángulos entre los ejes ópticos. Disueltos en agua, su refracción es la misma. Pero el tartrato disuelto desvía el plano de la luz polarizada y el paratartrato es indiferente, como lo ha descrito el Sr Biot para toda la serie de esas dos clases de sales: pero aquí la naturaleza y el número de sus átomos, su disposición y sus distancias, son las mismas en los dos cuerpos comparados". Y Biot aclara al respecto: "Repetí con cuidado la experiencia del Sr Mitscherlich con muestras cristalizadas de paratartrato que él mismo me había enviado... Independientemente de la prueba óptica... (probé) por procedimientos químicos, (que) el paratartrato estaba completamente exento de tartrato... De esta manera, el contraste observado en la curiosa experiencia del Sr Mitscherlich es exactamente como él lo anuncia, y ofrece ciertamente un hecho muy digno de interés."

Pasteur tenía entonces 22 años y era estudiante en la École Normale Supérieure de París, en cuya biblioteca leyó este artículo. Como bien remarca Dubos: "Jamás se valorará lo suficiente esta Nota de Mitscherlich que fue la base de toda la obra científica de Pasteur. Este primer enigma cuya solución encontró en el curso de su primera investigación, le abrió directa o indirectamente el camino a múltiples aplicaciones en los más diversos ámbitos".

En sus conferencias dictadas en 1860 ante la Société Chimique de Paris, Pasteur se refirió a esos trabajos en la siguiente forma: "Debo colocar primero delante de Ustedes la remarkable nota enviada por Mitscherlich y que fue comunicada a la Academia de Ciencias por el Sr. Biot (reproducida más arriba) (...) Me apresuré a re-investigar la forma cristalina de las dos sales. Encontré, efectivamente, que las caras hemihédricas, que en el tartrato estaban todas volcadas hacia el mismo lado, estaban inclinadas en el paratartrato a veces hacia la izquierda y a veces hacia la derecha. Separé cuidadosamente los cristales que eran hemihédricos hacia la izquierda de los que lo eran hacia la derecha, y examiné sus soluciones separadamente en el polarímetro. Entonces **observé con no menor sorpresa que placer, que los cristales hemihédricos hacia la izquierda desviaban el ángulo de polarización hacia la izquierda, y los hemihédricos hacia la derecha lo desviaban hacia la derecha**". Y más adelante: "El Sr. Biot me mandó a buscar para repetir ante sus ojos los diferentes experimentos y me dio una muestra de ácido racémico, que él mismo había examinado previamente, encontrándolo inactivo respecto de la luz polarizada....(Me pidió que) recogiera los cristales dextro y levógiros ante sus ojos, y que los separara de acuerdo a su carácter cristalográfico, pidiéndome que repitiera la afirmación de que los cristales que yo pondría a su derecha provocarían desviación a la derecha, y los otros hacia la izquierda.... Al primer vistazo del matiz que presentaban las dos mitades del campo en el **polarímetro** ... Biot reconoció que había una fuerte levorotación. Entonces el ilustre anciano, que estaba visiblemente emocionado, me tomó la mano y me dijo: "Mi querido hijo, yo he amado la ciencia tan profundamente que esto conmueve mi corazón".

Sin duda esta experiencia habrá marcado profundamente a Pasteur, que era muy joven en esos años y se reveló así al mundo científico como un investigador magistral que había creado nada menos que un nuevo campo científico: el de **la relación de la actividad óptica con la estructura molecular y cristalina**.

Incentivado por las perspectivas que veía en estos estudios, Pasteur se preguntó si todas las sustancias que desviaban el plano de la luz polarizada cuando están en solución, tenían formas cristalinas hemihédricas. Y, recíprocamente, si las sustancias que forman

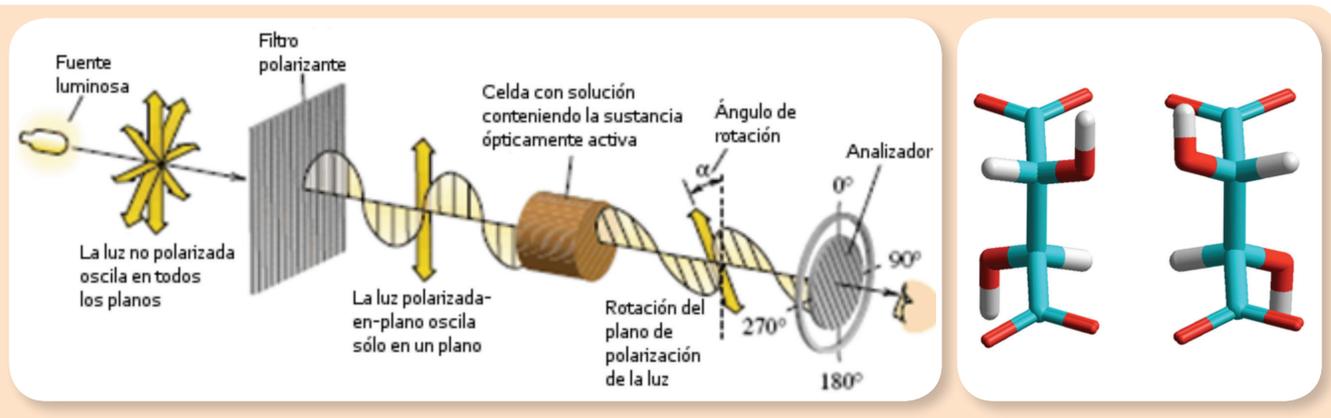


Figura 3. Esquema del Polarímetro y estructuras de ambos enantiómeros de tartrato (traducidas las leyendas del inglés, tomadas de QuímicaOrgánicaJohanaBohórquez 41071057 Grupo: 01

cristales hemihédricos siempre presentaban actividad óptica. Después de realizar numerosas experiencias, concluyó que *“paralelamente al ordenamiento de los átomos en la molécula química, es necesario distinguir el ordenamiento de las mismas moléculas químicas que, por sus agrupamientos variables, dan lugar a moléculas físicas de las diferentes formas cristalinas.”*

Para ilustrar esta observación Pasteur utilizó como ejemplos dos tipos de sustancias: las del tipo del ácido tartárico y las que son semejantes al cuarzo. *“Si se considera una escalera en caracol cuyos peldaños fueran tetraedros irregulares, las partes de la escalera, al ser demolida, son siempre disimétricas. Si por el contrario, los peldaños de la escalera hubieran estado formados por cubos, al sacar esos peldaños, se estaría en presencia de partes simétricas. El ácido tartárico, en solución, posee el poder rotatorio, lo que prueba que esa propiedad es molecular. Por el contrario, el cuarzo fundido no tiene ya poder rotatorio. Ese cuerpo poseía entonces esa propiedad únicamente como consecuencia del ordenamiento de los cristales. La molécula de cuarzo no posee poder rotatorio.”*

Pasteur quedó por demás impresionado por el hecho que el poder óptico rotatorio parecía ser un atributo de los compuestos orgánicos naturales. *“Todos los productos artificiales del laboratorio y todas las especies minerales tienen imágenes especulares superponibles. Por otro lado, la mayoría de productos orgánicos naturales... los productos esenciales de la vida, son disimétricos, de forma que sus imágenes especulares no pueden superponerse. Celulosa, algodones, gomas, azúcares – ácidos tartáricos, maleico, quínico, tánico - morfina, codeína, estricnina, brucina, aceites de serpentina y de limón, albúmina, fibrina, gelatina, todos estos productos primarios son molecularmente disimétricos. Todos estos materiales exhiben poder rotatorio en solución, un carácter necesario e importante para establecer su disimetría...”*

Siguiendo todavía un paso más adelante, observó que *“los cuerpos derecho e izquierdo, que no se pueden superponer, y cuya identidad química es absoluta mientras se las hace interactuar con moléculas inactivas sobre la luz polarizada, se comportan como seres enteramente distintos desde el momento en que se encuentran en presencia de moléculas que son, ellas mismas, activas.”*

Aquí tenemos quizás el germen de lo que fue después su extraordinario descubrimiento de la **especificidad** de las reacciones químicas, y del inmenso partido que sacó de ello a lo largo de todo su trabajo.

En 1854, Pasteur aceptó el ofrecimiento de la recientemente organizada Universidad de Lille (norte de Francia) para tomar allí la Cátedra de Química y ocupar el cargo de Decano de Ciencias, con la exigencia de centrar sus enseñanzas y demás actividades sobre los intereses industriales de la región. Entendió rápidamente que no había en ello ninguna incompatibilidad. Según sus propias palabras: *“No y mil veces no;*

no existe una categoría de ciencia a la cual se pueda dar el nombre de ciencia aplicada. Existe la ciencia y las aplicaciones de la ciencia, ligadas entre sí como el fruto al árbol que lo ha producido.” Así comenzó sus estudios sobre la fermentación... En esas experiencias pudo observar que (en la fermentación del paratartrato) *“todo parece indicar que procede absolutamente como en el caso del tartrato. Pero, si analizamos el curso de la operación con la ayuda del polarímetro, enseña descubrimos diferencias profundas entre las dos operaciones... La levadura que produce la fermentación de la sal derecha deja la sal izquierda sin tocar, a pesar de su absoluta identidad en las propiedades físicas y químicas de ambos tartratos, siempre que no estén sujetos a una acción disimétrica.”* La conclusión que saca es un claro ejemplo de la aplicación de sus propios principios: *“el carácter nutritivo de un tartrato puede estar en relación con la disimetría molecular”*. Y esta observación, que un investigador menos sagaz no hubiese tenido en cuenta... o nunca hubiese tenido, condujo su mente por nuevos caminos que lo llevarían, a él y a la ciencia, a un terreno completamente desconocido.

Analizando el conjunto de sus experiencias realizadas con ayuda de la luz polarizada, Pasteur llegó a la conclusión de que *“sólo los agentes vivientes podían producir compuestos asimétricos ópticamente activos”* e incluso (seguramente en la exaltación al tomar conciencia de la gran importancia de estos descubrimientos), que *“este importante criterio (de la asimetría molecular) tal vez constituya la única diferencia definida que puede señalarse actualmente entre la química de la materia viva y la muerta”*.

En definitiva, estos experimentos sobre la fermentación de los distintos compuestos orgánicos le permitieron concluir que la disimetría molecular *“interviene en un fenómeno de tipo fisiológico”* y constituyeron de este modo el puente que él mismo atravesó desde la química hacia sus extraordinarias investigaciones en biología, por las cuales es hoy universalmente conocido. Y fue a partir de su convicción de que las moléculas asimétricas son siempre el producto de la vida, que llegó en el estudio de la fermentación, al reconocimiento de que los microorganismos tienen un papel esencial en la economía de la naturaleza y, a partir de allí, a sus trascendentes descubrimientos en el terreno de las enfermedades infecciosas.

Sabemos hoy que los químicos orgánicos pueden sintetizar hoy prácticamente cualquier molécula orgánica quiral en forma enantioméricamente pura⁷ (ver Figura 3). Y esto también nos produce admiración: cómo ideas no del todo correctas pueden dar lugar a resultados excelentes... si el investigador es excelente!!!! y si se acerca a los mismos con la franqueza que aconsejaba Lavoisier y la rigurosidad que él mismo aconsejaba a sus discípulos: *“N'avancez rien que ne puisse être prouvé d'une façon simple et décisive”*.⁸ Quizás lo que más sorprende en Pasteur es esa extraordinaria capacidad

8. Un objeto es quiral cuando no se lo puede superponer con su imagen especular, ni por traslación ni por rotación. Estos objetos carecen de elementos de simetría, los que incluyen planos especulares, centros de inversión o ejes rotacionales. Muchos objetos de nuestro universo perceptivo tridimensional no sólo son quirales, sino que también aparecen en la naturaleza bajo dos versiones, correspondientes -por lo menos idealmente- como un objeto quiral y su imagen especular. Tales objetos se denominan enantiomorfos o enantiómeros. (V. Prelog, Conferencia Nobel, 1975).

9. No avancen nada que no pueda probarse de forma simple y decisiva.

de observación, aún de los hechos más inesperados, y el darse cuenta de la trascendencia de los mismos.

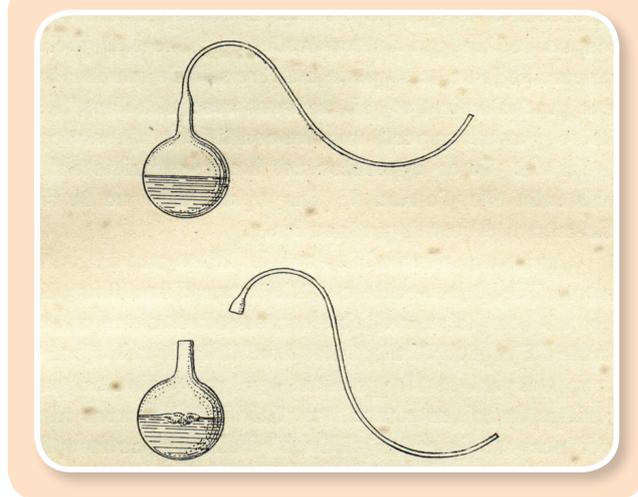
Así, de la manera más sencilla, y desde una observación aparentemente nimia (el jugo fermentante **es capaz de rotar el plano de la luz polarizada**), Pasteur llega a establecer un concepto absolutamente general: **“la fermentación es un fenómeno correlativo de la vida”**. Pasteur se convenció así que, contrariamente a lo creído en ese tiempo incluso por eminentes científicos (Berzelius, Liebig), el proceso de la fermentación no era de carácter meramente químico, sino que partía de la actividad de “fermentos” vivientes. Sostuvo que las sustancias orgánicas servían de alimento para estos elementos vivientes, y que los productos que se acumulaban en su presencia eran el resultado de sus procesos metabólicos. Esta simple constatación representa nada menos que el eslabón entre su vida científica pasada, dedicada a la química, y su trabajo posterior en biología.

Esta convicción lo llevó naturalmente al terreno de la discusión sobre la llamada “generación espontánea”. Del mismo modo que había ocurrido con Lavoisier y la teoría del “flogisto”, el esclarecimiento por Pasteur de esta vieja controversia es quizás la mejor evidencia posible, no sólo de su habilidad como experimentador y científico teórico, sino también de la originalidad de sus contribuciones.

Con la lucidez no exenta de ironía que lo caracterizaba, así explicó a sus colegas cómo repetir una de sus experimentos, quizás el más significativo, entre las que le permitieron a él refutar esa teoría:

*“Después de haber introducido en el balón una infusión putrescible, estírele el cuello con la llama de un mechero, de forma de hacerlo contorneado y sinuoso, en forma de S (Figura 4). Después, haga hervir el líquido. Cuando el vapor ha salido durante algunos minutos por el orificio del cuello, arrastrando consigo todo el aire del balón, apague el calentamiento y deje enfriar el líquido. El balón se va a llenar de aire ordinario que no ha sido calentado y que llegará allí conteniendo todos sus elementos conocidos y desconocidos. Como el cuello permanece abierto, la difusión permitirá el intercambio incesante entre el aire del balón y la atmósfera exterior. Y sin embargo el balón permanece indefinidamente estéril. ¿Cómo pueden explicar Ustedes este resultado, Ustedes, **partidarios de la generación espontánea?** Se encuentran allí la materia orgánica, el agua, el aire continuamente renovado y el calor, y sin embargo, nada aparece en el líquido. Nos dirán que la **facultad genésica** de la infusión ha sido alterada por la ebullición. Pero si, sin tocar nada, cortamos el cuello del balón, de forma de dejar el balón expuesto a la caída de polvo atmosférico, la solución se enturbia en 2 o 3 días. ¿La **facultad genésica esperaba para manifestarse la desaparición de ese cuello de cisne?** Qué poco vale esa explicación en presencia de ésta: las curvaturas del cuello, que permanecían húmedas al momento de apagar el fuego, lavaban al pasar (a través del líquido) el aire que cruzaba la delgada red. Al principio, cuando la entrada de aire es rápida, la acción purificadora de este lavado se duplica debido a que el líquido está todavía caliente, en la medida de destruir los gérmenes que arriban a su contacto. Más tarde, son las paredes húmedas del cuello que retie-*

nen los gérmenes del aire. La prueba es que si, cerrando la extremidad abierta del balón para no permitir que entre allí nada nuevo, ustedes lo agitan, de modo de hacer llegar hasta la curvatura del cuello una gotita del líquido, esta gota se enturbia, y si ustedes mezclan después esta gota al resto del líquido, éste se enturbia como si hubiéramos roto el cuello. La prueba todavía es que, una vez que se ha separado el cuello, se ve normalmente formar el primer desarrollo (siguiendo una línea) en la vertical de la apertura, en el lugar donde



podieron caer los gérmenes de la atmósfera”.

Figura 4: Equipo de vidrio con y sin cuello de cisne, utilizado por L. Pasteur en los experimentos citados en el texto, referidos a la generación espontánea de microorganismos. Tomado de Ducleaux (1896).

Este es sin duda, como bien dijo su biógrafo y discípulo, E. Duclaux “uno de esos trabajos a la **Lavoisier**, que llegan a ser inmediatamente clásicos por su amplitud, su elegancia y su simplicidad.” Algunos de esos balones, conservados en el Instituto Pasteur de París, permanecen todavía hoy tan límpidos y claros como cuando Pasteur realizó la experiencia, hace ya 150 años...

Los experimentos realizados en este campo le permitieron no sólo refutar esa teoría sino, más importante aún, poner a punto las técnicas fundamentales de la asepsia y la esterilización. Por otra parte, el propio estudio de las levaduras le permitió desarrollar la técnica del cultivo *in vitro*, la cual reveló el hecho fascinante de que las células vivas tenían muchas características comunes. Como dice Dubos (1960) “el trabajo de Pasteur condujo, inevitablemente, a la doctrina de la unidad bioquímica de la vida, que es verdaderamente uno de los conceptos filosóficos más importantes de la ciencia moderna.”

Desde el punto de vista de la evolución de su pensamiento, de acuerdo a los aspectos tratados en esta monografía, el hecho de poder “cultivar” microorganismos *in vitro* en condiciones de completa asepsia, lo llevó a reconocer que los mismos eran los verdaderos causantes de enfermedades infecciosas. Resulta curioso, otra vez!!!, recordar que a partir de allí, todo el

trabajo de Pasteur se centró en la microbiología y la medicina, disciplinas en las cuales él no hizo ningún estudio formal. Y es notable observar cómo Pasteur se introduce en un nuevo campo de investigación, aparentemente sin conocimientos previos, y en poco tiempo se hace maestro en la especialidad y utiliza esos conocimientos para proyectarse a otros campos, en donde vuelve a repetir la secuencia.

Así, Pasteur había llegado por un proceso puramente intelectual, a la convicción de que los microbios pueden causar enfermedades en los hombres pero fue otra vez por **circunstancias externas** (el pedido de su antiguo y admirado maestro, el profesor J. B. Dumas, para que encabezara la comisión organizada por el Ministerio de Agricultura para investigar el problema) que llegó a trabajar sobre una verdadera enfermedad: la de los gusanos de seda.

Veamos como un ejemplo más, su descubrimiento de las "vacunas": cómo llegó a ellas y cómo, inmediatamente, pasó de la teoría a la práctica, según lo narra su biógrafo R. Dubos *"En la primavera de 1879 Pasteur comenzó los experimentos sobre el cólera de los pollos, llegando a aislar el bacilo responsable de esa enfermedad. Sin embargo, una dificultad inesperada interrumpió el trabajo durante el verano. Los cultivos del bacilo del cólera que habían permanecido en el laboratorio durante el verano, no pudieron producir enfermedad cuando se inocularon a los pollos a comienzo del otoño. Se tuvo que preparar entonces un nuevo cultivo virulento, y se inoculó con éste tanto a animales nuevos, como a los pollos que habían resistido los cultivos viejos. Los animales nuevos, recién traídos del mercado, fueron infectados y murieron en el espacio de tiempo habitual, demostrando de este modo que el cultivo fresco era muy activo. En cambio, casi todos los otros pollos sobrevivieron a la infección. Pasteur comprendió inmediatamente que era un resultado extraordinario... que los pollos habían sido "vacunados"!!!! (acuñando así esa palabra con una significación general). E inmediatamente comprendió que de este modo sería posible producir vacunas a voluntad en el laboratorio."* Otra vez, su capacidad de observación y su brillante racionalidad, le permitían sacar ventajas de situaciones imprevistas.

Resulta quizás aún más sorprendente constatar que en un período increíblemente corto -cuatro años- Pasteur consiguió demostrar las posibilidades prácticas de su concepto visionario para el cólera de los pollos, el carbunco, la erisipela de los cerdos y la rabia. Gracias a esfuerzos que nos parecen prodigiosos, y sin duda al interés y apoyo de la sociedad toda, la vacunación contra el carbunco quedó pronto establecida en la práctica. Para 1894 (Pasteur todavía vivía) se habían vacunado 3400000 ovejas y 438000 vacunos, lográndose una mortalidad de 1.0 y 0,3% respectivamente, en las condiciones de exposición normales en el campo. Así como la demostración del papel patogénico del bacilo del carbunco había sido la piedra de toque para la teoría microbiana de la enfermedad, fue la vacuna-

ción contra el carbunco la que reveló, para la mente médica y profana, las posibilidades de la nueva ciencia de la inmunidad.

Como hemos querido reflejar en esta sección toda la obra científica de Pasteur, con los maravillosos resultados a que dieron lugar, se inspiró en sus primeros trabajos sobre los cristales. Así también lo vio claramente E. Renán¹⁰, quien en su discurso de respuesta en la recepción a Pasteur a la Academia de Ciencias, expresó: *"Todos vuestros descubrimientos posteriores surgieron de aquél (el de la separación de los enantiómeros) por una especie de desarrollo natural."* Quizás Pasteur mismo fue consciente de ello cuando, ya hacia el final de su vida y en la plenitud de su gloria, en un momento de sensibilidad exacerbada y mientras observaba con su atención característica los frascos donde cultivaba el virus de la rabia, le expresó a su nieto, el futuro profesor L. Pasteur Vallery-Radot, *"Ah, mi muchacho, querría tener una nueva vida por delante! ¡Con cuánta alegría me gustaría reemprender mis estudios sobre cristales!"*

Segunda Sección

En contraposición a lo ocurrido a Lavoisier, su ilustre antecesor, Pasteur fue un científico que gozó durante toda su vida de gran predicamento, estima y notoriedad. Tanto es así que, por ejemplo, en marzo de 1886, una carta que llevaba sólo la simple mención: "A aquel que hace milagros. Rue de Ulm, Paris", llegaba a su destinatario... No le faltaron tampoco reconocimientos oficiales. La Asamblea Nacional promulgó en 1874 una ley que otorgaba a Pasteur una recompensa "como prueba de la gratitud que una nación da a los hombres que la ilustran y enriquecen". Entre sus considerandos destacaba que "sus trabajos fueron útiles a la industria, la agricultura y la patología", haciendo referencia especialmente a sus trabajos sobre las enfermedades del vino, (en las cuales inventó un método para su conservación), la fabricación del vinagre, la fermentación de la cerveza y las enfermedades del gusano de seda, y remarcando que "las pérdidas, solo en Francia, sumaban 1.500.000 francos, antes de la intervención de Pasteur". La ley garantizaba su seguridad material para proseguir con sus investigaciones, ya que le otorgaba una suma vitalicia de 12.000 francos anuales, susceptible de ser aumentada, cuya mitad recaería en Mme. Pasteur en caso de fallecimiento. Dicha pensión fue aumentada a 25.000 francos en 1881, en ocasión de haberle sido otorgada por disposición del gobierno de la República "el Gran Cordón de la Legión de Honor", remarcándose que "los beneficios que se deben a los descubrimientos de Pasteur hubieran bastado para cubrir el tributo de guerra de 5.000 millones de francos que Francia pagó a Alemania en 1870".

Esta reputación también existía por supuesto fuera de Francia, como puede verse por la nota del diario Times de Londres, en su edición del 29 de septiembre de 1895, informando de su fallecimiento ocurrido la víspera: *"Rara vez los beneficios que la humanidad ha recibido de la ciencia fueron más directos y más paten-*

10. Respuesta de Renan al discurso de Luis Pasteur; discurso pronunciado en la sesión pública del 27 de abril de 1882; París, Palais de l'Institut.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

tes que en el caso de la larga serie de investigaciones conducidas por Louis Pasteur ... Si algún ser humano merece un gran monumento internacional es sin duda este modesto, nada pretencioso, gentil y humano químico francés, quien hizo más que la mayoría de los hombres desde el inicio del milenio."

Llegar al análisis de un problema sin ideas preconcebidas le permitió en muchos casos "ver" aspectos fundamentales que habrían pasado inadvertidos para otros investigadores. Probablemente haya sido esta claridad de pensamiento, realmente prodigiosa, ese don de experimentador genial, que contribuyeron también a crearle enemistades y disputas muy duras durante casi toda su carrera.

No es extraño así que una autollamada Ligue Internationale des Antivaccinateurs dirigió al Ministro que había solicitado el aumento de la pensión vitalicia, una carta de "indignación" entre cuyos términos se puede leer: *"Es muy bueno que los pueblos honren y gratifiquen ampliamente a los sabios que consagran sus vigili- as y su inteligencia al estudio de los fenómenos de la naturaleza para ampliar el dominio de la ciencia y aumentar la prosperidad pública. Pero cuando los honores y los favores de los gobiernos se dirigen a luminarias pasajeras, a hombres cuyo principal mérito consiste en la habilidad con la cual han imaginado teorías completamente falsas en principio y cuya aplicación sólo produce consecuencias peligrosas y aún funestas, los representantes de la ciencia verdadera, exacta y positiva tienen el deber de elevar su voz para protestar contra este emprendimiento injustificable."* Remarquemos aquí el aserto: "ciencia positiva"...

Pasteur fue también un excelente polemista y supo defender sus puntos de vista con agudeza y pasión, lo cual ciertamente debe haber contribuido a ese ambiente de discusión extra-científico, que acompañó toda su obra, aún la más relevante. Ya hemos referido la forma en que comunicó a sus detractores una de las experiencias que realizó para refutar la teoría de la generación espontánea. Al final de esta sección, incluimos algunas frases de Pasteur que, creemos, ilustran claramente esta otra cualidad del sabio.

Pasteur fue durante toda su vida un católico practicante; se opuso claramente a la supuesta dicotomía entre ciencia y religión y fue muy particularmente contrario a la filosofía positivista, tan en boga en su tiempo y en su ambiente (Galagovsky, 2008, 2011). Es muy ilustrativo en este punto el discurso que él mismo leyó en ocasión de su incorporación a la Academia Francesa. En esas circunstancias tan solemnes, expresó entre otras cosas: *"(El Sr. Littré) y A. Comte creían y hacían creer a los espíritus superficiales que su sistema reposaba sobre los mismos principios que el método científico del cual Arquímedes, Galileo, Pascal, Newton y Lavoisier son los verdaderos fundadores. De allí vino la ilusión de los espíritus, favorecida aún por todo lo que representaba de garantías la ciencia y la buena fe (del Sr. Littré). Y aún: "La grandeza de las acciones humanas se mide por la inspiración que*

*las hace nacer. Feliz aquél que lleva en sí un dios, un ideal de belleza y que le obedece: ideal del arte, ideal de la ciencia, ideal de la patria, ideal de las virtudes del Evangelio. Ellos constituyen las fuentes vivas de los grandes pensamientos y de las grandes acciones..."*⁹

Sin embargo, todas estas diferencias y discusiones no le impidieron en modo alguno realizar sus investigaciones. El clima político de su época fue mucho más benigno que el que le tocó en suerte a su ilustre (y admirado) antecesor, A.L. Lavoisier; había entonces lugar para el disenso y la pluralidad de ideas. Cuando Pasteur murió, el gobierno de Francia decretó duelo nacional por tres días y se le brindaron los honores de un "funeral nacional". Si comparamos esta situación con lo ocurrido 100 años antes y en el mismo lugar, con el científico sin duda más relevante de ese momento, no deja de producirnos una cierta angustia existencial...

Como claramente lo expuso el diario Times en la cita aludida, Pasteur contribuyó como pocos a la "supervivencia" de la especie humana. Si se pudieran contar los casos concretos, las frías estadísticas deberían suministrarnos valores inmensos. Preferimos ejemplificar, entre los numerosísimos seres "de carne y hueso", con otra personalidad eminente, que en un campo diferente, honró también a la humanidad quizás tanto como su ilustre benefactor. Nos referimos a Pablo Casals (1876-1973), quien fue mordido por un perro rabioso a la edad de 10 años y salvó su vida "milagrosamente" gracias la vacuna recientemente desarrollada por Pasteur... Dejemos que él mismo nos lo cuente, (Corredor, 1955):

- *Cuando en el Hospital de Barcelona usted soportó estoicamente el tratamiento contra la rabia, su valentía también causó sensación en Vendrell.*

- *Tomé al pie de la letra las exhortaciones de mi padre: "Piensa que los hombres no lloran".*

- *El suero de Pasteur le fue providencial.*

- *Y de qué manera!. Entonces tenía 10 años, y el tratamiento de Pasteur se aplicaba en nuestro país desde hacía muy poco tiempo. Un perro rabioso me había mordido en la pierna. Mis padres me creían perdido...*

Algunas notas y frases de Pasteur:

"En el campo de la experimentación, el azar sólo favorece a los espíritus preparados".

(Dans le champ de l'expérimentation, l'hasard ne favorise que les esprits préparés).

"El mayor desorden del espíritu es creer en las cosas porque se quiere que ellas sean." (Frases tomadas de Bossuet y que él proponía colocar al frente de una de sus obras científicas).

"No, no hay actualmente ninguna circunstancia conocida en que se pueda afirmar que seres microscópicos hayan venido al mundo sin gérmenes, sin padres semejantes a ellos. Los que así lo pretenden han sido juguete de ilusiones, de experiencias mal hechas, plagadas de errores que ellos no

11. Discurso pronunciado por Pasteur en la sesión pública llevada a cabo en la Academia Francesa para la recepción de Pasteur, el 27 de abril de 1882, tipografía de Firmin Didot y Cia., 48 páginas en 4°, p. 1-23. Los discursos de Pasteur y de Renán y la nota del diario Times, fueron bajados de la web.

han sabido advertir o que no han sabido evitar.”

“Lo desconocido dentro de lo posible y no en lo que ha sido, ése es su dominio (del experimentador) y por explorarlo es que se ayuda de este maravilloso método experimental, de cual se puede decir con verdad, no que él es suficiente para todo, si no que raramente engaña y ello, sólo a aquellos que lo utilizan mal.”

“Por haber reflexionado y estudiado mucho, por eso he conservado la fe de un bretón. Si hubiera reflexionado y estudiado más habría llegado a poseer la fe de una bretona”.

“Creo firmemente que la ciencia y la paz ganarán sobre la ignorancia y la guerra, que los pueblos se comprenderán para construir y no para destruir »

“Je crois invinciblement que la science et la paix gagneront sur l'ignorance et la guerre, que les peuples se comprendront pour bâtir y ne pas pour détruire”.

“... He aquí entonces construida esta gran Casa de la cual se podría decir que no hay una piedra que no sea el signo material de un pensamiento generoso. Todas las virtudes se pusieron de manifiesto al construir esta residencia del trabajo... Este entusiasmo que Uds tuvieron desde el primer momento, guárdenlo, mis queridos colaboradores; pero dénele como compromiso inseparable un control severo. No avancen nada que no pueda probarse de forma simple y decisiva. Tengan el culto del espíritu crítico. Reducido a eso sólo, él no es ni un estimulador de ideas ni un estimulante de grandes cosas. Sin él todo es caduco. ...” (Discurso leído por Pasteur en ocasión de la inauguración del Instituto que lleva su nombre en París, el cual fue construido con fondos obtenidos por suscripción pública).

Epílogo

A través del artículo precedente llegamos a la conclusión que Lavoisier, sus ideas, sus experimentos y la discusión que lo llevaron a la generalización de “leyes” de la química fueron esenciales -y así lo reconoció Pasteur- para que éste insistiera en el origen biológico de ciertos procesos catalíticos.

Con la misma lógica no exenta de hipótesis basadas en trabajos actuales (Burton, 1995; Presman, 2010), estamos cerca de afirmar que ninguna investigación moderna sobre estructura / acción biológica se sustentaría sin los primeros intentos de Pasteur de relacionar la distribución espacial de pares de las moléculas disimétricas con determinadas propiedades ópticas (i.e. la desviación del plano de polarización de la luz), cristalográficas y aún biológicas de sus dos integrantes. Es bien conocido que estos intentos trajeron a la luz la existencia de compuestos tales como pares de “isómeros ópticos” o “enantiomorfos” antes inconcebibles.

¿Cuánto tiempo se habría perdido, todavía a fines del siglo XIX -cuánto tiempo habría perdido Pasteur mismo- si no se hubiese conocido que el experimento de combinar un metal con el oxígeno se traducía en los hechos en la combinación química resultante de la acción del oxígeno sobre aquél, sin que se ganara peso total en la operación por incorporación de “flogisto”!

Nos preguntamos también si es posible concebir la enorme contribución de Pasteur a la economía de Francia a través de la explicación de que los actores de la fermentación son seres vivos. Por más que sea cierto que hoy por hoy se han superado y -donde fuera necesario- limitado los alcances de estos descubrimientos, nadie puede negar la extraordinaria mies a que dieron lugar.

Queremos finalizar la monografía con palabras del propio Pasteur referidas a Lavoisier. En este momento en que ambos maestros ya pertenecen al “patrimonio de la humanidad”, creemos que ellas definen ajustadamente tanto la obra del homenajeado como la del ilustre orador:

“Su creación científica se mantiene eternamente joven. Algunos de sus detalles pueden haber envejecido, como lo han hecho las modas del año pasado, pero su espíritu y su método sobrevivirán. Constituyen una de las grandes adquisiciones del pensamiento humano”.

Referencias bibliográficas

- Pasteur, une vie, une œuvre.*
La lettre de l'Institut Pasteur, avril, 1995.
- Lowry, T. M (1935). *Optical Rotatory Power.* Longmans, Green and Co, London, 1935.
- Boyleau, M. (1953). *Vida de Pasteur.* Mundo Moderno, Buenos Aires.
- Dubos, R.(1960). *Pasteur y la ciencia moderna.* EUDEBA.
- Nicolle, J. (1963), *Luis Pasteur, maestro de la investigación científica.* Los Libros del Mirasol, Compañía General Fabril Editora.
- Ducleaux, E. (1896). *Pasteur. Histoire d'un esprit,* Sceaux, Imprimerie Charaire et Cie.
(De este último fue tomada la figura 3 y el texto de la experiencia correspondiente).
- Galagovsky, L. (Coordinadora) (2008). *¿Que tienen de naturales las ciencias naturales ?.* Editorial Biblos, Argentina.
- Galagovsky, L. (Coordinadora) (2011). *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos,*

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

Lugar Editorial, Buenos Aires.

Discours prononcés par M. Pasteur dans la séance publique tenue par l'Académie française pour la réception de M. Pasteur, le 27 avril 1882. *Paris*, 1882, typogr. de Firmin Didot et C^{ie}, 48 pages in-4°, p. 1-23.
Discours de réception à l'Académie française.

Réponse de M. Renan au discours de M. Louis Pasteur; discours prononcé dans la séance publique le 27 avril 1882 ; Paris, Palais de l'Institut.

Corredor, J. M. (1955) *Conversaciones con Pablo Casals*", Editorial Sudamericana, Buenos Aires.

Burton, G., Galigniana, M., de Lavallez, S., Brachet-Cota, A.L., Sproviero, E.M., Ghini, A.A., Lantos, C.P. and Damasco, M.C.; *Molecular Pharmacology*, 47: 535-543, 1995.

D.M. Presman, L.D. Alvarez, V. Levi, S. Eduardo, M.A. Digman, M.A. Marti, A.S. Veleiro, G. Burton, A. Pecci; *PLoS ONE*, www.plosone.org; october, 2010., Vol 5, Issue 10.

Agradecimientos

Los autores agradecen la valiosa colaboración de Mijal Distler y de Marilina Raices en la transcripción y computación del manuscrito original; del Dr. Lautaro D. Alvarez por las estructuras tridimensionales de los tartratos; de la Profesora Ana María Sanllorenti (Directora) y del personal de la Biblioteca Central (FCEN-UBA), por el acceso al libro de Fourcroy y las copias escaneadas de las páginas especialmente relevantes para esta monografía.

Dedicatoria

Dedicamos esta monografía a la memoria del Dr. Eduardo G. Gros.

4

LA ALQUIMIA DEL VERBO

Dr. Héctor Santiago Odetti

Profesor Titular dedicación Exclusiva. Departamento de Química. General e Inorgánica.
Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral.
Email: hodetti@fbc.unl.edu.ar

En el conocido libro de Umberto Eco, *El péndulo de Foucault* (1988) Casaubon y sus dos amigos recorren varias historias de aventuras mágicas, religiosas, esotéricas y satíricas. En este complejo devenir se va creando y recreando la construcción de la historia secreta de todo el mundo. Podríamos preguntarnos entonces *¿por qué leer este libro? o, también ¿Por qué puede ser tan interesante leer el mismo para un joven que se inicia en el estudio de la Química o bien para un experto Químico?*

La respuesta no es para nada sencilla. En este libro aparecen relatos y datos de personajes reales de la Historia de la Química que están contextualizados en una determinada época, dando cuenta de otra perspectiva de análisis. Es interesante cotejar cada uno de ellos con otra bibliografía de Historia de la Química o también realizar la búsqueda en las páginas de Internet. En la medida que se avanza en la lectura, se advierte que pasan hechos y relatos históricos no sólo de Alquimistas y / o Químicos, sino de un sin número de personas que tuvieron relevancia y poder, lo que permite realizar reflexiones diversas sobre la historia contada.

También es cierto que algunos lectores puedan opinar todo lo contrario. Cada uno podrá sacar su propia conclusión.

No ajena a toda la historicidad que se describe, la Alquimia y la Química, aparecen fusionadas en el relato que seduce al lector de esta novela.

Debemos tener en cuenta que la influencia del ambiente sobre el desarrollo de la ciencia y, de la ciencia sobre el medio en que actúa, sirven, en cierto modo, para caracterizar diferentes épocas de la historia. La Alquimia, estructurada en una época de intensas luchas religiosas, caracterizada por el florecimiento de misticismo oriental, lleva por siglos el sello de un doble esoterismo, técnico y místico. En general, no buscaban los alquimistas descubrir el secreto propio de las

transformaciones de la materia, sino el secreto de un saber que se decía haber sido revelado y estar oculto (Gollan, 1956). Esta orientación, significó un retroceso desde el punto de vista científico, dado que la Ciencia debe desarrollarse libre de las trabas de las supersticiones y de los prejuicios dogmáticos sistematizados.

Cuando la opresión incide, el progreso se detiene; y cuando la barbarie arrasa los frutos de la cultura, sólo quedan de ella los recuerdos y, entonces, hay que comenzar a reconstruir.

En esta construcción y reconstrucción de la historia, es donde la Alquimia aparece con fuerza en innumerables párrafos de la obra citada. A continuación se transcriben algunos. Se destaca que el libro no está dividido en capítulos, sino que se desarrolla teniendo en cuenta las esferas de la Cábala hebrea, a saber: **KETER, HOKMAH, BINAH, HESED, GEBURAH, TIFERET, NESAH, HOD, YESOD, MALKUT.**

En referencia al conde de Saint-Germain:**HESED, 27 página 238.**

*Nada extraordinario, la típica carrera del aventurero del siglo XVIII, con menos amores que Casanova y estafas menos teatrales que las de Cagliostro¹. En el fondo, salvo unos pocos percances, goza de cierto crédito entre los poderosos, a quienes les promete las maravillas de la **alquimia**, pero con un toque industrial. Sólo que alrededor de él, y sin duda alimentado por él, va cobrando forma el rumor de su inmortalidad.*

En referencia a los rosacruces:**HESED, 30 página 262.**

*-Después se desata una locura colectiva, unos les defienden, otros quieren conocerles, otros les acusan de diabolismo, **alquimia**, herejía, con la participación de Astaroth para proveerles de riquezas, poder, per-*

1. Nota del autor: ¿Quién fue Cagliostro? El Conde Alejandro Cagliostro nació en Palermo en 1743 y se educó en el monasterio de Bonfratelli cerca a Caltagirone, donde también trabajaba en un dispensario y aprendía Farmacia. Luego fue expulsado por los monjes por blasfemia y fue a Messina para trabajar en cosas de alquimistas. Él y su hermosa esposa con la que se casó en Roma alrededor de 1771, vivieron una vida errante que los llevó a conocer a las personas más famosas de Europa. El siglo XVII, aunque llamado "la era de la razón", fue también una era de transición donde se pronunciaron tendencias por el ocultismo. No es poco sorprendente que el venerable arte por la alquimia fuera muy apreciado.

En 1786 Cagliostro tuvo un cambio de suerte. Él y el príncipe Rohan se vieron envueltos en la famosa estafa del "Collar de Diamantes" a la reina María Antonietta. El hecho escandalizó al trono de Francia, aunque la reina resultó inocente sumó al descontento popular que dió lugar a la Revolución Francesa. Cagliostro cayó en la ruina y sus amigos y conocidos le dieron la espalda. Murió en Roma en 1795, prisionero de la Iglesia. Sus contemporáneos difieren en gran medida sobre su juzgamiento (Mez, 1975).

mitirles volar de un sitio a otro, en suma, el escándalo del día.

GEBURAH, 41 página 336.

... Será preciso disponer de información suficiente sobre manipulaciones fluidicas, **alquimia**, espagírica, telepatía, exorcismo, magia ceremonial y evocatoria, teurgia elemental. En cuanto al ocultismo propiamente dicho, yo sugeriría explorar los campos de la Cábala primitiva, el brahmanismo, la gimnosofía, los jeroglíficos de Menfis...

GEBURAH, 42 página 341.

... Señores, a trabajar. Visiten librerías, preparen bibliografías, soliciten catálogos, vean qué hacen en los otros países... Y además, quién sabe cuánta gente ha desfilado por sus despachos, llevando este tipo de tesoros, y ustedes se han deshecho de ellos porque no nos servían. **Y, por favor, Casaubon, también en la historia de los metales pongamos un poco de alquimia.** Quiero suponer que el oro es un metal. Las observaciones para otro día, ya saben ustedes que acepto las críticas, las sugerencias, las impugnaciones, como es costumbre entre gente culta.

En comentario de uno de los personajes:

GEBURAH, 47 página 367.

Ello explica la presencia de esta graciosa salamandra, por ejemplo, obra maestra de un querido amigo taxidermista, o de esta delicada reproducción en miniatura, en verdad algo tardía, de la pila eólica de Herón, donde si activara este hornillo de alcohol que le sirve de contenedor, el aire recludo en la esfera, calentándose, se escaparía por estos diminutos orificios laterales y provocaría su rotación. Mágico instrumento, que ya utilizaban los sacerdotes egipcios en sus santuarios, como nos repiten muchos textos ilustres. ... (...) Y esa es la sabiduría que los hombres de nuestra Antigüedad poseyeron, **y los de la alquimia**, y que los constructores de ciclotrones han perdido. De esta manera, vuelvo la mirada hacia mi teatro de la memoria, descendiente de otros, más vastos, que fascinaron a los grandes espíritus del pasado, y sé.

En el inicio de GEBURAH, 58 página 442.

Es por tanto la **alquimia** una casta meretriz, que tiene muchos amantes, pero que a todos defrauda y a ninguno se entrega. Transforma a los necios en insensatos, a los ricos en miserables, a los filósofos en tontos, y a los burlados en elocuentes burladores... (Tritemio, *Annalium Hirsaugensium* Tomi 11, St. Gallen, 1690, 141)

En referencia a Mundus Subterraneus de Athanasius Kircher, primera edición, 1665:

TIFERET, 78 página 568.

--¿Lo dice el padre Kircher?

--No, él se ocupa de la naturaleza, solamente... Aunque es curioso que la segunda parte de este libro trate

de la **alquimia y los alquimistas** y que precisamente aquí, mire, en este pasaje, aparezca un ataque contra los rosacruces...

En referencia, nuevamente la Alquimia y la Historia Contemporánea:

TIFERET, 99 página 657.

Además, como sabrán por los periódicos, aún hoy, en su cárcel de Spandau, Hess sigue ocupándose de ciencias esotéricas. En 1924, von Sebottendorff escribe un libelo sobre **la alquimia**, y afirma que los primeros experimentos de fisión atómica demuestran la verdad de la Gran Obra. ¡Y escribe una novela sobre los rosacruces!

Casi todo alquimista del siglo XVII decía ser rosacruz. Así podemos mencionar a Paracelso, Bacon, Spinoza y hasta el mismo Newton. La mayoría de las sociedades secretas de aquellas épocas se fundaron con el objetivo de combatir la ortodoxia religiosa. La de los Rosacruces, según José Gollan (h) (1956) tenía como propósito unirse a los gnósticos, cabalista y alquimistas con la finalidad de ejercer desinteresadamente la medicina, hacer caridad y reconstruir los hombres a las ceremonias y sacramentos de la primitiva Iglesia.

Ahora bien, **¿De qué manera influyó la Alquimia en las prácticas sociales de esa época? y, ¿en la configuración de la sociedad moderna? ¿Cuál es rol que juega la Química en el entramado social de poder del siglo XXI?**

La idea que subyace a estas preguntas está sin duda relacionada con la de poder. Dónde hay poder existe resistencia. Siguiendo esta línea de análisis, el binomio Química – Poder es insuficiente y simplista. No hay un poder, sino múltiples relaciones móviles de poder que no necesariamente responden a las grandes estructuras, sino que también pueden surgir desde abajo y construir los sujetos y las creencias sociales.

Indudablemente que determinados descubrimientos científicos pueden llegar a formar dominios de saber que hacen que aparezcan nuevos objetos, conceptos y, lo más importante, que influya en los sujetos y en toda la sociedad. Esto está vinculado con la idea de poder de Bacon (1561 - 1626), poder-conocimiento están fuertemente enraizados. *"El conocimiento es poder"* Sacrae Meditationes. De Hæresibus (1597)

En esta idea se genera una noción significativa, precedente de un continuo entre el pasado y presente, la Alquimia y la Química que son necesarias conocer para comprender nuestra actualidad como comunidad científica. Lejos se está de presentar un discurso científico hegemónico y regulador de la verdad.

Por lo tanto es muy importante ver en el interior de la historia y en las relaciones que se establecen, fundando y dando nombre a los hombres. Se trata de una manera de ver el mundo que intenta encontrar en la historia, las prácticas y sus discursos, que nunca son ca-

suales, algún tipo de comprensión del presente, pero no como resultado, sino como un continuo en permanente devenir. Los sujetos se construyen desde un determinado discurso que responde a ciertas demandas y peculiaridades emergentes. Por eso es interesante conocer cómo se formaron algunas sociedades "secretas" dominantes en algunos períodos históricos que marcaron y / o marcan a los sujetos con determinadas características. Más atrayente sería averiguar quién o quiénes constituyeron y/o constituyen estas sociedades y saber, cuál es la relación de los mismos con las sociedades científicas.

El libro de Umberto Eco presenta una secuencia interesante en **TIFERET, 75 páginas 542 a la 550**, a saber:

Con imprudente osadía me ofrecí para llevar a cabo una investigación rápida y precisa. Me encontré inmerso en un pantano de libros que abarcaban estudios históricos y cotilleos herméticos, donde no era fácil distinguir entre los datos fiables y las fantasías. Trabajé como un autómatas durante una semana y al final me decidí a presentar una lista casi incomprendible de sectas, logias, conventículos. No sin que durante su confección dejara de sentir algún estremecimiento, al toparme con nombres conocidos que no esperaba encontrar en esa compañía, y coincidencias cronológicas que me pareció interesante registrar. Mostré el documento a mis dos cómplices.

1645 Londres: Ashmole funda el Invisible College, de inspiración rosacruziana.

1662 Del Invisible College nace la Royal Society, y de la Royal Society, como todos saben, la Masonería.

Se enumera desde

1666 París: Académie des Sciences

hasta

1936 Nace en Francia el Grand Prieuré des Gaules

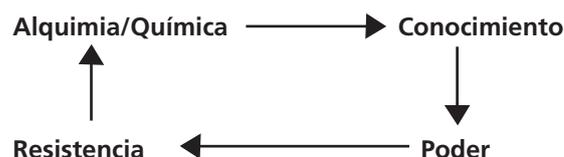
En los "Cahiers de la fraternité polaire", Enrico Conradi-Rhodio habla de una visita.....

Por supuesto que con la ironía que caracteriza al autor, uno de los personajes del libro termina diciendo:

--¿Qué significa todo esto? --preguntó Diotallevi.

-No me lo pregunten a mí. ¿Querían datos? Pues aquí los tienen. Es todo lo que sé.

Esta enumeración responde a una novela en particular y no se trata de criticar o tener prejuicio hacia algo o alguien. Simplemente es conocer y volver a repensar las relaciones Química – Conocimiento, Conocimiento- Poder, Poder – Resistencia. Se podría reflexionar sobre las alternativas: la Alquimia como colaboradora de la resistencia al poder papal medieval y la resistencia social del siglo XXI hacia la Química en determinados sectores como contra-respuesta al Poder que se ostenta.



Es cierto que la Historia de la Alquimia, presenta aspectos tan diversos y contradictorios, que se puede hablar de ella como de la "mayor tontería o de la mayor inteligencia de que fueron capaces los hombres".

En la literatura alquimista pueden encontrarse, según los casos, profundidad o superficialidad de pensamiento, precisión o vaguedad en la expresión. La Alquimia fue actividad de sabios, y de farsantes, preocupación de científicos o emoción mística que veían en las transformaciones químicas un espejo de las espirituales.

Ahora bien, repasando un poco la historia de la Química, es conocido que en la segunda mitad del siglo XVII, Roberto Boyle (1661) define elemento químico. En el siglo XVIII Stahl establece la primera sistematización química en base a una interpretación teórica que consideraba la existencia del flogisto, teoría que es reemplazada por la teoría de la combustión de Lavoisier (1789), quedando establecido así el nacimiento de la Química Moderna. Hijo de un acaudalado abogado parisino, Lavoisier obtuvo su título de abogado de acuerdo a los deseos de su familia. Su interés real, sin embargo, era la ciencia que abrazó con pasión al mismo tiempo que llevaba una vida pública muy activa. Debido a sus primeros trabajos en geología fue elegido en 1768, a la edad de 25 años, miembro de la Academia de Ciencias de Francia, la sociedad científica más prestigiosa del mundo en esos momentos. En ese año también se incorporó a la Ferme Générale, la corporación privada encargada de recolectar impuestos para la Corona. Pocos años después se casó con Marie Anne Pierrette Paulze que tenía 14 años en esos momentos. Marie rápidamente se preparó para ser la esposa de un científico estudiando inglés para traducir los trabajos de los científicos ingleses de la época y también aprendió dibujo para ilustrar los trabajos de su esposo.²

En 1775 Lavoisier fue nombrado comisionado de la Real Administración de las Fábricas de Pólvora y Nitratos donde, luego de equipar un laboratorio con los adelantos más modernos de la época, atrajo la atención de toda Europa que deseaba aprender más sobre la Revolución Química que allí se desarrollaba. Como resultado de sus trabajos perfeccionó la calidad y los métodos de producción de la pólvora. Característico de los experimentos de Lavoisier era su cuidado por la determinación sistemática de los pesos de reactivos y productos involucrados en las reacciones química de cuya observación dedujo que la materia, identificada por su peso, se debía conservar en las reacciones químicas. Entre sus contribuciones más importantes se pueden mencionar la comprensión de que los procesos de la combustión y respiración eran causados por

2. Marie Anne tuvo –evidentemente- la inquietud de ser recordada por la historia, y efectivamente, su figura esbelta se destaca ante una intrigante mirada de su esposo en una pintura –verla en este libro, en el capítulo de la Dra. Celia Coto- que fue pintada por David, el maestro de dibujo de Marie Anne.

reacciones químicas con la parte del aire que él denominó oxígeno. Otra conclusión importante de sus trabajos fue que el agua estaba compuesta por oxígeno e hidrógeno. Su costumbre de dar nombres a los compuestos, algunos de los cuales aún se utilizan, fue un medio importante de adelantar la Revolución Química porque detrás de estos términos se expresaba una teoría. En el caso del oxígeno, término que deriva del griego y significa formador de ácidos, Lavoisier expresó su teoría de que el oxígeno era el principio acidificante de las sustancias. Él consideró 33 sustancias como elementos según su definición de elemento que era toda sustancia que no podía ser descompuesta en sustancias más simples.

Irónicamente, y aunque Lavoisier se oponía a la teoría del flogisto, entre sus 33 elementos se encontraba el "calórico", la sustancia sin peso que representaba al calor y posiblemente a la luz, y que "al agregarse a otras sustancias" causaba que éstas expandieran. Para dar mayor difusión a sus ideas en 1789 publicó el libro *Traité élémentaire de chimie* y fundó la revista científica *Annales de Chimie* donde se publicaron, casi exclusivamente, trabajos científicos sobre la nueva Química.

Como político liberal, Lavoisier tomó parte activa en los eventos que llevaron a la Revolución Francesa y en sus primeros años confeccionó planes y reportes solicitando muchas reformas incluyendo la implantación del sistema métrico de pesos y medidas. A pesar de su eminencia y grandes contribuciones a la ciencia y a Francia, en 1794 fue guillotinado. Cuenta la historia que el eminente matemático Joseph Louis Lagrange dijo al respecto, "Solamente les tomó a ellos un instante cortar esta cabeza, y probablemente ni en cien años se producirá otra igual".

Retomando el hilo del capítulo, la obra de Umberto Eco también menciona a Lavoisier en las primeras y últimas páginas, como dando un inicio pero hacia atrás en el tiempo. El personaje Casaubón está en el Conservatoire National des Arts et Métiers, donde se encuentra el Péndulo de Foucault.

En referencias a Lavoisier:

KETER, 2 página 30.

Sucede, sin embargo, que después de la galería dedicada a los medios de transporte viene el atrio de Lavoisier, que da a la gran escalinata por donde se sube a los pisos superiores.

KETER, 2 página 30.

Ante todo, la abundancia de espejos. Donde hay espejo hay estadio humano, quieres verte. Pero no te ves. Te buscas, buscas la posición en el espacio en la que el espejo te diga "estás ahí, y ése eres tú". Tanto sufrimiento, tanta inquietud para que los espejos de Lavoisier, ya sean cóncavos o convexos, te engañen, se burlen de ti: retrocedes y te encuentras, pero te mueves y te pierdes.

KETER, 2 página 30.

¿Qué había querido decir Lavoisier? ¿Qué querían

sugerir los artifices del Conservatoire? Desde el medioevo árabe, desde Alhacen, conocemos todas las magias de los espejos. ¿Valía la pena realizar la Enciclopedia, el Siglo de las Luces, la Revolución, para afirmar que basta con curvar un espejo para precipitarse en lo imaginario? ¿No es una ilusión lo que nos ofrece el espejo normal, la imagen de ese otro que nos mira desde su zurdera perpetua mientras nos afeitamos cada mañana? ¿Valía la pena que nos dijeran sólo eso, en esta sala, o acaso lo habrán dicho para sugerirnos otra manera de mirar todo el resto, las vitrinas, los instrumentos que fingen celebrar los orígenes de la física y la química Ilustradas?

KETER, 2 página 31.

¿De veras? ¿De veras el señor que sostiene esas velas bajo la campana se ponía aquella careta de rata de alcantarilla, aquel atuendo de invasor extraterrestre, para que no se le irritaran los ojos? Oh, how delicate, doctor Lavoisier. Si querías estudiar la teoría cinética de los gases, ¿por qué reconstruiste tan meticulosamente la pequeña pila eólica, un piquito encima de una esfera que, si se calienta, gira vomitando vapor, cuando la primera pila eólica ya había sido construida por Herón, en tiempos de la Gnosis, como auxiliar de las estatuas hablantes y otros prodigios de los sacerdotes egipcios?

KETER, 2 página 32.

La sala Lavoisier del Conservatoire es una confesión, un mensaje cifrado, un epítome de todo el museo, burla de la arrogancia de la razón moderna, susurro de otra clase de misterios. Jacopo Belbo tenía razón, la Razón estaba equivocada.

HOD, 112 página 742.

Creo que eran las once, o quizá todavía no. Atravesé la sala de Lavoisier sin encender la linterna, recordando las alucinaciones de la tarde, recorrí la galería de los modelos ferroviarios.

Debemos saber que el discurso condiciona lo que observamos de la realidad y que ésta es siempre compleja, pudiendo afirmar que la misma se desplaza hacia un lado y otro, como el Péndulo de Foucault. Este desplazamiento no es en sentido lineal. No es sólo una cuestión de términos concatenados unos con otros, porque la palabra ordena y puede transformar al mundo. Con esta expresión simbólica, vuelvo al texto de Umberto Eco, dejando al lector un brillante párrafo que da cuenta de lo maravilloso que puede resultar la Alquimia del verbo.

KETER, 2 página 31-32.

¿Y la máquina para estudiar la fermentación (otra vez) del vino? ¿Una secuencia de arcos de cristal tendidos entre atanor y atanor, que salen de un alambique para ir a parar a otro? Y esas gafitas, y la clepsidra diminuta, y el pequeño electroscopio, y la lente, la navajita de laboratorio que semeja un carácter cuneiforme, la espátula con palanca expulsora, la cuchilla de cristal, el pequeño crisol en tierra refractaria de tres centímetros para producir un homunculus del tamaño de un gnomo, útero infinitesimal para diminutísimas

clonaciones, las cajas de caoba llenas de paquetitos blancos, que parecen comprimidos de farmacia de pueblo, envueltos con pergaminos cubiertos de caracteres intraducibles, que contienen especímenes mineralógicos (según dicen), en realidad fragmentos de la Sábana Santa de Basíides, relicarios que custodian el prepucio de Hermes Trismegisto¹, y el martillo de tapicero, largo y delgado, que marcará el comienzo de un brevísimo día del juicio, una subasta de quintaesencias que se celebrará entre el Pequeño Pueblo de los Elfos de Avalón, y el inefable aparatito para analizar la combustión de los aceites... (...) ¿Es ésta la química moderna? ¿Y por eso hubo que guillotinar al autor, si al fin y al cabo nada se destruye y todo se transforma? ¿O lo mataron para que no hablara de lo que veladamente estaba revelando? Como Newton, que, a pesar de ser el padre de la física moderna, siguió meditando sobre la Cábala y las esencias cualitativas.

Y nuevamente en este texto nos podemos preguntar **¿Y quién fue Hermes Trimegisto?** Los escritores de Alejandría solían atribuir el arte de la Química al misterioso Hermes Trimegisto, cuyo nombre se conserva aún en la expresión "herméticamente cerrado". El mismo era invocado por los gnósticos, como fuente de toda sabiduría, de igual modo que su antiguo prototipo egipcio Tot era el Dios de la sabiduría y de los escribas (Partington, J. R. 1945).

Por último, para terminar, es interesante reflexionar sobre una cita de Sarton G. en Historia de la Ciencia y nuevo Humanismo, Rosario. Ed. Rosario, página 60, que nos dice **"Sin historia, el conocimiento científico puede llegar a ser culturalmente peligroso y combinado con ella, atemperado con el respeto (al pasado) nutrirá la más elevada cultura"**.

Referencias bibliográficas

- Bottani Eduardo, Odetti Héctor, Pliego Oscar et al. *Química General*. 2 Ed. (2006). Publicaciones UNL. Santa Fe. Argentina
- Eco, Umberto. *El péndulo de Foucault*. 2 Ed. en castellano 2003. Buenos Aires. Argentina
- Gollan, Josué (h). *La Alquimia*. (1956). Ed Castelví. Santa Fe. Argentina
- Mez, Lydia. *Cagliostro in Basle*. Journal of Chemical Education 52 (7). 1975. 458-459
- Partington, J. R. *Historia de la Química*. (1945). Espasa-Calpe. Buenos Aires. Argentina.

5

LOS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS
DESCUBIERTOS EN AMÉRICA**Dr. Enrique J. Baran**

Centro de Química Inorgánica (CEQUINOR, CONICET/UNLP), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, C. Correo 962, 1900-La Plata, Argentina.

E-mail: baran@quimica.unlp.edu.ar

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Av. Alvear 1711, 4° piso, 1014-Buenos Aires, Argentina. Email: baran@quimica.unlp.edu.ar

La historia del descubrimiento de los elementos químicos es sumamente interesante y atractiva e involucra a estudiosos y científicos de muchas nacionalidades. Esta historia se relaciona a muchos nombres bien conocidos tales como los de Carl W. Scheele (descubridor del cloro, bario y manganeso), Jöns J. Berzelius (descubridor del selenio, silicio, cerio y thorio), Humphry Davy (descubridor del sodio, potasio, calcio y magnesio), Auer von Welsbach (descubridor de varios de los elementos lantánidos), los esposos Marie y Pierre Curie (descubridores del radio y el polonio), o Glenn T. Seaborg (co-descubridor de varios de los elementos transuránidos) por mencionar a algunos (Ambrosio, 1977). Pero habitualmente es mucho menos conocido el hecho de que dos de estos elementos fueron descubiertos por españoles en suelo americano, uno de ellos por un joven militar y el otro por un mineralogista que se desempeñaba como profesor en el Colegio de Minería de México.

Los dos elementos a los que nos referimos son el platino, descubierto por Don Antonio de Ulloa y el vanadio, descubierto por Andrés Manuel del Río (Baran, 2010). También es interesante de recordar aquí que hay sólo un elemento químico más, descubierto por españoles. Se trata del wolframio, descubierto por los hermanos Fausto y Juan José Delhuyar (Weeks, 1934; Román Polo, 2000).

Descubrimiento del platino

El descubrimiento de este elemento históricamente ha quedado asociado con el nombre de Don Antonio de Ulloa, quien fue el primero en describir claramente su existencia y, además, le dio su nombre. No obstante, es seguro que ya en la Antigüedad y aun en la era Precolombina se lo haya recogido y utilizado. Pero veamos cómo fue la historia de su identificación y primera descripción.

Hacia 1730 la Academia de Ciencias de París decidió encarar estudios tendientes a determinar con exactitud la forma de la Tierra, decidiendo que para ello había que medir la distancia terrestre que correspondía a un arco de meridiano en las cercanías del Ecuador y otro cerca del Polo. Para la medición polar se eligió la zona de Laponia y para la ecuatorial la región en torno a Quito, que pertenecía en ese momento al Virreinato del Perú. A esos efectos el rey de Francia,

Luis XV, solicitó la pertinente autorización al monarca español Felipe V.

El rey español concedió el permiso para esa expedición pero con la condición de que dos oficiales españoles participaran de la misma. Y los elegidos fueron los dos jóvenes Guardiamarinas D. Antonio de Ulloa y de la Torre-Giralt (1716-1795) y D. Jorge Juan y Santacilia (1713-1773), el primero de sólo diecinueve años y el segundo de veintiuno. Ambos fueron ascendidos al grado de teniente de fragata y se incorporaron de inmediato a la expedición.

La misión geodésica se inició finalmente en mayo de 1735, bajo las órdenes de Pierre Bouguer un famoso astrónomo y matemático de la época y con la participación de otros dos científicos, Charles Marie de la Condamine y Louis Godin. Las triangulaciones geodésicas abarcaron una longitud de unas 78 leguas y el trabajo duró casi diez años. Pero Antonio de Ulloa y Jorge Juan debieron interrumpir muchas veces sus tareas científicas ya que el Virrey frecuentemente les pedía colaboración o participación en otras actividades. Sin embargo, esto les permitió recorrer y conocer mejor una mayor parte del territorio. En uno de esos viajes Ulloa visita una mina de oro abandonada en la región del Chocó donde encuentra un mineral al que llama "platina", por presentar un brillo y color parecido al de la plata aunque de mucha mayor dureza (McDonald, 1959).

De todas maneras, la descripción del nuevo elemento recién aparece publicada en 1748 en una extensa y muy detallada obra en dos volúmenes que Jorge Juan y Ulloa publicaron conjuntamente bajo el título "*Relación Histórica del Viaje a la América Meridional Hecho de Orden de S. Mag.*" y en el que describen en detalle sus trabajos geodésicos, observaciones astronómicas y además incluyen muchísimos mapas y pormenorizadas noticias sobre las diferentes regiones del Virreinato del Perú que habían recorrido (McDonald, 1959; Losada y Varela, 1995).

Y, en lo referido al nuevo elemento, puede leerse "En el partido del Chocó habiendo muchas Minas de lavadero, se encuentran también algunas, donde por estar disfrazado y envuelto el oro por otros cuerpos Metálicos, Jugos y Piedras, necesita para su beneficio del azogue y tal vez se hallen minerales donde la platina (Piedra de tanta resistencia, que no es fácil romperla, ni desmenuzarla con la fuerza del golpe sobre el yunque de acero) es causa de que se abandonen,

porque ni la calcinación la vence, ni arbitrio para extraer el metal que encierra sino a expensas de mucho trabajo y costo" (Losada y Varela, 1995). Esta aseveración encierra un hecho notablemente curioso ya que muestra que las civilizaciones precolombinas evidentemente conocían el platino y lo desecharon porque no lograron trabajarlo e, incluso, abandonaban depósitos de oro porque les resultaba demasiado complejo separarlo del platino. Por otro lado, el depósito descrito por Ulloa es bastante típico de muchos depósitos de platino en los que éste se encuentra usualmente asociado con oro, plata, cobre y otros metales de los grupos 8, 9 y 10 del Sistema Periódico (Cotton *et al.*, 1999). Asimismo, estaba claro que el oro podría, eventualmente, separarse por amalgamación del resto de los elementos.

Más adelante y al referirse otra vez a la platina se dice en el mismo libro "*...es muy singular de ella, el no crear verdín, ni extraerse por medio de los ácidos, como sucede con el cobre ordinario*" Esta y otras aseveraciones similares hacen pensar que Ulloa realmente tenía en claro que estaba manipulando un elemento metálico nuevo, diferente a los hasta allí conocidos.

A partir de esta primera y concreta descripción de 1748 empieza producirse un creciente interés en los círculos científicos europeos por las propiedades y características del elemento. Parece ser que el primero en obtener una muestra del elemento totalmente pura fue el químico inglés William H. Wollaston (1766-1828) en el año 1800. Además y durante sus trabajos con minerales conteniendo platino, descubrió también los elementos paladio y rodio y las técnicas por él desarrolladas para la separación de estos elementos constituyeron la base de la moderna metalurgia del platino.

Otro aspecto sin duda singular y que merece algunos comentarios adicionales es la pregunta de por qué Ulloa no se dedicó nunca más al estudio del platino, que él había dado a conocer y que sigue conservando el nombre que él propuso. La respuesta es simple, Antonio de Ulloa fue esencialmente un oficial de la Armada española y que además, como consecuencia de su participación en la expedición científica a Quito y por su inquietud e inteligencia fue adquiriendo también una sólida formación y reputación científica. Ambas actividades, la militar y la científica, le implicaron intensas y muy variadas tareas en diversas partes del Mundo e implicaron para él un sinfín de continuadas y muchas veces complicadas situaciones personales y profesionales, las que analizaremos muy sucintamente para redondear el perfil de esta interesante figura.

En 1745, y al terminar la misión científica de la que participaba, Ulloa se embarcó de regreso a Europa en un barco francés, pero durante la travesía el barco fue apresado por los ingleses y Ulloa fue tomado prisionero. Después de un tiempo, y al ser liberado, tomó contacto con miembros de la Royal Society pudiendo dar a conocer sus trabajos, debido a lo cual en 1746 fue aceptado como miembro de la misma. Al regresar a Madrid fue ascendido a capitán de navío y se le encomendó recorrer diversos países europeos para tomar conocimiento de los avances científicos más recientes que se venían produciendo en el Continente. Con el correr del tiempo, fue incorporado a las Acade-

mias de Ciencias de Berlín y París y a la Real Academia de Suecia, con muchos de cuyos miembros mantuvo fructíferos y continuados contactos. También fundó el Museo de Ciencias Naturales de Madrid y en la misma capital organizó también un laboratorio de metalurgia. Asimismo, y otra vez en colaboración con Jorge Juan, organizó un observatorio astronómico en Cádiz.

Aparte de esta intensa actividad científica siguió también con su actividad militar y política. En 1758 volvió al Virreinato del Perú, como Gobernador de Huancavelica y con el encargo de reorganizar la explotación de los famosos depósitos de mercurio de ese lugar. En 1764 fue nombrado contralmirante y se estableció por un tiempo en La Habana, desde donde trató de reorganizar las comunicaciones postales entre España y América. Cuando en 1767 España recibió de Francia el territorio de la Luisiana, como parte de los acuerdos firmados luego de la llamada Guerra de los Siete Años (una Guerra que entre 1756 y 1763, involucró a todas las potencias europeas y se extendió a América y Asia), Antonio de Ulloa fue designado gobernador por un breve tiempo, participando luego de la organización de la flota del Virreinato de Nueva España y creandó un gran astillero naval en Veracruz. En 1779 alcanzó el grado de Teniente General y posteriormente fue designado Director General de la Armada española, cargo que ocupó hasta su muerte, en 1795.

Descubrimiento del vanadio

En la historia del descubrimiento de los elementos químicos el descubrimiento del vanadio habitualmente ha quedado asociado al nombre del químico sueco Nils Gabriel Sefström, aunque en realidad los primeros indicios de su existencia fueron aportados casi treinta años antes por Andrés Manuel del Río, en México.

Andrés Manuel del Río Fernández había nacido en Madrid en 1764, graduándose de Bachiller en el Real Colegio de San Isidro, a los 16 años. Debido a sus excelentes condiciones intelectuales, recibió una beca de estudios que le permitió ingresar a la Real Academia de Minas de Almadén y a partir de 1785 peregrina por diferentes instituciones europeas, trasladándose primeramente a París donde perfeccionó sus conocimientos de Química, Física, Matemática y Ciencias Naturales. Seguidamente, pasó a Alemania donde, en la célebre Bergakademie de Freiberg, fue discípulo del famoso profesor Abraham Gottlob Werner, uno de los padres de la moderna mineralogía y geología, y condiscípulo de Alexander von Humboldt, quien también estaba estudiando allí (Weeks, 1935; Uribe Salas, 2006).

Alexander von Humboldt, luego de un año de estudios en la famosa Georg-August Universität de Göttingen (1789-1790) (Baran, 2009) y de una breve estadía en la Escuela Superior de Comercio de Hamburgo, pasó un período en Freiberg, perfeccionando sus conocimientos sobre mineralogía y minería, también bajo la supervisión de Werner. Al término de ese período de estudios fue incorporado al Departamento de Minería de Prusia con el grado de "*Asesor cum voto*", comenzando una intensa y fructífera actividad que prácticamente se extendió hasta el inicio de su

trascendental viaje a América (Mayer-Abich, 1967).

Concluida su formación en Freiberg, del Río pasó a la Real Academia de Minas y Bosques, de la ciudad húngara de Schemnitz para mejorar sus conocimientos en Metalurgia y Química Analítica. Allí también tomó conocimientos del proceso de amalgamación y con la técnica que utilizaba hierro para la recuperación de plata a partir de su sulfuro. Terminada su estancia en Hungría, volvió brevemente a España y luego nuevamente a París, donde tomó contacto con Lavoisier y con el abate Haüy, uno de los fundadores de la cristalografía moderna (Uribe Salas, 2006).

A efectos de reformar la explotación minera y las actividades metalúrgicas en el Virreinato de Nueva España, en 1792 Carlos III creó el Tribunal General del Cuerpo de la Minería, que fue puesto bajo la dirección general de Fausto Delhuyar, uno de los arriba mencionados descubridores del wolframio, creándose también un Colegio de Minería (Weeks, 1934). El joven del Río fue comisionado para ocupar las cátedras de Química y Mineralogía de esa institución, declinando la primera pero aceptando la segunda, llegando a México hacia fines de 1794 (Weeks, 1935; Mayer-Abich, 1967; Uribe Salas, 2006).

Cuando Alexander von Humboldt visitó México (1803-1804) quedó asombrado de la calidad científica de algunas de las instituciones que estaban funcionando allí y, en particular, del Colegio de Minería, que según dijo era prácticamente una réplica mejorada de la Bergakademie de Freiberg. Y se ha dicho, en reiteradas oportunidades, que ese Colegio fue sin duda una de las instituciones científicas más importantes y trascendentes de la América Ilustrada (Flores Clair, 2000). Por otra parte, Delhuyar había llevado a México a numerosos científicos alemanes o a españoles formados en Alemania, con lo que la tradición alemana mantenía un fuerte impacto en toda la actividad minera mexicana. Incluso, von Humboldt llegó a decir que "es en México donde se ha impreso la mejor obra mineralógica que posee la literatura española, los *Elementos de Orictonosia*, escrita por el señor del Río" (Weeks, 1935). Incluso, von Humboldt redactó un capítulo para ser agregado a esta obra, con el título de *Introducción a la Pasigrafía* (Mayer-Abich, 1967).

Entre 1800 y 1801, del Río analizó en su laboratorio un mineral recogido en la mina del Cardonal (Zimapán), en el actual Estado de Hidalgo, al que denominó *zimpanio* o *plomo pardo de Zimpán*. De este mineral extrajo una sustancia a la que llamó *pancromio* (del griego, pan y cromos, muchos colores) por la variedad de colores que presentaban sus compuestos y que después renombró *eritronio* (del griego, eritro, rojo) por el color rojo que adquirirían sus sales alcalinas al exponerlas al calor o tratarlas con ácidos. Del Río mostró estos resultados y sus conclusiones a Alexander von Humboldt, diciéndole que sospechaba haber descubierto un elemento nuevo. Asimismo, le entregó una muestra del mineral para que la llevara consigo a Europa a efectos de efectuar con él nuevos estudios. Posteriormente, y en 1804, al traducir para sus alumnos la tercera edición de las *Tablas Mineralógicas* de Karsten, incluyó en el mismo una referencia a su descubrimiento del *eritronio*. (Uribe Salas, 2006). Asimismo, una breve nota sobre el descubrimiento del *pancromio* ha-

bía sido publicada en el volumen 6 de los *Anales de Ciencias Naturales* de Madrid, en 1803 (Rehder, 2008).

Por otra parte, e independientemente de la muestra de mineral que había entregado a von Humboldt, del Río envió otra muestra al laboratorio del renombrado químico francés Collet-Descotil, en París. Este analizó la misma en 1805 y llegó a la conclusión de que el mineral era un compuesto de cromo (metal descubierto recientemente, por Vauquelin (1797)), razón por la cual del Río dejó de lado definitivamente la idea de haber descubierto un nuevo elemento. Casi simultáneamente, y también en 1805, von Humboldt depositó la muestra que había traído de México en el Museo de Historia Natural de Berlín rotulándola, incorrectamente, como "mineral marrón de plomo, de las vetas de Zimapán, en el norte de México. Cromato de plomo" (Weeks, 1935).

Tenían que pasar casi treinta años hasta que, en 1830, Nils Gabriel Sefström, un químico sueco que daba clases en la Escuela de Minas de Falun, empezó a investigar un polvo negro asociado a minerales de hierro de una mina en Taberg, encontrando que esta sustancia tenía algunas propiedades en común con el cromo y con el uranio pero que era diferente de ellos, percatándose bien pronto que estaba en presencia de un elemento nuevo, y fascinado por las llamativas y vistosas coloraciones de las soluciones de algunos de sus compuestos lo llamó vanadio, por Vanadis la diosa nórdica de la belleza (equivalente a la Freia germánica, esposa de Odin).

Finalmente, en 1831 Friedrich Wöhler (1800-1882), el famoso químico alemán descubridor de la síntesis de la urea, demostró ante la Academia de Ciencias de Suecia que el vanadio de Sefström era idéntico al eritronio de del Río. Y finalmente resulta claro que la especie encontrada y estudiada por del Río era la vanadinita, $Pb_5(VO_4)_3Cl$, un mineral perteneciente al grupo de las apatitas. El mismo Wöhler estuvo a punto de descubrir el elemento dos años antes, analizando una nueva muestra de Zimapán, en la que había encontrado algunos comportamientos extraños y cuyo estudio tuvo que interrumpir a causa de una enfermedad que lo aquejó en ese entonces (Rehder, 2008).

Desde el punto de vista de nuestros conocimientos químicos actuales resulta bastante extraño que las obvias diferencias entre el comportamiento químico del cromo y del eritronio hayan pasado inadvertidas al mismo del Río y a Collet-Descotil, un brillante químico de su época. Por ejemplo, si se agrega hidróxido de amonio a una solución de vanadinita digerida, se obtiene un precipitado blanco de NH_4VO_3 (vanadato de amonio, mientras que el cromato de amonio es amarillo). Cuando este precipitado se calienta se forma el V_2O_5 (pentóxido de divanadio) pardo rojizo, el que tratado con ácidos da soluciones rojas (esencialmente $[H_2V_{10}O_{28}]^{4-}$), mientras que el calentamiento de cromato de amonio genera Cr_2O_3 verde y, en medio ácido soluciones anaranjadas de dicromato. Por otra parte, las soluciones de V(II) son violetas y las de Cr(II) azules mientras que las de V(III) son azules o verdes y las de Cr(III) violetas. Por otra parte, el vanadio(IV) habitualmente existe en forma de complejos azules del catión VO^{2+} (Clark, 1968; Cotton *et al.*, 1999). Finalmente, es interesante comentar que durante muchos años resul-



Figura: Óleo con la figura de Andrés Manuel del Río y medallas en su honor.

tó imposible obtener vanadio metálico puro, debido a que este elemento forma carburos, nitruros y óxidos muy estables con mucha facilidad. Aparentemente, Henry E. Roscoe, fue el primero en obtener una muestra de vanadio metálico, en 1869, reduciendo VCl_2 con hidrógeno. La primera preparación en gran escala, recién fue lograda en 1927 en la Westinghouse Lamp Co., por calentamiento de una mezcla de V_2O_5 con Ca metálico y $CaCl_2$ en un horno eléctrico. Actualmente también se utiliza el proceso de van Arkel/de Boer, por termólisis del VI_2 (Clark, 1968; Cotton et. al., 1999; Rehder, 2008).

Volviendo nuevamente a Andrés Manuel del Río podemos agregar todavía algunos datos interesantes de su vida y actuación. El impacto de su obra académica, tecnológica y científica fue muy importante para el desarrollo de la actividad minera e industrial mexicana y además formó allí a una importante cantidad de brillantes y muy activos discípulos. Asimismo, llegó a ser miembro de varias Sociedades Científicas y Academias de Francia, Alemania, Gran Bretaña y España, que reconocieron el valor y la trascendencia de su obra. Durante un tiempo fue también uno de los editores de la *Gaceta de México*, a la que contribuyó con numerosos artículos, tanto científicos como literarios; fue un miembro muy activo de la American Philosophical Society y llegó a ser Presidente de la Geological Society of Philadelphia (Weeks, 1935).

En 1820 fue electo diputado ante las Cortes españolas, transformándose en un ferviente defensor de la independencia de Nueva España. Cuando, al año siguiente, finalmente se concretó la independencia de México, del Río retornó de inmediato allí. Algunos años después, y en medio de un agitado período de guerra, en 1828 el gobierno mexicano decretó la expulsión de muchos de los españoles residentes en el país. Si bien, y en reconocimiento a su valiosa actividad en favor del país y de su gente, del Río fue excluido de esta medida, él se solidarizó con sus compatriotas y a manera de protesta se exiló voluntariamente en los Estados Unidos, residiendo varios años en Filadelfia. Retornó nuevamente a México en 1834, retomando sus trabajos y estudios, hasta su fallecimiento acaecido en 1849, luego de un serio ataque cerebral (Weeks, 1935).

México reconoció siempre la importancia de su actuación y de su obra. Así, y ya desde 1877 un importante y rico distrito minero en Chihuahua y, por otro lado, el prestigioso Premio Nacional de Química, instituido por la Sociedad Química de México en 1964,

llevan su nombre. Este Premio consiste en una medalla con la efigie de Andrés Manuel del Río y una placa conmemorativa y se otorga anualmente en cuatro áreas (Área Académica: Investigación y Docencia; Área Industrial: Desarrollo de Tecnología y Desarrollo Industrial).

Referencias bibliográficas

- Ambrosius, R.J. (1977). *Clasificación Periódica de los Elementos*, Buenos Aires, Ed. Marymar.
- Baran, E.J. (2009), Alexander von Humboldt en Göttingen, *Anales Acad. Nac. Cs. Ex. Fís. Nat.* 61, 7-12.
- Baran, E.J. (2010). Las ciencias exactas y naturales; en: *En Torno a 1810*, Publicación de las Academias Nacionales en Homenaje al Bicentenario de la Revolución de Mayo, Buenos Aires, Abeledo Perrot, pp. 81-116.
- Clark, R.J.H. (1968). *The Chemistry of Titanium and Vanadium*, Amsterdam, Elsevier.
- Cotton, F.A.; Wilkinson, G.; Murillo, C.A. y Bochmann, M. (1999). *Advanced Inorganic Chemistry*, 6a. Edición, New York, J. Wiley & Sons.
- Flores Clair, E. (2000), *Minería, Educación y Sociedad. El Colegio de Minería, 1774-1821*, México, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Losada, M. y Varela C. (Edit.) (1995). *Actas del II. Centenario de Don Antonio de Ulloa*, Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos, CSIC: Archivo General de Indias.
- Mayer-Abich, A. (1967). *Alexander von Humboldt, Reinbek bei Hamburg*, Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH
- McDonald, D. (1959). The Platinum of New Granada, *Plat. Met. Rev.* 3, 140-145.
- Rehder, D. (2008). *Bioinorganic Vanadium Chemistry*, Chichester, J. Wiley & Sons.
- Román Polo, P. (2000). *Los hermanos Delhuyar, la Bascongada y el wolframio*. Bilbao, Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País.
- Uribe Salas, J.A. (2006). Labor de Andrés Manuel del Río en México: Profesor en el Real Seminario de Minería e innovador tecnológico en minas y ferrerías, *Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y la Ciencia* 58, 231-260.
- Weeks, M.E. (1934). The scientific contributions of the de Elhuyar brothers, *J. Chem. Ed.* 11, 413-419.
- Weeks, M.E. (1935). The scientific contributions of Don Andrés Manuel del Río, *J. Chem. Ed.* 12, 161-166.

6

DE LA ACADEMIA A LA EMPRESA:
WILLIAM PERKIN Y EL COLOR VIOLETA**Dra. Lydia Galagovsky**Profesora de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
E-mail: lyrgala@qo.fcen.uba.ar

La historia de los pigmentos tales como el Púrpura de Tiro comienza en la época pre-química, continúa con la química, e involucra la biología, la sociología y la economía. En este capítulo trataremos de mostrar esta interacción y el rol fundamental que jugó el joven inglés estudiante de química William Perkin.

**Un estudiante curioso
llamado William Perkin**

William Perkin era el hijo de un constructor londinense, quien deseaba que su hijo fuera arquitecto. Sin embargo, en 1851, cuando William tenía 12 años, un amigo le mostró la experiencia de cristalización del hidróxido de aluminio y, de allí, surgió en él el interés por las ciencias (Fox, 1987; Garfield, 2000).

Por ese entonces, la Química, como disciplina científica incipiente estaba imbuida de un espíritu pujante por los recientes descubrimientos de síntesis de moléculas como la urea, ocurridos en Alemania.

A los 15 años, el joven William Perkin se había incorporado al Royal College of Science de Londres. En 1856 William Perkin había cumplido los 18 años y era ayudante de investigación del profesor A. Wilhelm Hofmann, famoso químico alemán que había sido traído por el Príncipe Británico Alberto desde Bonn para ser el primer Director del Royal College. En ese momento -y desde entonces- se tenía gran confianza en la capacidad de un laboratorio de investigación para desarrollar la obtención de nuevos compuestos.

Perkin había escuchado a Hofmann decir en una de sus clases que sería sumamente deseable poder obtener artificialmente *quinina*, ya que ésta era la única droga efectiva contra la malaria y sólo se obtenía de la corteza del árbol cinchona, que crecía en las Indias Occidentales (la utilizaban los indios de América del Sur, de Perú). Así, durante las vacaciones de Semana Santa, Perkin decidió hacer una prueba ambiciosa: preparar artificialmente quinina en el laboratorio.¹

Por esos años se sabía que la quinina estaba compuesta principalmente de elementos como carbono, hidrógeno y nitrógeno, que también se encontraban

en el mineral carbón de hulla (*coal tar*, en inglés). El carbón de hulla era un mineral barato y accesible, extraído de las minas, y cuyo destilado seco era un gas de uso masivo para la iluminación de la ciudad de Londres.

Perkin se propuso utilizar un método popular en ese momento entre los químicos, el llamado "aditivo-substractivo". Ese viejo método empírico se basaba – simplemente – en comparar las fórmulas moleculares del material de partida y del producto final que se deseaba; luego había que "agregar" el número de átomos de carbono que "le faltaban" y luego oxidar para agregar los átomos de oxígeno necesarios. Los compuestos obtenibles del carbón de hulla, como la toluidina y aliltoluidina, no tenían oxígeno; por lo tanto, Perkins decidió primero agregar compuestos para "sumar tres carbonos y cuatro hidrógenos", y luego usaría un poderoso oxidante: el dicromato de potasio, para oxidar (Roberts, 1989).²

El resultado que obtuvo Perkin fue un barro marrón rojizo espantoso y poco prometedor. Pero en vez de darse por vencido, Perkin decidió volver a probar con un material de partida un poco más sencillo: la anilina.³ Lo que Perkin no sabía era que esa anilina estaba contaminada con un poco de toluidina y que eso fue muy importante para lo que pasó después. El resultado que obtuvo fue nuevamente totalmente desalentador: un sólido negro, ¡menos prometedor que el anterior!... Sin embargo, cuando iba a tirar "eso", al intentar lavar el material de vidrio de laboratorio que había utilizado y que debía recuperar para nuevos intentos, notó que ese sólido negro se disolvía en agua y en alcohol, con un color púrpura.

Perkin quedó fascinado con este resultado, puso trozos de tela en esas soluciones y comprobó que las telas se teñían. Probó algunas técnicas experimentales y rápidamente pudo separar los extractos de color púrpura de la mezcla negra. Inmediatamente les envió muestras de esos extractos a trabajadores de la zona que eran expertos en pigmentar telas, para que probaran el extracto. Resultó que estos extractos pintaban muy bien la seda, pero no el algodón.

1. Sintetizar quinina en 1856 era imposible: la fórmula desarrollada de la quinina recién pudo determinarse en 1908, y fue obtenida por métodos ingeniosos recién en 1944 por Woodward y Doering. En esos años de la Segunda Guerra Mundial, EEUU estaba luchando contra Japón en áreas del Pacífico muy infestadas de malaria, por lo que la quinina les era sumamente necesaria. La síntesis industrial de quinina nunca fue práctica.

2. Esta historia estaba ocurriendo algunos años antes de que Augusto Kekulé sugiriera cómo son las moléculas aromáticas y no había acuerdo aún sobre cómo representarlas.

3. El proyecto de Perkin ahora nos parece ingenuo, pues lo único que se sabía eran las fórmulas moleculares: la de la toluidina es C_7H_9N ; de la aliltoluidina $C_{10}H_{13}N$, la de la quinina es $C_{20}H_{24}N_2O_2$, y la de la anilina es C_6H_7N . Perkin trabajó en su casa, durante el feriado de Semana Santa. Probar reacciones siempre puede ser peligroso, y deben emplearse medidas de seguridad, que son actualmente muchos más estrictas que en aquella época... Por ejemplo, en Garfield (2000) se cuenta que el año anterior otro estudiante había provocado en el laboratorio un incendio al tratar de extraer benceno del alquitrán de hulla, y había fallecido por las quemaduras.

Sin embargo, los tintoreros pronto comprobaron que si trataban previamente el algodón con determinados productos de uso frecuente en sus técnicas, también podían teñirlo.⁴

En la Figura 1 se muestran las fórmulas desarrolladas con las que actualmente se representan los compuestos toluidina, anilina, quinina y la de aquel colorante desarrollado por Perkin.⁵

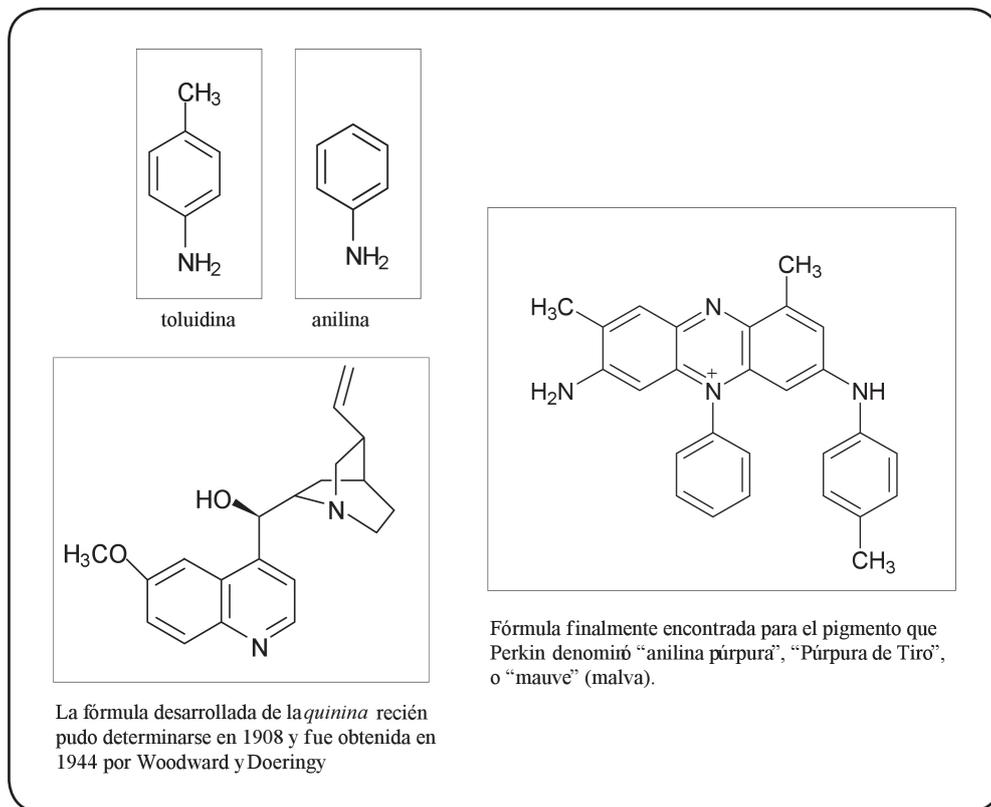


Figura 1: fórmulas químicas de toluidina, anilina, quinina y del pigmento⁶ de color lila cuya síntesis –aún sin sospechar su fórmula química– fue encontrada por el joven William Perkin.

Perkin como joven emprendedor

Perkin, con sus 18 años y muy entusiasmado con el descubrimiento de un potencial colorante violeta para teñir telas, quiso patentar su colorante, construir una fábrica y dedicarse al mundo de los negocios. Se lo comentó a Hofmann, su profesor... quien lo desalentó completamente, diciéndole que se dedicara a la academia... que comenzar con un negocio de pigmentos era “francamente una tontería”.

Por suerte para él, su padre tenía un pequeño capital y mucha confianza en su hijo. Lograr la patente no fue sencillo, pues Perkin era menor de edad. Una consulta con autoridades competentes determinó que “como la patente es un regalo otorgado por la

Corona, una cuestión de edad no debería interferir” (Museo de Ciencias de Manchester, 2006). Con gran esfuerzo, junto a su hermano y su padre, construyeron una fábrica y lograron resolver los innumerables problemas que se producen cuando se cambia de escala un proceso químico. En este desarrollo no faltaron las explosiones; y, por ejemplo, un empleado con una manguera lista para tirar agua estaba siempre parado al lado del reactor, por si los contenidos se ponían a ebullición de manera demasiado peligrosa.

¡El negocio fue un éxito! Perkin llamó a su pigmento “Anilina Púrpura” o “Púrpura de Tiro”. Cuando se puso de moda en Francia, lo rebautizaron como “mauve” (o mauveína).

El éxito del pigmento sintético inauguró la nueva era de síntesis industrial de compuestos. Los pigmentos que se obtenían durante siglos de vegetales o animales, pasaron a ser fabricados por el hombre, lo cual cambió la relación de fuerzas económicas y comerciales, en detrimento de las zonas agrícolas asiáticas especializadas en aquellos cultivos.

El progreso fue tan rápido que sólo 6 años después de que comenzara a funcionar su fábrica, Perkin fue invitado por la Royal

Society para dar conferencias académicas sobre los pigmentos derivados del alquitrán de hulla.

El resto de la vida de Perkin estuvo llena de honores: formó parte de la Royal Society, ganó los premios denominados Medallas Day, Hofmann y Lavoisier, y con gran pompa en 1906 se festejaron los 50 años de su descubrimiento.⁷ En la sección americana de la Sociedad Británica de Química Industrial se estableció un nuevo premio: la Medalla Perkin.

La Figura 2 muestra algunas estampas típicas del Perkin de aquella época.

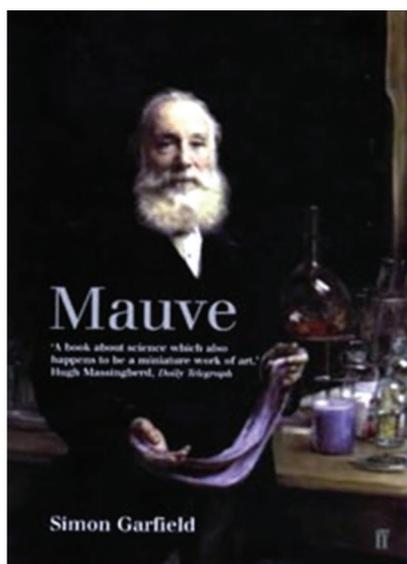
La síntesis de Perkin hizo que el color púrpura estuviera desde entonces al alcance de todo el mundo y, además, era persistente, propiedad muy valorada pues los pigmentos naturales se desvanecían con el tiempo y la acción del sol. Perkin descubrió una molécula nueva que generaba en las telas un color similar al de los pigmentos naturales, pero con un costo con-

4. Los mordientes son generalmente sales de metales que permiten al color unirse a la superficie de la fibra. Su manipulación y descarte requiere cuidados pues son generalmente sustancias perjudiciales para la salud.

5. Recién en 1865 Kekulé planteó que los compuestos denominados aromáticos presentan un ciclo de 6 átomos de carbono con tres insaturaciones, que resultan en originar la propiedad de aromaticidad. Desde entonces, los químicos representamos las moléculas aromáticas con estos ciclos, como se observa en la Figura 1.

6. Actualmente los conceptos de colorante y pigmento se han discriminado, de tal forma que se denomina colorante a las sustancias de color que tienen afinidades por algún sustrato (papel, cuero, fibras textiles, pelo, etc). Los colorantes generalmente se aplican en medio acuoso y pueden requerir un mordiente para su fijación (“tintura”). Pigmentos, por otro lado, son sustancias de color que no tienen en general afinidad para sustratos. Entran en la composición de pinturas, tintas, plásticos, cosméticos. Se presentan como polvos finos que se suspenden en un vehículo para su aplicación sobre superficies. En general en la industria se llama “colorante” a compuestos solubles en el medio, mientras que “pigmentos” a los insolubles.

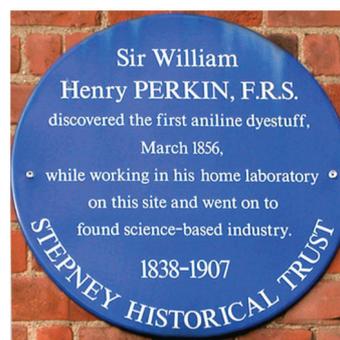
7. Perkin falleció al año siguiente, de apendicitis y neumonía, a los 69 años de edad.



Tapa del libro de Simon Garfield (2000)



Perkins y su mujer en un agasajo, en EE.UU. (1906)



Placa recordatoria:

"Sir William Henry Perkin (1838-1907) descubrió el primer pigmento-colorante de anilina, en marzo de 1856, mientras trabajaba en el laboratorio de su casa, en este sitio y continuó con la fundación de una industria basada en la investigación"

Figura 2: Perkin en los festejos de los 50 años del descubrimiento de la mauveína y placa recordatoria actual en el edificio que fue su casa.

siderablemente menor y con una persistencia considerablemente mayor.

Perkin logró la síntesis industrial de otro pigmento, la alizarina, que daba color rojo. Por centurias el color rojo sólo se lograba a partir de un pigmento obtenido por extracción de las raíces de una planta llamada *madder*. En 1871 Perkin fabricaba 220 toneladas por año de alizarina.

En 1874, a los 36 años, Perkin vendió su fábrica... Era lo suficientemente rico como para dedicarse otra vez a la investigación. Entonces, logró la síntesis de *coumarin*, el primer perfume logrado a partir de alquitrán de hulla. También preparó ácido cinámico (que previamente sólo se obtenía de la canela) por un método que pasó a denominarse desde entonces "la síntesis de Perkin".

En 1882, el químico alemán Adolf von Baeyer, obtuvo la síntesis de otro pigmento: el famoso Índigo (pigmento azul)⁸, aplicando el método de la síntesis de Perkin sobre reactivos apropiados. Pero la síntesis de Baeyer era complicada y nunca pudo pasarse a una escala mayor, hasta que Heinrich Caro --un técnico de la industria alemana BASF (Badische Anilin und Soda Fabrik)--, logró obtenerlo por otro método.

Baeyer también había encontrado la forma de sintetizar alizarina, al mismo tiempo que Perkin, pero en Alemania; por lo que las solicitudes de patente se registraron en Alemania y en Inglaterra simultáneamente. Así, desde 1871 ambas naciones pusieron en el mercado la alizarina sintética que desplazó totalmente al pigmento obtenido de fuentes naturales.

Ah!... ¡El color púrpura!... Oh! La..La!... ¡El color mauve!...

El color púrpura

Hasta el momento del descubrimiento de Perkin el único pigmento púrpura existente era extremadamente caro. Se trataba del Púrpura de Tiro (Tiro actualmente es una ciudad del Líbano) que es un pigmento natural que se extrae de un molusco pequeño del Mar Mediterráneo. Este molusco es sumamente difícil de coleccionar y se requieren miles para obtener 1 gramo del pigmento. Por ser tan caro, si bien se usaba desde el año 1600 antes de Cristo, sólo lo podían adquirir personas poderosas; de aquí la asociación entre el color púrpura y la realeza (emperadores, reyes, obispos, etc.).

En una sepultura de 8000 años a. C. encontrada en Gordion (ciudad de la antigua civilización Frigia, actual Asia Menor, Turquía)⁹ se halló una cobertura de unas 20 capas de tela de lino y de lana junto con trazas de tela coloreada con Púrpura de Tiro y fragmentos de cáñamo y mohair.¹⁰

En el año 1600 a.C. ya se conocía con el nombre de Púrpura de Tiro, Púrpura Real o Púrpura de los Antiguos, un pigmento extraído de la mucosa de la glándula hipobranquial de varias especies de moluscos marinos, en especial del denominado *Murex*, cuya forma se aprecia en la Figura 3. Aunque esos moluscos abundaban en la zona de Tiro (de allí el nombre del colorante), su producción fue una de las primeras "industrias químicas" a gran escala, que se desparamó por todo el mundo entonces conocido. En los

8. El índigo es el colorante de los blue jeans, y se obtenía de las plantas índigo, que se cultivaban en miles de hectáreas en India

9. En esta ciudad se generó la historia del "nudo gordiano". Se dice que Alejandro Magno, debía conquistarla para avanzar hacia el Oriente. El rey de esta ciudad, para evitar un enfrentamiento armado que seguramente derivaría en su destrucción, desafió a Alejandro a desatar un nudo que nadie había podido deshacer. Si Alejandro lo desataba, la ciudad se rendiría sin pelear. Alejandro lo desató.

10. También se han encontrado telas egipcias teñidas con color rojo brillante del año 2200 a.C.; el pigmento se obtenía del insecto vulgarmente llamado cochinilla (*Kermes ilicis*). Métodos de obtención sencillos se pueden ver en Maier y Dos Santos (2008).

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

diferentes lugares se buscaban especies de moluscos que funcionaran en forma similar, pero la característica de producir sustancias de donde puede extraerse el pigmento es sólo característica de las familias de moluscos Muricidae y Thaisidae (Cooksey, 2001). Por ejemplo, en el Mediterráneo europeo se utilizaba el molusco *Thais haemastoma*, cuyo aspecto se muestra también en la Figura 3. El pigmento no existe como tal en los moluscos, sino que se genera químicamente por tratamientos que, evidentemente, los pueblos antiguos desarrollaron como una técnica aplicada, sin conocer los íntimos procesos moleculares que permitiesen obtener el pigmento a partir de sustancias no coloreadas (llamadas ahora *cromógenas*).



Moluscos tipo *Murex*



Moluscos tipo *Thais haemastoma*

Figura 3: tipos de moluscos de donde se extraen pigmentos denominados Púrpura de Tiro.

La técnica de generar el pigmento no nos ha llegado muy claramente y hay versiones diferentes. El historiador romano Plinio recomendaba recoger los moluscos antes de la primavera, y describió el proceso de obtener el pigmento de la siguiente forma (traducción de 1929, en Buell y Girard, 1994) :

“La vena –glándula hipobranquial— mencionada se extrae y se le agrega aproximadamente un sextario (7 libras) por cada 100 libras de material. Debe dejarse en reposo por tres días, cuanto más fresco esté el extracto, mejor será la calidad del pigmento. Luego hay que hervirlo en una vasija de plomo¹¹. Entonces, se colocan 500 libras del extracto seco y se lo diluye con un ánfora –aproximadamente 8 galones— de agua y se lo deja con calentamiento moderado y regular colocando las vasijas en un sitio donde corra el vapor generado en un horno distante. Durante ese tiempo se va quitando la carne que necesariamente está adherida a las venas y, aproximadamente al día 10, se hace un ensayo poniendo en remojo un trozo de vellón de lana bien lavado en el contenido líquido de las vasijas. Se

calienta, entonces el líquido hasta que se alcanza el color esperado. Un color rojo es inferior a aquél que tiene un matiz más negro. La tela embebe el color durante 5 horas y después del cardado se vuelve a sumergir una y otra vez hasta que el color se absorba”.

El proceso era tan complejo, desde la búsqueda de los caracoles, hasta la obtención de unos granitos del pigmento, que en tiempos de los romanos, el costo de la unidad de peso del pigmento Púrpura de Tiro era 15 a 20 veces mayor que el de la unidad de peso del propio oro (Born, 1937).

Se registró un decreto del Emperador Nerón (siglo 1 a.C.) por el cual estableció la prohibición general de utilizar este color, pues el Púrpura de Tiro era exclusivo para su uso personal. La producción del colorante fue un monopolio del estado romano, y los métodos de elaboración así como los trabajadores especializados fueron fuertemente controlados. Por decreto imperial resultaba un delito punible con la muerte fabricar Púrpura de Tiro fuera de los lugares oficiales. La asociación entre el color púrpura y la realeza se estableció definitivamente en aquella época (Buell y Girard, 1994) (ver Figura 4).

Las técnicas de extraer pigmentos de moluscos se intentaron también en América. Juan de Ulloa, en 1744 escribió (Friedlander, 1922): *“En las costas pertenecientes a la provincia de Guayaquil se encuentra el púrpura más delicado. Los animales de los que proviene están encerrados en conchas, del tamaño de una nuez, que viven en las rocas bañados por el mar. Ellos contienen un jugo, o humor que se les saca y de allí se obtiene el púrpura. Con él se pueden teñir algodón, hilo y otros materiales delicados. Se obtienen colores durables, que no pierden el brillo por lavados frecuentes.”*



Figura 4: Prendas de color púrpura para el Emperador Romano y artesanos procediendo a la tintura de telas (Buell y Girard, 1994).

11. En el vocabulario de Plinio, la palabra usada podía ser interpretada como plomo o estaño, según la adjetivación de “blanco” o “negro”, que en este caso no estaba aclarada (Cooskey, 2001).

12. Ahora se sabe que el famoso color azul utilizado por los mayas (México actual) es un pigmento en el cual las moléculas de índigo se insertaban en una matriz de arcilla. En idénticas condiciones, las moléculas de dibromoindigo (Púrpura de Tiro) no pueden interaccionar entre ellas y el pigmento resulta azul en vez de púrpura (José-Yacamán y cols., 1996; Kleber y cols, 1967; Artioli y cols., 1994). Los colores de los pigmentos se redefinen en función de la interacción de sus moléculas con las moléculas de las fibras con las que se unen.

En su relato, Ulloa hace referencia a otro molusco similar que se obtenía en las actuales costas de Costa Rica. Relata también que había varios procedimientos para la extracción, algunos requerían el sacrificio del animal, y otros no¹² (Cooksey, 2001).

Algunos químicos de finales de siglo XIX y principios del siglo XX, encontraron motivante investigar cómo era la fórmula química de estos pigmentos, pero la variación de especies animales, de técnicas para obtener los pigmentos y los diversos grados de pureza del mismo al final del proceso, complicaban el panorama. En 1909 Friedlander resolvió el problema mediante el procesado de 12.000 glándulas de *Murex brandaris* de los que obtuvo 1,4 gramos del pigmento. El proceso fue muy trabajoso, Friedlander señalaba que: *“El procesado requirió disponer las glándulas hipobranquiales sobre papel de filtro (absorbente) y dejar que se desarrollara el color bajo la luz solar; se maceró luego el papel de filtro y se lo calentó durante media hora con ácido sulfúrico diluido (1:2); luego el sólido se filtró y lavó con agua caliente. El residuo fue extraído en un aparato Soxhlet con etanol, para eliminar impurezas y el pigmento se extrajo con benzoato de etilo, del que cristalizaron finas agujitas. Una segunda recristalización del mismo solvente, y otra final con quinolina completaron la purificación”*.

El análisis elemental mostró que el compuesto contenía inesperadamente bromo, y su fórmula elemental resultó ser $C_{16}H_8Br_2N_2O_2$. Con mucho esfuerzo de síntesis química y de aislamiento en diferentes moluscos, se pudo comprobar que el dibromoindigo¹³ (ver fórmulas en la Figura 5) es el componente coloreado mayoritario en los pigmentos de moluscos. Estos datos fueron confirmados en la segunda mitad del siglo XX mediante técnicas analíticas y espectroscópicas modernas (Cooksey, 2001)¹⁴.

En 1992 Wouters y colaboradores confirmaron—luego de emplear técnicas analíticas muy sensibles como la Cromatografía Líquida de Alta Resolución (CLAR)¹⁵—que los pigmentos indigoides son mezclas, que hay un componente más soluble en agua que otros, el 6-bromoindigo, que hay otro componente minoritario, el

6,6'-dibromoindirubina; y que, según el tipo de moluscos, las mezclas podían ser más complejas, encontrándose también índigo e indirubina.¹⁶ Algunas de estas estructuras se muestran en la Figura 5. Condiciones de acidez, de presencia o no de oxígeno y de luz, catalizan interconversiones y el “armado y desarmado” de estas estructuras; de allí lo complejo de separarlas, purificarlas e identificarlas. También, es evidente que en los procesos de extracción de los pigmentos a partir de sus fuentes naturales, el hecho de variar las condiciones de luz, calor, ventilación, naturaleza del material de los recipientes utilizados, etc., implicaba necesariamente modificaciones en las mezclas extraídas y de la composición final de las mezclas, con el consiguiente cambio en la calidad del color obtenido y de la capacidad del pigmento para teñir.

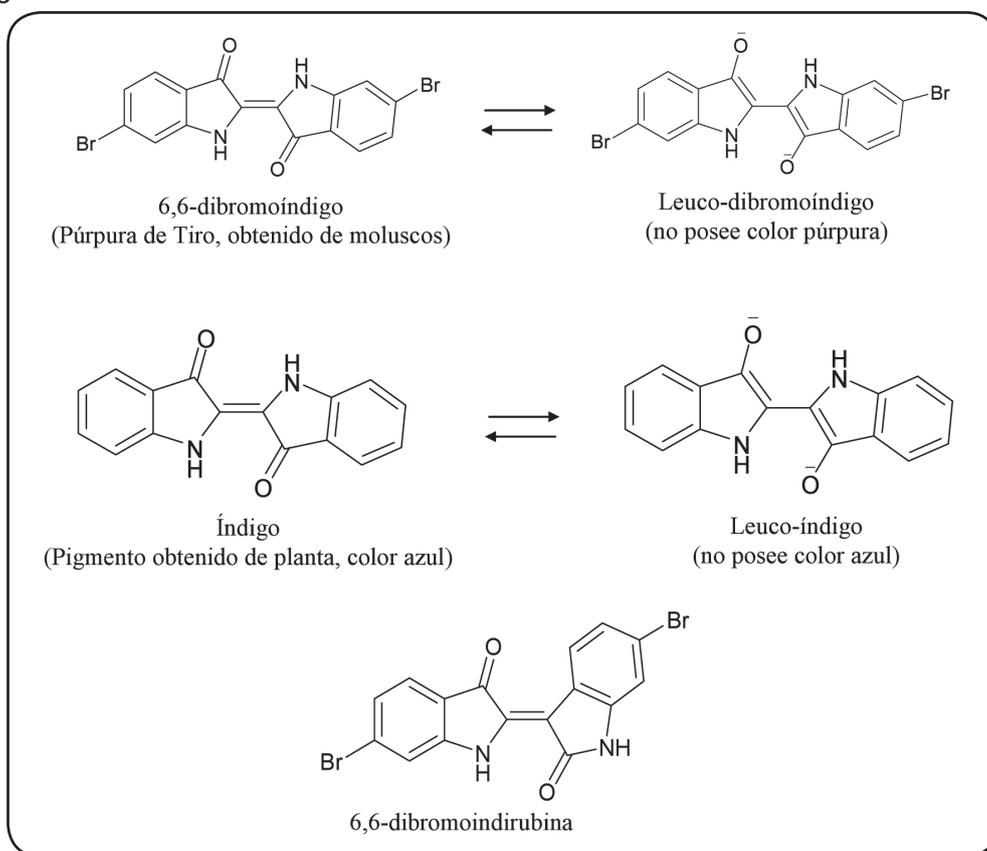


Figura 5: fórmulas químicas del pigmento natural Tyran Purple obtenido de moluscos; del compuesto índigo, obtenido de plantas; sus respectivas estructuras relacionadas (formas leuco) que han perdido el color, y un isómero estructural del Púrpura de Tiro (6,6 dibromoindirubina), que tampoco posee el color púrpura.

Recuperando nuestro hilo histórico, debemos decir que con la decadencia del Imperio Romano también declinó la fabricación y uso de este pigmento, cuya producción cesó completamente con la caída de Constantinopla (año 1543). Luego, se buscó obtener pigmentos vegetales que requirieran procedimien-

13. En solución el dibromoindigo tiene color azul, pero el color que da el pigmento sobre la tela es púrpura.

14. Por ejemplo, ahora se ha confirmado que la unión entre los indoles es trans y que las interacciones de van der Waals entre los átomos de bromo son las responsables de modificar al color entre el índigo y el dibromoindigo.

15. High Pressure Liquid Chromatography (HPLC), en inglés.

16. La estructura del cromóforo precursor y propiedades de los pigmentos, pueden encontrarse en el artículo de Cooksey (2001) (<http://www.mdpi.com/1420-3049/6/9>)

tos sencillos y más económicos, como el púrpura de liquen, el rojo de *madder*¹⁷ (pigmento alizarina) y el azul del índigo. Miles y miles de hectáreas en Asia, especialmente en India, se destinaron a la producción de estos y otros vegetales fuentes para la extracción de pigmentos. Hubo numerosas empresas dedicadas a la extracción de esos pigmentos, a la tintura de telas, y a sus comercializaciones¹⁸.

...Hasta mediados del siglo XIX en que el joven químico Perkin encontró por serendipidad¹⁹ (Roberts, 1989) una sustancia que producía un color "lila" que permitía teñir telas, ese color estaba asociado a la nobleza²⁰. Por eso, en un principio, Perkin lo llamó "Púrpura de Tiro", pero, en realidad, su fórmula química es muy diferente a la del 6,6-dibromoíndigo (comparar en Figuras 1 y 5). Hemos dicho que unos años después von Baeyer sintetizó la alizarina, pero, en este caso, las fórmulas del compuesto sintético y del obtenido de la planta *madder* sí eran la misma.

El color "mauve"

Hasta el descubrimiento de Perkin el color lila o violeta era muy poco frecuente en la ropa de la gente. Apenas alguna pluma, un toque de adorno exótico para la clase noble. Teñir con estos colores era costosísimo, pues como se dijo, las tinturas eran obtenidas muy trabajosamente de moluscos. Estos tonos, además de su costo, eran fácilmente decolorables. En esos tiempos se decía que "si una mujer se ponía un sombrero con una cinta violeta a la mañana, era muy probable que la tuviera de color rojo para la tarde" (Roberts, 1989). El mauve no es un color único²¹, pero se designan bajo ese nombre genérico una variedad dentro de la misma gama. En la Figura 6 se observan flores con color "mauve" y la flor de la planta malva, de donde se tomó el nombre "mauve", en francés.

En 1856 la pequeña fábrica Perkin e Hijos era la única que podía proveer a los teñidores con pequeñas cantidades del pigmento para teñir telas con un color lila persistente, que no se desvanecía con los lavados o con el sol.

Algunos hechos sociales favorecieron la popularización del color lila, y, por lo tanto, la demanda del pigmento creció:

En enero de 1858 la Reina Victoria de Inglaterra utilizó telas teñidas de color Anilina Púrpura para la vestimenta que utilizó para la boda de su hija (Museo de Ciencias de Manchester, 2006). Nuevamente, la Reina Victoria selló el éxito y le dio su aprobación final al aparecer con un vestido de seda teñido con mauveína en la Exhibición Real de 1862.

Perkin vendía cada vez más a la industria textil, pues el color mauve era un éxito absoluto. Hacia finales de 1867 ocurrió otro hecho importante para la

empresa Perkin: Eugenia, la emperatriz francesa esposa de Napoleón III, decidió usar el color "mauve" en su vestimenta.²² Inmediatamente éste se convirtió en el color de moda en Francia, deseado y demandado por los modistos y las damas importantes.

Perkin que había denominado inicialmente a su pigmento "Tyran Purple" o "Anilin Purple", lo renombró en francés "mauve", o mauveína. En la década de 1860 relucía por doquier el color de Perkin en las calles de Londres y París, que eran las capitales de la moda europea.

Interacciones académicas, industriales, empresarias, políticas y sociales

Por sus implicancias, la historia de Perkin y el color púrpura resulta una matriz muy interesante donde se entrecruzan componentes de disciplinas como química, biología, historia, economía, sociología y política. Veamos...

Con la ayuda económica de su padre, el joven estudiante de química William Perkin pudo construir una pequeña fábrica que abastecía del pigmento anilina púrpura, que él había patentado. La fábrica estaba a orillas del Gran Canal de Unión en Greenford, al oeste de Londres.

El éxito de Perkin despertó el interés de otros químicos y pronto, a partir de anilina se obtuvieron pigmentos de diversos colores; llamados anilina roja, o azul, o violeta. El mismo Perkin produjo dos nuevos colores: el *Violeta Britania* y el *Verde de Perkin*.²³ Perkin produjo también aromas sintéticos, como el de rosa, de violeta, de jazmín y de musk.

Los empresarios pronto se dieron cuenta de que el color era un factor de novedad que atraía fuertemente a los consumidores. Entonces, muchas compañías químicas se dedicaron a investigar sobre cómo mejorar tanto los procedimientos para las síntesis de los pigmentos patentados, como el desarrollo de nuevos compuestos con propiedades de colorantes. Así, científicos e ingenieros encontraron en este rubro la primera sólida interacción entre ciencia y tecnología. Desde entonces, floreció la idea de favorecer la investigación pionera, o de frontera, conjuntamente con el registro de patentes de los nuevos productos que tuvieran actividad industrial novedosa, aplicable y comercializable. Esta concepción se aplicó a todas las áreas donde la obtención de nuevos materiales y compuestos brindaran progreso a la civilización.

Un ejemplo de esta competencia se dio claramente para el caso de la alizarina. Simultáneamente la síntesis fue lograda por Perkin en Londres y por von Baeyer en Alemania. La patente que presentó BASF en Londres llegó sólo un día antes que la presentación de

17. <http://threadsintyme.tripod.com/id26.htm>

18. Para finales del siglo XIX los químicos de la empresa BASF estaban abocados a sintetizar nuevos pigmentos. Von Baeyer había encontrado la fórmula del indigo natural y lo había sintetizado, pero el procedimiento no resultaba sencillo de realizar a gran escala. Sin embargo, en otro intento de obtenerlo a partir de naftaleno, un químico llamado Supper tuvo un accidente: se le rompió el termómetro y cayó mercurio en el balón de síntesis. El resultado fue la obtención sencilla de anhídrido ftálico y, desde este compuesto, la obtención de indigo pudo realizarse a gran escala. Desde 1897 prácticamente todo el indigo comercializado fue sintético.

19. Serendipidad es el descubrimiento accidental, de algo que no se estaba buscando.

20. Recordemos que en la Antigüedad, el pigmento Púrpura de Tiro podía generar un color variable, según la técnica extractiva, y, además, se decoloraba. Por lo tanto, cualquier color en la gama del lila al púrpura era símbolo de nobleza.

21. El pigmento mauveína tiñe telas, pero no es el utilizado para otro tipo de impresiones.

22. Se decía que hacían juego con el color de sus ojos

23. Se cuenta que las aguas del Gran Canal se tornaban de diferentes colores, según el pigmento que estuviera haciéndose en la fábrica de Perkin cada semana.

*Hydrangea**Abutilon Sutense**Agapanthus*

La palabra francesa para la flor de malva, inspiró el nombre del color mauve

*Hibiscus*

Figura 6: Diferentes flores naturales con color "mauve". Foto de la flor de malva (tomada de Travis, 2001).

Perkin, por lo que llegaron a un acuerdo: se dividieron el mercado, Perkin vendería alizarina a todo el Reino Unido, y BASF en el resto del mundo. Perkin hizo buenos negocios con la alizarina, pero a los pocos años no pudo competir con BASF, quien pronto dominó el mercado mundial. En 1874 Perkin vendió su fábrica, que podría decirse que en estos días sería parte de la actual empresa química ICI (Imperial Chemical Industry).

El pigmento natural índigo se extrae de la planta *Indigofera tinctoria* y, como dijimos, era el utilizado desde la remota antigüedad. Baeyer, de la empresa BASF la obtuvo a escala pequeña 1880, pero recién en 1897 pudo obtenerse por una ruta sintética aplicable a gran escala. En esos momentos había en la India 3000 pequeñas fábricas que extraían y obtenían el índigo natural (además de miles de acres de plantaciones). Obviamente la industria manufacturera india fue cada vez peor, hasta que a mediados del siglo XX desapareció definitivamente. En esos 17 años de investigación para poder aumentar la escala de la síntesis, la empresa BASF había invertido más dinero del que costaba la propia empresa... Pero en dos décadas, su índigo dominó el mercado.

Como dijimos, Inglaterra fue la cuna de la industria de los pigmentos sintéticos desde que Perkin descubrió cómo fabricar mauveína en 1856. Sin embargo, no fue el Reino Unido sino Alemania quien lideró el mercado mundial hacia fines del siglo XIX. Una razón por la que se puede explicar el éxito de Alemania para ganar la delantera y permanecer en ese liderazgo tan-

tos años era la existencia de escuelas técnicas subsidiadas por el Estado. En esas escuelas técnicas florecía el inicio de talentos científicos, base de recursos humanos destacados sobre la cual la innovación industrial se nutría. Los estudiantes más aventajados eran apoyados para continuar sus estudios en las universidades, algunas de las cuales estaban a la vanguardia de los descubrimientos en el área de química y estrechamente ligadas a la industria.

Muchas compañías alemanas como BASF, Bayer, AGFA (Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation), Geigy y Hoechst, entre otras, florecieron en asociación con las universidades, realizando proyectos conjuntos. En un trabajo competitivo, cada empresa usaba la investigación sistemática producida en las universidades y se había generado una vorágine por la síntesis de nuevos compuestos. Esas empresas pronto dominaron el mercado mundial de pigmentos y, para el año 1914, eran responsables de producir el 75% de la demanda mundial de pigmentos.²⁴

Actualmente hay más de 700 pigmentos sintéticos de colores diferentes.

Muchas de estas industrias diversificaron la cartera de sus productos, desde los pigmentos hacia los productos farmacéuticos, en parte, porque los pigmentos se utilizaron al principio, también en investigaciones biomédicas; y, por otro lado, porque los pigmentos resultaron los primeros modelos de drogas sintéticas que lograban atacar sitios de infección en el cuerpo. Por lo tanto, a partir de esos modelos de trabajo comenzaron a sintetizarse otros tipos de compuestos, que también serían probados como potenciales fárma-

24. Tomado de la web: Making the Modern World. Stories about the lives we've made. http://www.makingthemodernworld.org.uk/stories/the_second_industrial_revolution/05.ST.01/?scene=2&tv=true

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

cos. Por ejemplo, el Salvarsan de Paul Ehrlich (1909)²⁵ fue un compuesto arsenical análogo a un pigmento de los del tipo “diazóico” (azo, significa nitrógeno; diazo son dos nitrógenos consecutivos enlazados), y también surgió así la primera sulfamida²⁶, el maravilloso Prontosyl, que era un producto metabólico de un pigmento diazóico²⁷. Otra derivación interesante de los pigmentos sintéticos fue su utilización para teñir los invisibles microbios que había descubierto Luis Pasteur en 1864. Utilizándolos, el Dr. Robert Koch pudo identificar los gérmenes que producen antrax, tuberculosis y cólera.

El aspecto lamentable asociado a la historia de los pigmentos diazóicos tiene dos vertientes: por un lado, la producción de pigmentos diazóicos resultó ser una industria contaminante y para mediados de los ‘80 (del siglo XX) cesó la producción industrial en Europa y, especialmente, en los EEUU. Estas industrias se trasladaron a países en desarrollo cuyas legislaciones ambientales no eran tan estrictas. El otro aspecto es que para 1925 algunas compañías alemanas fusionaron sus intereses creando la “I. G. Farbenindustrie” (*farben* significa colorear), un nombre que enfatizaba la conexión histórica con sus fundadores. Esta empresa proveyó a Hitler con una miríada de productos provenientes de la “química del carbono”, en particular, combustible sintético y un caucho sintético, Goma Buna (Buna rubber)²⁸. Estas industrias se radicaron en una zona específica, de tal forma de utilizar el trabajo esclavo de los prisioneros de los campos de concentración del complejo de Auschwitz (Garfield, 2000).²⁹

Simon Bennett (2007) sostiene que el descubrimiento accidental de Perkin marcó el insoluble lazo entre los pigmentos y la energía. Según este autor, la relación nace por el hecho de que el alquitrán de hulla – material de partida para las síntesis de Perkin-- era un material que se usaba fundamentalmente para lograr la iluminación a gas de la ciudad de Londres. Señala Bennett que sin la producción de gas por destilado del alquitrán de hulla no hubiera habido anilina, y sin anilina no habría habido pigmentos.

La relación entre la química y la energía es obvia: partiendo de la madera, carbón, petróleo (compuestos químicos) se obtuvo y obtiene energía, y también materiales para la síntesis de nuevos compuestos sintéticos. Por ejemplo, la madera también fue fuente importante para la obtención de metanol, ácido acético y trementina, con la cual se realizaron los famosos sacos impermeables de Charles McIntosh. El petróleo sigue siendo fuente de innumerables materias primas para la obtención de una inmensa cantidad de nuevos compuestos, como polímeros, medicamentos, perfumes, etc.

A modo de cierre, podemos decir que la industria de los pigmentos, exitosa desde sus comienzos, utili-

zaba métodos de síntesis con numerosos subproductos que se descartaban a las fuentes de agua corriente, lo que ocasionó daños ecológicos. Cuando se tomó conciencia de esta situación se planteó –y está en desarrollo– la necesidad de optimizar los métodos sintéticos, los reactivos utilizados y/o el tratamiento de efluentes de las industrias de colorantes.

Como hemos señalado, los cambios de las fuentes de energía, desde el carbón, pasando por el petróleo, y la electricidad (y próximamente el hidrógeno y las celdas de combustión, etc.) fueron y son una permanente fuente de inspiración para los químicos, tanto considerando a estos recursos como materias primas, o como herramientas para la obtención de otros compuestos.

Desde 2004 –señala Bennett– el interés en las celdas fotovoltaicas, los biocombustibles y el hidrógeno como combustible ha aumentado, mostrando que, renovadamente, estos temas ligados a la energía están en las agendas de los químicos.

Somos los químicos quienes nos enfrentamos continuamente al desafío de generar nuevas moléculas y de utilizar racional y ecológicamente las fuentes de productos naturales, renovables y no renovables, para continuar el desarrollo de las sociedades humanas, en un entorno de cuidado de la naturaleza y de resguardo de las provisiones necesarias para el desarrollo sustentable de las próximas generaciones.

Así, mediante este relato sobre el desarrollo de la secuencia alquitrán de hulla → colorantes → medicamentos, se presenta en este capítulo algunos de los tantos papeles que jugaron la Química, los procesos químicos y los expertos químicos en la evolución de la civilización occidental desde finales del siglo XIX hasta nuestros días.

25. *Salvarsán* fue el nombre comercial del primer fármaco efectivo contra la sífilis. Ehrlich ganó el Premio Nobel en 1908.

26. Las sulfonamidas fueron las primeras drogas eficaces empleadas para el tratamiento sistémico de infecciones bacterianas en el ser humano.

27. Los experimentos con Prontosil comenzaron en 1932 en los laboratorios de la Bayer, para entonces componente de la enorme empresa química alemana IG Farbenindustrie. Prontosil tenía una fuerte acción de protección contra las infecciones causadas por estreptococos, incluidas las infecciones de la sangre, fiebre puerperal y la erisipela. Llamativamente, no tenía efecto en los ensayos *in vitro*, su acción antibacteriana se manifestaba sólo en animales vivos. Estudios posteriores detectaron que el principio activo era el grupo sulfanilamida y no la parte similar al pigmento. Esto se derivó en investigaciones que condujeron a los antibióticos conocidos como “sulfas”.

28. El nombre BUNA provenía de reunir el concepto de butadieno, el monómero con el que se preparaba ese caucho sintético, y “Na”, símbolo químico del elemento Sodio.

29. Elie Weisel autor del libro “Night”, ganador del Premio Pulitzer fue uno de aquellos jóvenes internados en el campo de concentración que trabajaba en la Farbenindustrie. Él relata que la expectativa de vida para los prisioneros trabajadores del “Buna Werke” era de tres meses.

Referencias bibliográficas

- Artioli, G.; Galli, E.; Burattini, E.; Cappuccio, G.; Simeoni, S. Palygorskite (1994). Characterization by High-Resolution Synchrotron-Radiation Powder Diffraction and Computer Modeling, *Neues Jahrb. Mineral., Monatsh.* 217-219.
- Bennett, S. J. (2007) Chemistry's special relationship. *Chemistry World.* 10 (4) p 66-69.
- Born, W. (1937). Purple in Classical Antiquity, *Ciba Rev.*, 1, 111-118.
- Buell, P. and Girard, J. (1994). Chemistry. An environmental Perspective. Prentice Hall. N. J., pp 281-283.
- Cooksey, C. J (2001). Tyrian Purple: 6,6'-Dibromoindigo and Related Compounds. *Molecules* 6, 736-769
- Friedlander, P. (1909). Über den Farbstoff des antiken Purpurs aus murex brandaris, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 42, 765-770.
- Fox, M. R. (1987). *Dye-Makers of Great Britain, 1856-1976: A History of Chemists, Companies, Products and Changes.* Manchester, UK: ICI. (Esp. pp. 94-101)
- Friedlander, P. (1922). Über die Farbstoffe aus Purpura aperta and Purpura lapillus, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 55, 1656-1658.
- Garfield, S. (2000) *Mauve: How One Man Invented a Colour that Changed the World.* London: Faber & Faber.
- José-Yacamán, M.; Rendón, L.; Arenas, J.; Puche, M.C.S. (1996). Maya Blue Paint: An Ancient Nanostructured Material, *Science*, 273, 223-225.
- Kleber, R.; Masschelein-Kleiner, L.; Thissen, J. (1967). Étude et Identification du 'Bleu Maya', *Stud. Conserv.*, 12, 41-56.
- Maier, M. y Dos Santos, M. (2008). Química y color en los textiles. Colección Talleres de Experimentos, Dirección de Orientación Vocacional, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Museo de Ciencias e Industria de Manchester (2006). Sir William Henry Perkin (1838-1907): the Discovery of Aniline Purple. (<http://www.mosi.org.uk/media/33871452/sirwilliamhenryperkin.pdf>)
- Pliny the Elder. (1929) *Historia Naturalis*, book IX, sections 60-65, chs. XXXVI-XLI traducido por Bailey.
- Roberts, R M. (1989). Serendipity. Accidental discoveries in science. Wiley. NY
- Travis, A. (2001). The Color Purplish. Book Review. *American Scientist*, Julio-Agosto. <http://www.americanscientist.org/bookshelf/pub/the-color-purplish>. (Photo: Bill Broadhurst; Frank Lane Picture Agency/Corbis)
- Wouters, J.; Verhecken, A. (1992). Composition of Murex dyes, *J. Soc. Dyers Colour*, 108, 404.

JUGANDO AL "SOLITARIO" CON LOS NAIPES DEL CREADOR. MENDELEEV Y LA TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

Dr. Teodoro S. Kaufman

Instituto de Química Rosario (IQUIR, CONICET-UNR) y
Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario
Suipacha 531, 2000 Rosario, República Argentina.
Email: kaufman@iquir-conicet.gov.ar

"En la tarea de preparar un libro de texto denominado Principios de Química, quise establecer una especie de sistema de cuerpos simples en el cual su distribución no estuviera guiada por el azar, como puede pensarse instintivamente, sino por una especie de principio definido y exacto... El propósito de este trabajo será alcanzado por completo si logro captar la atención de investigadores hacia las mismas relaciones en los pesos atómicos de elementos no similares que, a mi mejor saber y entender, han sido descuidadas hasta ahora de manera casi completa... en problemas de esta naturaleza está la solución a una de las cuestiones más importantes de nuestra ciencia".

D. I. Mendeleev. *La relación entre las propiedades y los pesos atómicos de los elementos* (1869)

"Debe haber algún lazo de unión entre la masa y los elementos químicos y la forma en que la masa de una sustancia se expresa.... En el átomo, debe existir y ser descubierta una dependencia funcional entre las propiedades individuales de los elementos y sus pesos atómicos. Pero desde hongos hasta leyes científicas, nada puede ser descubierto sin observación y experimentación. Así es que comencé a mirar y escribí los elementos con sus pesos atómicos y sus propiedades típicas sobre cartas separadas y esto rápidamente me convenció de que las propiedades de los elementos presentan una dependencia periódica de sus pesos atómicos".

D. I. Mendeleev. *Principios de Química* (edición de 1905)

La "Tabla Periódica de los Elementos" de Mendeleev-Moseley, que codifica una gran cantidad de información referida a los elementos nos distingue, como químicos, de otras profesiones.¹ La misma, que viste las paredes de aulas, bibliotecas y laboratorios donde se produce, almacena o transmite conocimiento químico y se encuentra asociada a los más variados ámbitos y elementos relacionados con la química, es prueba de nuestra inteligencia y capacidad como civilización.

Frecuentemente se ha especulado que la Tabla Periódica de los Elementos podría constituir la base de la comunicación entre humanos y extraterrestres si alguna vez llega a producirse ese encuentro. Asumiendo que las propiedades de los elementos son las mismas en todo el universo, resulta inevitable pensar que cualquier civilización tecnológicamente avanzada

capaz de organizar viajes espaciales tendrá su propia Tabla Periódica, que invariablemente deberá contener la misma información que la nuestra.²

Dimitri Ivanovich Mendeleev, prodigioso y polifacético científico ruso de quien hace poco se cumplieran 100 años de su fallecimiento, es considerado en todo el mundo como el padre de la Tabla Periódica de los Elementos, el hombre que por primera vez entendió cabalmente el sistema periódico y formuló reglas claras y simples que permitieron clasificar de una manera lógica y sencilla el contenido de la baraja química, los naipes que representan a los elementos, ladrillos constitutivos de todo lo que existe en el universo.

El concepto de elemento era muy distinto en la antigüedad y los filósofos griegos aceptaban la idea de un elemento primigenio.³ Tales de Mileto (~640-546 AC) infirió que si algunas sustancias podían convertirse en otras, probablemente todos los materiales conocidos serían meras variaciones de una materia básica, o *elemento*. Puesto que lo más abundante en la naturaleza es el agua, Tales consideró a éste el *elemento* a partir del cual estaban constituidas todas las cosas. En cambio, Anaxímenes de Mileto (~550-480 AC) consideraba que el aire era el elemento primigenio, ya que podía comprimirse formando sustancias más densas como el agua o la tierra. Heráclito de Efeso (~540-475 AC) creía que era el fuego, símbolo del cambio. Por su parte, Empédocles de Agrigento (~490-430 AC) compartía la idea de sus predecesores, pero consideraba que en lugar de uno eran cuatro los elementos precursores: el agua de Tales, el aire de Anaxímenes, el fuego de Heráclito y la tierra, añadida por él mismo. Actualmente, podríamos asemejar estos *elementos* a los estados de la materia sólido, líquido, gas y plasma.

Tal como fuera enunciado por la IUPAC en su definición minimalista, un elemento químico es una sustancia química pura cuyos átomos presentan el mismo número de protones en su núcleo.⁴ En este sentido, la humanidad conoció nueve elementos químicos desde tiempos inmemoriales, incluyendo el oro, la plata y el cobre, al igual que el hierro y el estaño (el que aleado con cobre da lugar al bronce), mercurio, plomo, azufre y carbón, con los que se fabricaron desde adornos hasta utensilios, herramientas y armas.⁵ Los primeros dos elementos se encuentran al estado nativo y son relativamente fáciles de extraer, mientras que la conquista tecnológica de los tres siguientes se han utilizado para demarcar hitos en la evolución histórica de la humanidad, como el paso de la edad de piedra a la del cobre (5000-3000 AC), del bronce (3000-1500 AC) y luego a la

del hierro (1500-500 AC). El conocimiento del manejo de estos metales otorgó enorme superioridad bélica a las primeras civilizaciones que los poseyeron. Durante la Edad Media se descubrieron otros tres elementos, arsénico, antimonio y bismuto, los que posiblemente deben haber incubado en algunos pensadores la cuestión de cuántos son realmente los elementos?⁶

La primera persona identificada como descubridor de un nuevo elemento fue Hennig Brandt (~1620-~1692).⁷ Este comerciante de Hamburgo conocido como "el último alquimista", trataba de descubrir la piedra filosofal, un objeto mitológico cuya propiedad consistía en transformar los metales menos valiosos en oro. Brandt experimentó destilando orina hasta dar en 1669 con una sustancia sólida blanca y luminiscente, a la que llamó fósforo (del griego φως= luz, φορεω= que porta). Su hallazgo se mantuvo en secreto hasta que en 1680 el irlandés Robert Boyle (1627-1691), quien por primera vez utilizara el término "químico" en lugar de "alquimista" en su libro de 1661 *El químico escéptico*, lo redescubrió y lo hizo público.⁸

Antes que Brandt, en 1546 Teophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1591), mejor conocido como "Paracelso", obtuvo zinc durante su búsqueda de la piedra filosofal. Con frecuencia se le considera su descubridor, pero puro o en forma de aleación con el cobre (latón), el zinc ya tenía un milenio de historia de uso en joyería y manufactura de monedas en la India y en China.⁹ Actualmente se considera que Paracelso fue el primer europeo en reconocer el zinc como un nuevo metal.

cuando el sueco Jöns-Jacob Berzelius propuso para los mismos una nomenclatura de una o dos letras similar a la actual.¹⁴ Para esa época, y teniendo en cuenta la cantidad de elementos conocidos, que en 1830 llegó a ser de 55, los científicos comenzaron a reconocer algunos patrones en su reactividad y otras propiedades, comenzando a pergeñar formas de clasificarlos, como parte del avance de la disciplina y con el objeto de entender mejor su comportamiento.

¿Quién fue Dimitri I. Mendeleev? Una breve biografía

Dimitri Ivanovich Mendeleev, el menor de los 17 hijos del acomodado matrimonio de Maria Dimitrievna Korniliev e Ivan Pavolovitch Mendeleev, quien dedicaría su vida a la investigación y a la educación haciendo de ésta última su responsabilidad especial, nació en Tobolsk (Siberia, unos 800 Km al este de los Urales) el 7 de febrero de 1834.¹⁵ Los Korniliev, que introdujeron la manufactura de vidrio y la imprenta e imprimieron el primer diario en la inhóspita Siberia, se habían instalado en la zona a comienzos del siglo XVII, convirtiéndose a inicios del siguiente siglo en una prominente familia siberiana. Brillante, bonita y autodidacta, Maria era la persona excepcional de la familia.

Por su parte, los Mendeleev provenían de la occidental provincia de Tver. Iván era el Director de la escuela secundaria local (Gymnasium) donde también ejercía como Profesor de lengua rusa. Hijo de Pavel

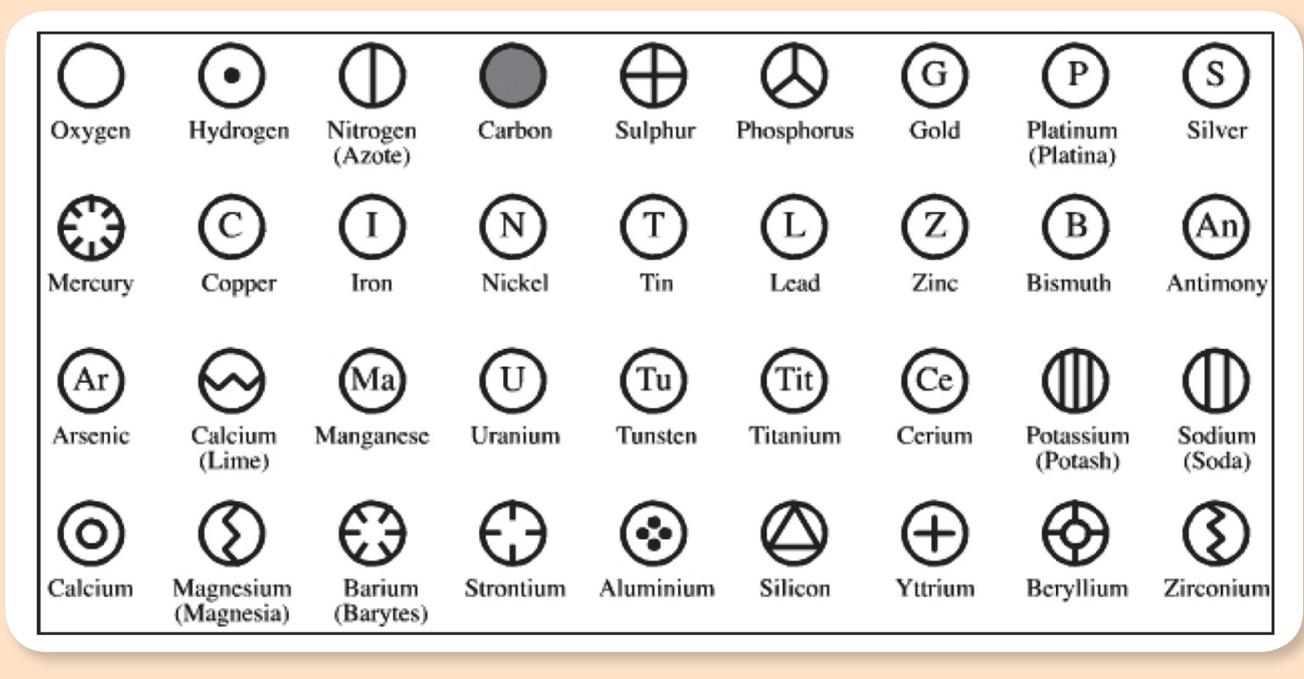


Figura 1: Nomenclatura de los 36 elementos conocidos hacia principios del siglo XIX, según John Dalton (1808).

En 1789, el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier describió 33 elementos en su *Traité élémentaire de chimie*;¹⁰ hacia 1808, John Dalton, creador del concepto de pesos atómicos¹¹ en 1803,¹² propuso un sistema de nomenclatura pictográfico para 36 elementos (Figura 1),¹³ los cuales en 1814 ya sumaban 47

Mikhailovich Sokolov, había recibido el apellido Mendeleev mientras asistía al Seminario Ortodoxo de Tver, en referencia a un vecino del mismo apellido que intercambiaba caballos y otros bienes, debido a su afición a intercambiar pequeñas piedras de un popular juego (del ruso mjenu djelatj= hacer intercambio).^{16,17}

El año de nacimiento de Dimitri, Ivan quedó ciego de cataratas; en 1847, a pesar de haber sido operado en Moscú con éxito parcial debió jubilarse. Ello obligó a Maria a afrontar en soledad la crianza de su numerosa prole, dada la precariedad de la humilde e inadecuada pensión que recibía. Entonces, los Mendeleev se trasladaron 30 Km al vecino pueblo de Aremziansk, donde Maria se propuso reactivar la cristalería de su hermano, la misma que fundara su abuelo. Apasionada por la educación, Maria construyó una iglesia en el pueblo y se dedicó personalmente a instruir a los obreros de su fábrica.

Al inicio de su adolescencia, Dimitri concurrió al Gymnasium de Tobolsk donde su falta de interés por latín, griego y teología, bases de la educación clásica de aquel entonces, hicieron de él un estudiante mediocre. Sin embargo, pronto resultó evidente que el joven tenía una capacidad excepcional para comprender asuntos complejos, especialmente en matemáticas y física. Consciente de ello y merced al trabajo gerencial que había obtenido en la cristalería, Maria comenzó a ahorrar con miras a darle a su hijo la educación universitaria que ella no había tenido.

Esta etapa de la vida de Mendeleev estuvo marcadamente influenciada no solamente por su madre, sino también por los químicos de la cristalería y por Timofei, su soplador de vidrio. También influyó Nicole Bessargin, el marido de su hermana Olga. Bessargin, uno de los más de cien desterrados a Siberia por el Zar Nicolás I por integrar el fracasado movimiento insurgente de Diciembre de 1825, fue quien inculcó al joven Mendeleev sus ideas liberales transmitiéndole además interés por la ciencia.

En 1848 tuvo lugar una doble tragedia en la vida de los Mendeleev. Una noche de invierno la empresa familiar de vidrio quedó consumida hasta sus cimientos por un incendio e Ivan falleció, víctima de tuberculosis. Sin capacidad para reconstruir la fábrica, con los ahorros para la educación de Dimitri como único patrimonio y con la firme decisión de educar a su hijo, Maria decidió que la familia debía abandonar Aremziansk. En 1849, luego de que el joven se graduara en Tobolsk, Maria, Dimitri y su hermana mayor Elizabeth emprendieron rumbo a Moscú, un viaje de 1600 Km.

A pesar de su importante retraso cultural a mediados del siglo XIX Rusia tenía uno de los mejores sistemas educativos del continente, con buenas universidades y un programa de becas financiadas por el estado, destinadas a los jóvenes más promisorios. Ya en la capital rusa y en medio de un convulsionado clima social, Maria procuró obtener una beca para su hijo como única alternativa para que completara su educación. Pero las aspiraciones de Dimitri se vieron frustradas, ya que el sistema universitario ruso funcionaba con pequeños cupos de admisión para las provincias y Siberia aún no había logrado obtener el suyo; por provenir de Tobolsk, a Mendeleev le hubiera correspondido asistir a la Universidad de Kazan. Imposibilitado de solicitar su ingreso a la Universidad, tras el crudo invierno y a instancias de Maria la familia se trasladó 650 Km a San Petersburgo, una floreciente ciudad sobre el Mar Báltico, considerada entonces la ventana de Rusia hacia Europa.

Las puertas de la Universidad de San Petersburgo se

cerraron para Dimitri por las mismas razones que en Moscú. Sin embargo, no sin mediar importantes sacrificios de su madre y un poco de persuasión, en 1850 Dimitri pudo dar sus exámenes en el Instituto Central de Pedagogía, gracias a los buenos oficios de Ivan Pletnov, Director del Instituto y un viejo amigo de Iván Mendeleev. Así, logró ser admitido en el programa de entrenamiento en ciencia del Instituto a los 16 y con una beca completa. El Instituto le proveía además de alojamiento, uniforme y libros a cambio de un compromiso de enseñar durante 8 años luego de recibirse. La calidad de su educación era excepcional, debido a que el Instituto compartía dependencias y algunos profesores con la Universidad de San Petersburgo, por entonces el centro académico más destacado del país.

A menos de tres meses de admitido, su madre murió a los 59, exhausta y quizás víctima de tuberculosis. Sus últimas y categóricas palabras lo marcaron "huye de las ilusiones, concéntrate en tu trabajo y no en las palabras. Busca con paciencia la verdad científica y la divina". En su libro sobre *Soluciones*, dedicado a Maria, Mendeleev escribió "esta investigación está dedicada a la memoria de una madre por su vástago más joven. Conduciendo una fábrica, lo educó con su propio trabajo. Ella instruyó con el ejemplo y corrigió con amor; con el objeto de que su hijo se dedicara a la ciencia, abandonó Siberia con él, gastando de ese modo sus últimos recursos y sus fuerzas" y sobre las últimas palabras de Maria subrayó "Dimitri Mendeleev considera sagradas las últimas palabras de una madre agonizante". Poco más tarde, en 1852, su hermana sucumbió a causa de tuberculosis, dejándolo solo.

Los estudios continuaron sin mayores inconvenientes hasta el tercer año, cuando también Dimitri enfermó. Diagnosticado de tuberculosis y sintiéndose desahuciado, durante un año entero se convirtió en una especie de mascota del Instituto, alternando entre experimentos originales que llevaba a cabo en el centro y la cama, donde registraba los resultados. Fruto de ello publicó su primer trabajo sobre el *Análisis químico de minerales de Finlandia*, siendo aún estudiante. A pesar de no concurrir a los cursos regulares, gracias a la ayuda de algunos Profesores y compañeros, logró graduarse en tiempo y forma de Maestro en Ciencia y Matemáticas en 1855. Recibió la medalla de oro a la excelencia, en calidad del mejor de su clase.

Mendeleev desarrolló su Tesis de grado sobre *El isomorfismo en relación con los otros puntos de contacto entre las formas cristalinas y la composición* (del griego $\text{ισο}\zeta$ = igual y $\text{Μορφε}\zeta$ = forma). En la misma abordó las relaciones entre composición química y similitud de formas cristalinas, una evidencia sobre su interés en el análisis de minerales y acerca del problema de la clasificación de sustancias. Esta Tesis, que cita a Charles Frédéric Gerhardt y a Auguste Laurent, quienes revolucionaron la química en las décadas de 1840 y 1850, demuestra tempranamente su talento para recopilar y analizar sistemáticamente grandes cantidades de datos.

Mendeleev aprendió química de Aleksandr Abramovich Voskresenskii (1809-1880), considerado el abuelo de la química rusa.¹⁸ Voskresenskii había trabajado con Liebig en Alemania, y tras retornar a Rusia se había hecho conocido por sus investigaciones rela-

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

cionadas con la extracción de teobromina del cacao y trabajos con la corteza de quina, de donde obtuvo el ácido quínico, cuya oxidación le permitió obtener productos de interés en la industria de colorantes.

Con 21 años, un diagnóstico de presunta tuberculosis y un pronóstico de vida de dos años, Mendeleev solicitó su traslado en 1855 a Simferopol en la península de Crimea y 1800 Km al sur de San Petersburgo, cuyo clima más benigno le permitiría prolongar su vida. Al llegar a destino se topó con la guerra de Crimea en pleno auge y la escuela donde había obtenido trabajo como Maestro Jefe de Ciencia llevaba meses de estar cerrada. Entonces fue transferido a otra escuela en Odessa, sobre el Mar Negro y 300 Km más al norte, donde se desempeñó por un breve período enseñando matemáticas y física. Allí consiguió un permiso para utilizar la biblioteca y el laboratorio de la Universidad de Novorossisk; allí también decidió que su futuro sería la investigación científica e inició sus tareas de investigación para su Tesis de Maestrado. Para mayo de 1856 había redactado el borrador de su trabajo.

Estando en Odessa, Dimitri visitó al doctor Nicolai Pirogov, un antiguo médico del Instituto de Pedagogía quien ahora era un renombrado cirujano del ejército ruso. Tras revisarlo, Pirogov le informó que no padecía de tuberculosis sino un defecto cardíaco de tipo valvular, menor y no fatal.

Con 22 años, Mendeleev retornó a San Petersburgo para graduarse de Master en física y química en septiembre de 1856. Su Tesis de Maestrado *Estudio y teorías sobre la expansión de las sustancias por del calor*, que trata sobre volúmenes específicos, adopta el sistema de pesos atómicos de Gerhardt y Laurent, como así también la hipótesis de Avogadro (que denomina ley de Gerhardt) y muestra más claramente su interés en la clasificación de las sustancias.

Casi de inmediato, Mendeleev accedió al puesto docente ad honorem de la Universidad de San Petersburgo. Becado por el Ministerio de Instrucción Pública con el objeto de estudiar y desarrollar innovaciones tecnológicas, en abril de 1859 por consejo de su amigo el químico y compositor Alexander P. Borodin, Mendeleev inició un viaje de estudios en Europa occidental. Allí trabajó un año con el notable físico y químico Henri Regnault en París, estudiando densidades de los gases y otro año en Heidelberg con Gustav K. Kirchoff y con Robert W. Bunsen, quien recientemente había descubierto el rubidio con la ayuda del mechero homónimo.

En esta etapa, Dimitri acumuló una gran cantidad de información sobre sustancias, que luego procuraría organizar y racionalizar. Además, en Heidelberg, Bonn y París adquirió avanzados instrumentos analíticos que le permitieron más adelante en su carrera medir propiedades de las sustancias con muy buena precisión.

Aparentemente, fue durante su viaje a París donde nació el germen de lo que sería su Tabla Periódica. Mendeleev se detuvo en Wieliczka, cerca de Cracovia, Polonia, para visitar unas minas de sal. Estando en las minas surgió la pregunta que lo acosaría por un tiempo: ¿Por que deberían verse y comportarse de manera similar el cloruro de potasio, el cloruro de sodio y el bromuro de sodio?

En Heidelberg, Dimitri procuró estudiar técnicas de espectroscopía; sin embargo, su pobre relación con Bunsen, encargado de supervisar su trabajo, lo alejó del laboratorio de éste y Mendeleev terminó montando un pequeño laboratorio en su casa, donde con poco presupuesto dedicó su tiempo a estudiar sobre las fuerzas que sostienen juntas a las moléculas y su relación con los fenómenos capilares. Procuraba encontrar una fórmula universal para explicar la relación de estas fuerzas de cohesión con la composición, la densidad o el peso molecular de las sustancias. Allí realizó experimentos sobre disolución de alcohol en agua, obteniendo algunos resultados que luego utilizaría para su Tesis Doctoral.

De esta investigación resultó su teoría del "punto de ebullición absoluto", anticipando un par de años el concepto de temperatura crítica (la mayor temperatura a la cual un líquido existe en equilibrio con su vapor) del irlandés Thomas Andrews (1813-1885). Aunque debido al aislamiento con que trabajaba en su laboratorio privado, sus resultados no tuvieron la difusión adecuada y perdió el reconocimiento de la primacía, Mendeleev logró explicar que los intentos frustrados de licuar gases "permanentes" como hidrógeno, oxígeno y nitrógeno se debían a que éstos no habían sido realizados por debajo de las correspondientes temperaturas críticas.

La comunidad rusa en Heidelberg era muy reducida y es probable que el novelista Ivan Turgenev haya tenido a Mendeleev en mente cuando escribió acerca de "un joven químico ruso que vivía en Heidelberg era alabado por todos los que lo conocían por su singular talento".

Hacia el final de su estadía, en septiembre de 1860 Mendeleev asistió junto a su amigo Borodin al Primer Congreso Internacional de Química en Karlsruhe, convocado por Kekulé para discutir los últimos y más significativos avances científicos, especialmente los relacionados con los pesos atómicos. En este asunto, los químicos aún no se habían puesto de acuerdo, lo que entorpecía el progreso de la disciplina. Allí tuvo acceso al trabajo del italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) sobre su nuevo sistema para determinar pesos atómicos, basado en la medida de la densidad de vapores y el uso de la entonces casi desconocida hipótesis de Avogadro,¹⁹ que representaba una mejora notable sobre los métodos de Gerhardt que el propio Mendeleev había utilizado. Dimitri quedó marcado por la firmeza con que Cannizzaro defendió sus puntos de vista frente a otras posiciones.

A comienzos de 1861 Mendeleev retornó a Rusia como Profesor del Instituto de Tecnología. Percatándose que el aislamiento y atraso tecnológico de Rusia también se reflejaban en la falta de un buen texto de química orgánica, alternando con la enseñanza en varias escuelas secundarias, escribió en menos de tres meses las casi 500 páginas de su primer libro, titulado *Química Orgánica*. Allí, de modo pionero, incluyó los principios de Cannizzaro para determinar los pesos atómicos.

Premonitoriamente, Dimitri declaró en su obra estar en la búsqueda de una "cierta clase de principio definido y exacto", que le permitiera la clasificación de los compuestos orgánicos, una imperiosa necesidad

de los químicos del momento en vista de la marea de resultados aparentemente inconexos que la ciencia estaba produciendo. Este objetivo sería pronto olvidado con motivo del advenimiento de la teoría estructural de compuestos orgánicos, que dio respuesta a este problema; sin embargo, el libro de texto de Mendeleev fue bien recibido en Rusia, por lo que en 1862 la Academia de Ciencias de San Petersburgo le concedió el Premio Demidov. Su trabajo de actualizar la enseñanza de la química en Rusia lo llevó también a traducir numerosos libros.

En 1863, Mendeleev se convirtió en Profesor de Química en el Instituto de Tecnología y pronto alcanzó el grado de Profesor Extraordinario de Química Técnica. Ese mismo año, luego de dos de noviazgo y ante la insistencia de su hermana Olga, se casó con Feozva Nikitchna Laschevayi, una amiga de ésta, con quien tuvo dos hijos; pero Mendeleev era un adicto al trabajo y durante sus años de casado con Feozva convivió poco con ella.

En 1865 Dimitri presentó su Tesis Doctoral sobre *Consideraciones sobre la combinación del alcohol y el agua*, donde examinaba las propiedades de los "compuestos indefinidos", que presentan propiedades físicas constantes y composición variada (como soluciones y aleaciones). La naturaleza de tales sustancias resultaba difícil de explicar en términos de la teoría atómica vigente, basada en la ley de proporciones definidas.

La liberación de los siervos rusos, decretada en 1861 por el Zar Alejandro II, obligó a muchos terratenientes a vender parte de sus propiedades y en 1865 Mendeleev compró 60 hectáreas de tierra cultivable en la provincia de Tver, a 320 km de San Petersburgo. La propiedad pronto se convirtió en residencia de Feozva, quien se mudó allí con sus hijos. Siguiendo el ejemplo de Maria, Dimitri puso en práctica un sistema humanista para los campesinos de su hacienda e introdujo métodos científicos de cultivo incluyendo el uso del análisis de suelos. En seis años, logró triplicar la producción. Su éxito atrajo la atención de sus vecinos, a quienes enseñó con pasión aconsejándolos en la fabricación de queso y ayudándolos a formar cooperativas. El enfoque de Mendeleev de aplicar conocimientos científicos para obtener beneficios prácticos no pasó desapercibido para las autoridades, que lo comisionaron para diversas misiones, incluyendo la organización del pabellón ruso en la Exposición Internacional de París de 1867.

Hacia fines de 1865 Mendeleev ya era Profesor Titular y en 1867 pasó a ocupar la Cátedra de Química General que había dejado vacante su maestro Voskresenskii, manteniendo también la propia por un tiempo. Ese año comenzó a trabajar en su gran obra *Principios de Química* que publicaría en 2 volúmenes. En 1868 con apenas 34 años, Mendeleev fue uno de los miembros fundadores de la Sociedad Química Rusa. La redacción de su libro, que le demandaría hasta 1871, lo llevó a procurar un sistema de clasificación de los elementos, que logró hacia mediados de febrero de 1869, siendo públicamente presentado en marzo del mismo año.²⁰

Merced a la confirmación de las predicciones efectuadas con la ayuda de su Tabla Periódica, en pocos años se transformó en una persona famosa en todo

el mundo (Figura 2), con doctorados honorarios de numerosas universidades, entre ellas Göttingen, Princeton, Edinburgo, Oxford y Cambridge. En 1882, la London Chemical Society le otorgó la medalla Davy, compartida con Julius Lothar Meyer, preludio de la condecoración con la Copley medal en 1905. En 1887 estuvo en Manchester donde dio una conferencia sobre soluciones de alcohol y agua y en 1889, fue invitado a visitar Londres. Enterado allí de la enfermedad de uno de sus hijos debió abandonar la reunión y su conferencia *La ley Periódica de los elementos químicos* fue leída en la Royal Institution por el Profesor Henry E. Armstrong.

Con más de 40 años y siendo ampliamente reconocido en su país, en 1876 se enamoró de la joven Anna Ivanova Popova de 17 años, una estudiante de arte y compañera de estudios de una de las hijas de su hermana Ekaterina. Entonces, se divorció de Feozva para casarse en 1882 con Popova luego de seguirla en un viaje a Roma, convirtiéndose así técnicamente en bigamo para la ley rusa. Siendo una celebridad nacional, esta situación no pasó desapercibida, al punto que frente a las críticas el mismo Zar Alejandro llegó a comentar justificándolo "Admito que Mendeleev tiene dos esposas, pero yo tengo solamente un Mendeleev".

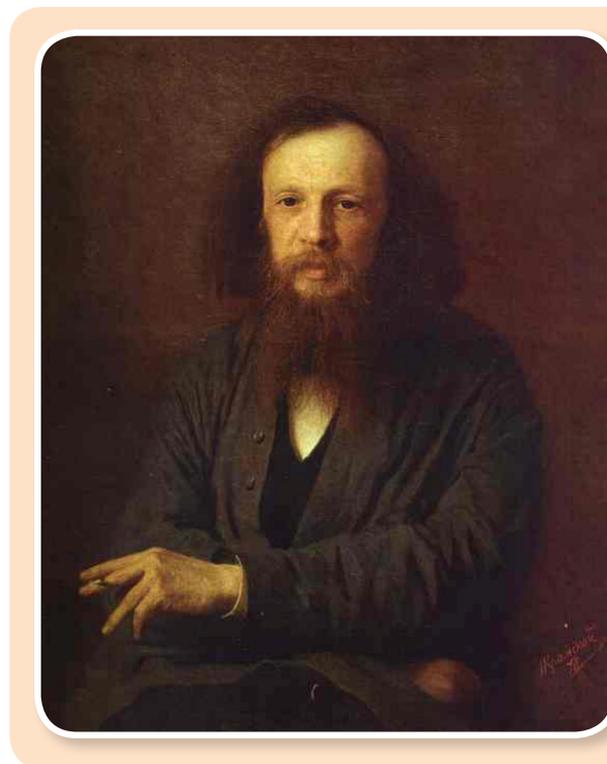


Figura 2: Mendeleev en 1878. Oleo sobre tela del Museo de la Universidad Estatal de San Petersburgo.

De su matrimonio con Popova, Mendeleev engendró cuatro hijos; con el tiempo Popova se convirtió en una artista conocida y a instancias de su mujer, Mendeleev devino en un crítico de arte y coleccionista reconocido. Por sus conocimientos y trayectoria, en 1884 fue elegido para la Academia Rusa de Artes; en contraste, la Academia Rusa de Ciencias nunca lo admitió, rechazándolo en cuatro ocasiones, lo cual fue motivo de sucesivos escándalos nacionales. Poco después de

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

ser rechazado en 1880, la Universidad de Moscú lo nombró miembro honorario y tras el último rechazo, varias universidades y organizaciones científicas lo nombraron miembro honorario. Refiriéndose a este tema, Mendeleev escribió al rector de la universidad de Kiev diciéndole “Os lo agradezco de todo corazón ... Comprendo que lo que está en juego es el nombre de Rusia, no el mío”.

Aún antes de alcanzar la fama, Mendeleev era un científico de variados intereses. Visitó campos petrolíferos en Estados Unidos para aprender a mejorar la eficiencia de la extracción del petróleo en el sur de Rusia e inventó un nuevo método de refinado; se embarcó en proyectos de agricultura, asesorando a los campesinos y hasta realizó en 1887 un ascenso en globo aerostático para poder apreciar mejor un eclipse solar total. Sus conocimientos acerca de mezclas de alcohol y agua fueron también finalmente apreciados, cuando ayudó a fijar el estándar de la graduación alcohólica del vodka ruso. Resulta por demás interesante que Mendeleev descubrió que al mezclar alcohol y agua, el volumen de la solución resultante es menor que la suma de los volúmenes de las soluciones originales. Para arribar a la proporción ideal de alcohol y agua, Mendeleev mezcló pesos de los líquidos en lugar de volúmenes. Por ello, la unidad de comercialización del vodka en Rusia sigue siendo el gramo y no el litro.

Tras el asesinato del Zar Alejandro II en 1881, lo sucedió Alejandro III. Este designó en 1882 Ministro de Educación al conde Ivan Davidovich Delyanov, un protegido del conde Dimitri Andreyevich Tolstoy, anterior ministro de educación y flamante Ministro del Interior con quien Mendeleev había tenido algunas diferencias de opinión por sus concepciones conservadoras sobre la educación que irritaron al científico, permanentemente preocupado por la modernización de Rusia. Ante los cambios sociales sufridos por la estructura educativa desde la liberación de los esclavos, Delyanov emitió una serie de medidas restrictivas. Eliminó la autonomía universitaria, impuso cupos a las minorías y restricciones a la educación femenina, incrementó las tasas a los estudiantes, exigió el uso de uniformes y redujo el sistema de becas estatales como la que había permitido estudiarse a Mendeleev.

De ideas socialistas, apoyado por su joven esposa y comprometido con sus alumnos, frente estas modificaciones, en 1890 el científico encabezó la presentación de un petitorio estudiantil ante el Ministerio de Educación. Devuelto el petitorio sin ser leído y temiendo que su clase del 3 de abril de 1890 fuera intervenida por la policía, preocupada de que el científico iniciara y liderara una revuelta estudiantil, decidió dimitir de su cargo de Profesor. Su discurso de ese día fue “He conseguido la libertad interior. No hay nada en el mundo que tema decir. Nada ni nadie puede hacerme callar... Quiero que vosotros tengáis también este sentimiento. Es mi responsabilidad el ayudarlos para que logréis esta libertad interior. Soy una persona evolucionista y pacífica. Proceded de una manera lógica y sistemática”. Desde 1866 había vivido en el mismo departamento de tres ambientes adyacente a su Laboratorio de química, una costumbre de la época de la que no quiso apartarse.

Retirado de la docencia universitaria, el almirantaz-

go ruso le encomendó mejorar la calidad de la pólvora sin humo, cosa que logró en menos de un año. En 1893 se le ofreció organizar y dirigir la Oficina Nacional de Pesas y Medidas, donde además de disponer la adopción nacional del sistema métrico decimal, hizo un magnífico trabajo gerencial que incluyó la incorporación de mujeres en puestos de responsabilidad. En 1899, se le encomendó trasladarse a los Urales para estudiar la industria del hierro; la actividad fructificó en un voluminoso informe.

Por su trayectoria, en 1906 quedó a tan solo un voto de ganar el Premio Nobel que había comenzado a entregarse con el nuevo siglo.²¹ En la presentación de su nominación, el científico holandés Jacobus H. van't Hoff remarcó que “el reciente descubrimiento de los gases nobles ‘elimina toda duda’ acerca de lo fundamental de su logro”.²² Sin embargo, en esa ocasión el Comité Nobel, no conforme con el argumento del reciente descubrimiento del helio y el argón, ya que Mendeleev no había predicho la existencia de la familia de los gases nobles, como así tampoco con el descubrimiento del polonio por Marie Curie en 1898, que confirmaba una de las últimas predicciones de Mendeleev, consideró que el científico no cumplía con uno de los criterios de nominación, que establecía que sólo trabajos recientes debían ser tenidos en cuenta. Este concepto fue expresado por Svante Arrhenius, Premio Nobel de 1903, al insistir en que el sistema de Mendeleev era “demasiado antiguo como para ser considerado”²³ y el Premio Nobel fue concedido a Henri Moissan por su aislamiento del fluor y el desarrollo del “horno eléctrico de Moissan”. No hubo otra oportunidad; Mendeleev murió afectado por una gripe complicada con neumonía el 20 de enero de 1907, a la edad de 73 años, mientras su esposa le leía un libro de Julio Verne.

¿Cómo arribó a su Tabla Periódica? Los naipes de Mendeleev

Es indudable que el entrenamiento y los estudios previos de Mendeleev, que incluyeron variados aspectos de clasificación, conjugados con su inclinación a buscar principios simples para lograr ordenamientos complejos y su capacidad de síntesis de la información incidieron fuertemente en el desarrollo de su enfoque clasificatorio y en sus posibilidades de éxito.²⁴ También influyó notablemente su actitud de no basarse solamente en su propio trabajo; al estilo de los científicos modernos, era habitual en Mendeleev mantener correspondencia con colegas de todo el mundo como el químico belga Jean Servais Stas, el científico francés Jean-Baptiste Dumas, el inglés Sir William Crookes, el químico sueco Kruss Nilson y Bohuslav Brauner, profesor de la Universidad de Praga. Él recibía datos de sus trabajos, que luego usaría en sus investigaciones y libros. Resulta interesante que, a pesar de ello, Mendeleev permaneció ignorante del trabajo de otros colegas en relación con la clasificación de los elementos.

Sin embargo, según el propio Mendeleev, la historia de la construcción de su sistema periódico tiene un principio humilde, a mediados de la década de 1860.²⁵ Al igual que con la química orgánica en 1861, asigna-

do a enseñar cursos de química inorgánica en la Universidad de San Petersburgo, Mendeleev se dio cuenta que no contaba con bibliografía moderna. Las alternativas disponibles carecían de una estructura organizada y coherente con la cual caracterizar los elementos conocidos y sus reacciones; en consecuencia decidió redactar un libro de texto apropiado, que bajo el título de *Principles of Chemistry* comenzó a publicar en 1868 (y que aparecería en trece ediciones y traducido a varios idiomas hasta 1947).²⁶

Mendeleev decidió inicialmente organizar su libro según familias de elementos conocidos, que presentaban propiedades similares. Dedicó de ese modo la primer parte del texto a la muy conocida química de los halógenos, continuando por la cobertura de los elementos metálicos, que decidió realizar siguiendo el orden de su poder de combinación. Así, tras los metales alcalinos, de poder de combinación unitario (litio, sodio, potasio...), se dedicó a los alcalino-térreos (berilio, magnesio, calcio...), cuyo poder de combinación es dos.

Aparentemente, para el viernes 14 de febrero de 1869, Mendeleev había terminado esta fase del trabajo y debía decidir con qué tema continuar. Durante la etapa previa, le había resultado muy difícil clasificar elementos metálicos como el cobre y el mercurio, poseedores de varios poderes de combinación, ocasionalmente uno y otras veces dos. Debía encontrar un principio subyacente que le permitiera ordenar los elementos, ya que la estructura entera del libro dependía de ello. Mientras trataba de resolver este dilema, para profundizar su propio conocimiento y así poder transferir a sus estudiantes la comprensión de los elementos, Mendeleev se propuso desarrollar ese necesario sistema de clasificación que permitiría comprender de manera sistemática las características de cada elemento y sus reacciones.

Analizada de una manera retrospectiva, esta tarea no habría podido llevarse a cabo satisfactoriamente una década antes, ya que fue recién en el Congreso de Karlsruhe de 1860 que los químicos se pusieron de acuerdo sobre la determinación de los pesos atómicos, bajo las ideas de Cannizzaro. Por otra parte, los trabajos pioneros de Döbereiner de 1817 y de los modificadores de sus tríadas durante el siguiente medio siglo generaron hacia finales de 1860 la percepción que las relaciones entre pesos atómicos de elementos análogos debían estar gobernadas por leyes simples.

Ya en 1859 el químico alemán Adolf Strecker había puntualizado que "es difícilmente probable que las relaciones entre los pesos atómicos o los pesos equivalentes de elementos análogos sea meramente accidental. Debemos, sin embargo, dejar al futuro el descubrimiento de la ley de relaciones que aparece en estos números". Además, la acumulación de nuevo conocimiento que ocurrió durante la década de 1860, particularmente la relacionada a los elementos conocidos menos abundantes, proporcionaba más pistas acerca de la constitución del rompecabezas.

Puede considerarse, entonces, que para la época del comienzo de la investigación de Mendeleev el terreno estaba preparado, aunque el objetivo de buscar una relación entre los pesos atómicos de *todos los elementos* conocidos era completamente ajeno a las ideas vigentes, que tan solo procuraban establecer nuevas relaciones entre elementos similares.

Inmerso en la información recopilada para la redacción de su libro, Mendeleev notó la reiteración de patrones de comportamiento al relacionar las propiedades y pesos atómicos de varios elementos. Al ordenarlos, a un halógeno, le seguía un metal alcalino y luego un alcalino-térreo (Cl, K, Ca; Br, Rb, Sr; I, Cs, Ba). Este era un detalle no observado previamente y diferente de las tríadas de Döbereiner (Tabla 1), que mostraban otra serie de relaciones. Estaba presente ante sí, perfectamente ordenado, el corazón de su rompecabezas. De aquí en más, la oportuna pregunta del genio – y su respuesta – hicieron la diferencia: ¿Se repetirá este patrón para todos los elementos?

Para el día 17 de febrero por la mañana, aún no tenía la solución. Garabateó algunas de sus anotaciones sobre el dorso de una carta de Aleksei Ivanovich Chodnev, secretario de la Cooperativa Económica Voluntaria, recibida el mismo día, donde le notificaba detalles de su inminente gira de inspección por Tver y de la reunión del científico con fabricantes de queso locales. Luego probó con otros elementos además de los halógenos, como la serie del oxígeno y la del azufre... y notó el mismo tipo de tendencia.

Trabajando metódica y pacientemente durante varios años, Mendeleev había recopilado pacientemente información para cada uno de los 63 elementos conocidos. Habitado a jugar a los naipes (hebreo nabi= profeta) durante sus extensas y frecuentes travesías por el interior ruso, para resolver su acertijo y en un golpe de inspiración, Mendeleev parece haber esta-

Relaciones entre elementos								Solitario de naipes.											
Pesos atómicos crecientes →								Orden numérico descendente →											
G r u p o s	Cl	Br	I	F= 19	Cl= 35	Br= 80	I= 127	P	♣	K	Q	J	10	9	8	7	6	5	...
	K	Rb	Cs	O= 16	S= 32	Se= 79	Te= 128	a	♦	K	Q	J	10	9	8	7	6	5	...
	Ca	Sr	Ba	N= 14	P= 31	As= 75	Sb= 122	l	♥	K	Q	J	10	9	8	7	6	5	...
								s	♠	K	Q	J	10	9	8	7	6	5	...

Tabla 1: Patrones de comportamiento de los elementos, observados por Mendeleev. Izq.: A cada halógeno de la primer fila le sigue un metal alcalino y luego alcalino-térreo. Centro: Relación entre algunos elementos y sus pesos atómicos. Salvo por el caso del telurio y el yodo, se observa un patrón de comportamiento, en progresión creciente hacia arriba y a la derecha. Der.: Distribución de naipes en el juego del solitario.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

blecido una conexión entre su problema de clasificación química y su pasatiempo favorito, el solitario. En este juego, las cartas debían alinearse clasificándolas de acuerdo con los palos y en orden numérico descendente (Tabla 1).

Si bien intuía que su clasificación debía ser efectuada listando los elementos en grupos de propiedades similares, desconocía cuáles serían los “palos químicos”, por lo que decidió consignar los datos de los elementos incluyendo puntos de fusión, densidades, colores, pesos atómicos, valencias, forma de los cristales de sus sales y energías de enlace, sobre tarjetas individuales.

En este punto, el sabio ruso debió hacer frente a un tremendo desafío teórico, ya que los elementos tenían muchas características importantes (color, densidad, conductividad, ductilidad, maleabilidad, punto de fusión, afinidad para reaccionar con varios reactivos), cualquiera de las cuales podría formar la base de un sistema clasificatorio.

Mezcla de intuición y análisis, Mendeleev decidió centrar su atención en hallar tendencias en las características de valencia, isomorfismo, volúmenes específicos y peso atómico, dejando de lado todas las otras propiedades. Fuertemente influenciado por Cannizzaro, el peso atómico era un concepto familiar para Mendeleev, pero la valencia y el isomorfismo, si bien eran términos conocidos, no contaban aún con buenas bases teóricas que permitieran su comprensión. Valencia es el término referido a la capacidad de combinación de un elemento (peso atómico = peso equivalente \times valencia);²⁷ por su parte, los elementos son isomorfos cuando las familias de las sales que los contienen presentan una estructura cristalina similar.

Como con los naipes de la baraja, Mendeleev había organizado inicialmente sus tarjetas según su peso atómico, lo que le dio un ordenamiento unidimensional que no le reveló ninguna información útil. Procuró entonces acomodar sus tarjetas según un criterio adicional, con el objeto de detectar patrones regulares de comportamiento, enfocándose sobre la valencia y el isomorfismo. Más de una vez las había clavado contra la pared sólo para observar la tabla resultante y volver a reordenarlas para detenerse y contemplar el nuevo patrón. Utilizando nuestro conocimiento actual, esta etapa que permitió obtener una segunda dimensión para su trabajo, convirtiendo el mismo de una línea en una Tabla, consistió en seccionar metódicamente su secuencia unidimensional de elementos, procurando desentrañar lógicamente el principio y el fin de cada período.

Cuando los elementos fueron colocados correctamente, según se dice tras un sueño²⁸ producto de la fatiga, el 17 de febrero de 1869²⁹ tuvo ante sus ojos la que sería su contribución más importante a la química. Originalmente, denominó a su ordenamiento bidimensional *Sistema Periódico*, porque en las funciones periódicas hay un patrón de comportamiento que se repite con una determinada frecuencia. Mendeleev pudo observar una dependencia periódica de las características de los elementos con su peso atómico, como así correlaciones horizontales, verticales y diagonales muy superiores a las detectadas en las tríadas ya conocidas. Este principio, que Mendeleev llamó *Ley Periódica*, fue enunciado diciendo que “las

propiedades de los elementos son función periódica de sus pesos atómicos” o que “cuando los elementos se organizan en orden creciente de sus masas atómicas, algunos conjuntos de propiedades se repiten periódicamente”.

Estando obligado por una visita de tres días en gira de asesoramiento por las granjas en la provincia de Tversk para inspeccionar unas fábricas de queso, su descubrimiento se hizo público en la quinta reunión de la recientemente creada Sociedad Química Rusa a través del Profesor Nikolai A. Menshutkin. Fue el 6 de marzo de 1869, durante una presentación formal bajo el título de *La dependencia entre las propiedades y los pesos atómicos de los elementos*.

En su parte más importante, el trabajo de Mendeleev contiene una Tabla (Tabla 2) que presenta la clasificación de los 63 elementos conocidos hasta ese entonces, ordenados por peso atómico en “grupos” (litio, sodio, potasio, rubidio y cesio) ubicados horizontalmente. Mendeleev resumió los detalles más sobresalientes de su propuesta en ocho puntos fundamentales.³⁰

Una vez ordenados según sus pesos atómicos, los elementos exhiben una aparente periodicidad en sus propiedades.

Elementos con propiedades químicas similares presentan pesos atómicos similares (platino, iridio, osmio) o que se incrementan regularmente (potasio, rubidio, cesio).

El ordenamiento de los elementos o grupos de elementos según sus pesos atómicos corresponde a sus llamadas valencias, tanto como a sus propiedades químicas distintivas, lo cual es claramente evidente en el grupo Li, Be, B, C, N, O, F y se repite en otros.

Los elementos más difundidos presentan pesos atómicos pequeños. Hidrógeno es el más liviano.

La magnitud del peso atómico determina el carácter del elemento (S y Te; Cl y I), pero así como hay semejanzas hay claras diferencias.

Debe esperarse el descubrimiento de elementos desconocidos, análogos al aluminio y silicio, con pesos atómicos entre 65 y 75.

El peso atómico de un elemento puede ser corregido en función del de los elementos contiguos; así el peso atómico del telurio debe estar entre 123 y 126 y no puede ser 128.

Pueden predecirse ciertas propiedades de los elementos a partir de sus pesos atómicos.

Su Sistema Periódico (Tabla 2), o como lo llamó, un *Ensayo de sistematización de los elementos sobre la base de sus pesos atómicos y de sus semejanzas químicas*, vio la luz en el volumen inaugural de la revista oficial de la novel sociedad científica, en ese entonces una publicación virtualmente desconocida, siendo un resumen del mismo con la Tabla y los ocho comentarios sobre la misma rápidamente re-publicado el mismo año en el reputado *Zeitschrift für Chemie* alemán.³¹

Si hubiera estado presente Mendeleev, posiblemente habría tenido lugar una sesión de preguntas y respuestas a continuación de la presentación, para que su autor aclarara puntos oscuros a la audiencia, pero la mera lectura del artículo por parte del Profesor Menshutkin, quien no alcanzaba a comprender completamente el trabajo, no provocó particular interés y

no hubo discusión.

Entre los asistentes a la presentación de la Tabla se encontraba Fëdor Nicolaievich Savchenkov (1831-1900), quien en 1867 había traducido la edición inglesa de 1865 del texto *Un curso de Química Práctica* de William Odling. Se ha especulado que, de haber estado presente en la sesión, muy probablemente Mendeleev habría sido interpelado por su colega Savchenkov para hacerle saber que Odling había hecho público un trabajo muy similar al suyo cuatro años antes. En esa circunstancia, la alegría de la primacía del descubrimiento le habría durado a Mendeleev desde el 17 de febrero al 6 de marzo.

Mendeleev recibió copia de la Tabla de Odling el 3 de abril de 1869, haciendo mención del hecho en una nota al pie de su publicación.

La Ley Periódica, producto de haber organizado los elementos de acuerdo a su peso atómico y luego agruparlos en columnas en virtud de sus propiedades químicas, es uno de los principios básicos de la química. La misma representó el resultado de un conjunto de generalizaciones y hechos establecidos que se acumularon hacia fines de la década de 1860, que tomaron cuerpo en una expresión razonablemente sistemática y general.

Si bien la Tabla original presentaba varios errores, como posiciones equivocadas para mercurio y oro, como para talio y plomo, Mendeleev procuró minimizar discordancias y en varios casos se vio forzado a invertir la ubicación de pares de elementos con el objeto de lograr consistencia química, fundamentalmente debido a la inexactitud de los valores disponibles de peso atómico. Por ejemplo, debió colocar el telurio

antes que el yodo, porque las propiedades del primero se parecen más a las del azufre y selenio en cuyo grupo fue clasificado, que a las del fluor, el cloro y el bromo, con quienes más congenia el comportamiento del yodo.

En el caso del berilio, su peso molecular fue calculado de manera incorrecta por un error en la valencia que se le atribuía, por lo que el berilio debería haber estado entre el nitrógeno y el carbono. Sin embargo, siendo su comportamiento semejante al del magnesio, Mendeleev argumentó que no había espacio para el berilio entre el nitrógeno y el carbono, sugirió que su valencia debía ser 2, propuso un diferente peso molecular y lo colocó en el grupo del magnesio, para ocupar adecuadamente el espacio vacío entre litio y boro. Una situación similar se dio entre uranio e indio.

Puesto que su sistema periódico no fue inicialmente aceptado por sus colegas, particularmente los europeos, Mendeleev lo mejoró durante los siguientes dos años haciendo diferentes correcciones y en la edición de 1870 de sus *Principios de Química* incluyó una tabla mejorada, bajo en título de *Sistema natural de los elementos*.

En 1870 Mendeleev fue un paso más allá, dejando perpleja a la aún incrédula comunidad científica. A la predicción de la existencia varios nuevos elementos que ocuparían los lugares dejados en blanco en su *Sistema Periódico* de 1869, le sumó la anticipación de las propiedades de algunos de ellos. Para ello, se basó en la estructura teórica lograda y en las tendencias químicas codificadas en la propia Tabla.

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180 (Hafnio)
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68 (Eka-aluminio)	Ur = 116 (uranio)	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70 (Eka-silicio)	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45 (Eka-boro)	Ce = 92		
		Er = 56?	La = 94		
		Yt = 60?	Di = 95 (didimio)		
		In = 75,6?	Th = 118?		

Tabla 2: El sistema Periódico de Mendeleev. Distribución de los 63 elementos en 1869. Preve la existencia de varios elementos desconocidos, entre los que se hallan los de pesos atómicos 45, 68 y 70. Provisoriamente, los mismos fueron conocidos como eka-boro, eka-aluminio y eka-silicio hasta su descubrimiento. El elemento didimio resultó ser una mezcla de varios elementos. El elemento cuya existencia y peso atómico 180 señaló es el hafnio; su existencia fue presumida en 1895 por el químico danés Julius Thomson (1826-1909) sobre la base de la Tabla Periódica, siendo aislado en Dinamarca recién en 1922 por Dirk Costey y György Karl von Hevesy. En la Tabla Periódica de 1871, Mendeleev cambia de opinión y asigna la ubicación a la que correspondería al hafnio (debajo del titanio y el zirconio) al lantano. El peso atómico aceptado para el lantano (138,90) es el promedio entre 91 y 180. Resulta evidente que a pesar de haber sido descubierto en 1839, Mendeleev tenía el dato equivocado del peso atómico del lantano, uno de los pocos elementos que no aparece en la Tabla Periódica de Meyer. Uranio actualmetne se designa como "U".

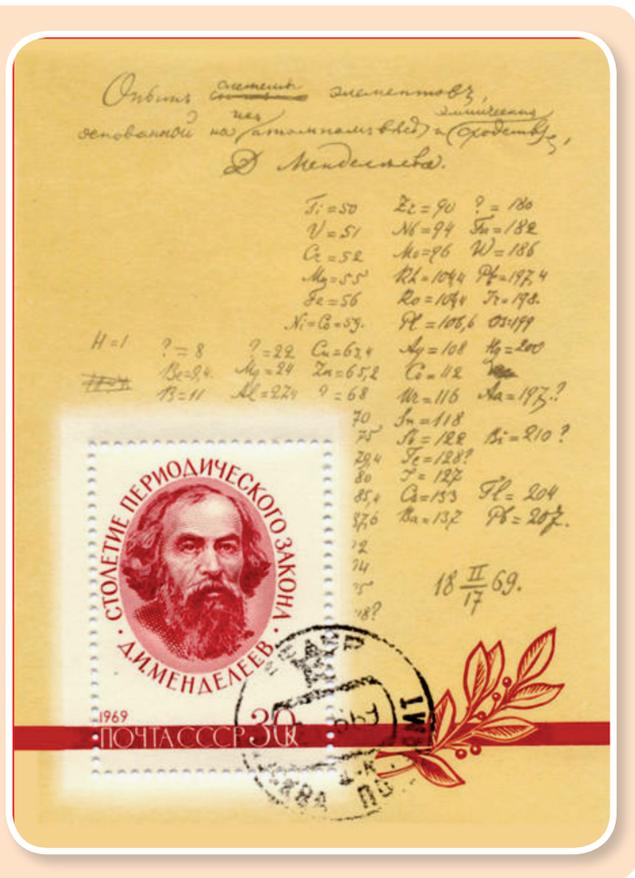


Figura 3: Tarjeta y sello postal ruso de 1969, conmemorativo del centenario de la Tabla Periódica de Mendeleev, con la imagen del científico ruso. Sobre el fondo exhibe copia de una de las versiones originales de la Tabla Periódica, manuscrita por Mendeleev. Como símbolo de un logro, la tarjeta presenta una cinta y una rama de olivo en la parte inferior.

En 1871 Mendeleev presentó una nueva modificación de su clasificación, a la cual denominó *Tabla Periódica* (Tabla 3). En la misma, los grupos se encuentran dispuestos de manera vertical y varios elementos presentan disposición diferente con respecto a la original. Por ejemplo, berilio y magnesio se hallan más cerca de la tríada calcio, estroncio y bario; del mismo modo, mercurio y oro se encuentran dispuestos debajo de cadmio y plata, respectivamente.³²

Tres de los elementos originalmente predichos [Eka-silicio (germanio), Eka-aluminio (galio) y Eka-boro (escandio)], fueron descubiertos en los siguientes 16 años. Su comportamiento químico resultó correctamente anticipado (Tabla 4) por Mendeleev, lo cual le proporcionó un fuerte impulso y gran reconocimiento, mientras que otros dos debieron aguardar 50 años hasta ser descubiertos; un par adicional fue descubierto más adelante aún y otros tres elementos predichos (pesos atómicos 45, 146 y 175) no tienen existencia.

El galio fue descubierto por el francés Emile Lecoq de Boisbaudran en 1875. Basado en sus predicciones, Mendeleev fue capaz de sugerir a su descubridor que el valor hallado de la densidad del mismo estaba equivocado. Esta confianza, bordeando la arrogancia, se demostró justificada una vez que la densidad del galio fue correctamente determinada sobre una muestra purificada del elemento.

A diferencia de otros autores que presentaron trabajos similares en la misma época, el enfoque de Mendeleev resultó exitoso porque éste entendió cabalmente el potencial de su trabajo. Sabiamente dejó espacios para nuevos elementos, los que podrían agregarse sin perturbar la periodicidad de propiedades. Además, le permitió aseverar que los pesos atómicos conocidos podrían estar incorrectos, haciendo lugar a

	Grupo I R ₂ O	Grupo II RO	Grupo III R ₂ O ₃	Grupo IV RO ₂	Grupo V R ₂ O ₅	Grupo VI RO ₃	Grupo VII R ₂ O ₇	Grupo VIII RO ₄
1	H= 1							
2	Li= 7	Be= 9,4	B= 11	C= 12	N= 14	O= 16	F= 19	
3	Na= 23	Mg= 24	Al= 27,3	Si= 28	P= 31	S= 32	Cl= 35,5	
4	K= 39	Ca= 40	?= 44	Ti= 48	V= 51	Cr= 52	Mn= 55	Fe= 56, Co= 59, Ni= 59, Cu= 63
5	(Cu= 63)	Zn= 65	?= 68	?= 72	As= 75	Se= 78	Br= 80	
6	Rb= 85	Sr= 87	?Yt= 88	Zr= 90	Nb= 94	Mo= 96	?= 100	Ru= 104, Rh= 104 Pd= 106, Ag= 108
7	(Ag= 108)	Cd= 112	In= 113	Sm= 118	Sb= 122	Te= 125	I= 127	
8	Cs= 133	Ba= 137	?Di= 138	?Ce= 140	-	-	-	----
9	(-)	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	?Er= 178	?La= 180	Ta= 182	W= 184	-	Os= 195, Ir= 197, Pt= 198, Au= 199
11	(Au= 199)	Hg= 200	Tl= 204	Pb= 207	Bi= 208	-	-	
12	-	-	-	Th= 231	-	U= 240	-	----

Tabla 3: Tabla Periódica de Mendeleev en 1871, con la clasificación de los elementos en ocho grupos. El encabezado de la Tabla consigna además la fórmula prevista para el óxido. Dispone los períodos de manera horizontal, como lo hace Lothar Meyer en su Tabla de 1870. Permite que calcio, estroncio y bario se encuentren más cerca del magnesio, cuyo comportamiento es similar, pero presenta dificultades con la distribución de los elementos de transición, que Meyer coloca en tres grupos, separados de los elementos representativos. Cambia a 240 el peso atómico del uranio y su posición, acercándolo al torio y refina las predicciones de peso atómico para eka-aluminio y eka-silicio. Confirma el peso atómico del berilio en 9,4 y sugiere nuevos pesos atómicos para cerio e itrio. El elemento cuyo peso atómico predicho es 100 es tecnecio, producido artificialmente por primera vez en el laboratorio en Italia, por Emilio Segre y Carlo Perrier en 1937.

Propiedad o Atributo	Predicho	Hallado	Predicho	Hallado	Predicho	Hallado
	Eka-aluminio (1871)	Galio (Ga) (1875)	Eka-boro (1871)	Escandio (Sc) (1879)	Eka-silicio (1871)	Germanio (Ge) (1886)
Peso Atómico	68	69,9	44	44,95	72	72,59
Peso específico	6,0	5,96	3,0	3,0	5,5	5,47
Volumen atómico	11,5	11,7			13,0	13,2
Fórmula y punto de ebullición del cloruro					EaCl ₄ <100°C	GeCl ₄ 86°C
Punto de fusión	Bajo	29,8	No volátil	1539°C	Alto	958°C
Descubrimiento y apariencia	Por su espectro	Por su espectro	No por su espectro. Duro	No por su espectro. Duro	Metálico. Gris oscuro	Metálico. Gris claro
Fórmula del óxido	Ea ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Ea ₂ O ₃	Sc ₂ O ₃	EaO ₂	GeO ₂
Densidad del óxido y sus propiedades	5,5. Soluble en ácidos y álcalis	5,88. Soluble en ácidos y álcalis	3,5. No volátil	3,86. Punto de fusión= 2300°C	4,7. Alto punto de fusión	4,7. Punto de fusión= 1100°C

Tabla 4: Algunas predicciones de Mendeleev. El 29 de noviembre de 1870, Mendeleev dio a conocer sus predicciones sobre las propiedades de eka-boro, eka-aluminio y eka-silicio. En 1871, Mendeleev dejó 37 espacios vacíos en su Tabla y anticipó los pesos atómicos de 9 elementos entonces desconocidos. Siete de los mismos fueron descubiertos (eka-boro (escandio, 1879), eka-aluminio (galio, 1875), eka-silicio (germanio, 1886), dwi-cesio (francio, 1939), eka-tantalo (protoactinio, 1971), eka-manganeso (tecnecio, 1937) y tri-manganeso (renio, 1925)) y los restantes dos (eka-cesio (175), eka-niobio (146) no tienen existencia real). más adelante realizó otras predicciones, como la del eka-telurio, identificado como polonio por los esposos Pierre y Marie Curie.

posibles variaciones en el orden de los pesos atómicos. Finalmente, y a diferencia de otros colegas, Mendeleev uso su Tabla como herramienta para predecir la existencia de algunos elementos faltantes.

Los logros teóricos de Mendeleev se pasan por alto a veces debido a la suspicacia que la Tabla Periódica es simplemente un dispositivo de clasificación. Sin embargo, ésta es actualmente una de las piedras angulares de la química, encerrando la sistemática y lógica de la composición de los elementos del universo.

Un ejemplo de una tendencia explicada por Mendeleev usando su sistema involucra los óxidos de los elementos principales de cada grupo (columna). Mendeleev demostró que la cantidad de oxígeno en los óxidos es una función periódica del grupo en su Tabla Periódica. Los elementos del grupo I (alcalinos) forman óxidos con la estructura R₂O, donde R es el símbolo genérico del elemento. Los elementos del grupo II (alcalino-térreos) forman óxidos como R₂O₂ (RO) y así sucesivamente hasta los halógenos, cuyo óxido asume la forma R₂O₇. Sin aplicar la ley periódica, este conocimiento habría seguido siendo misterioso. Aunque dar cuenta de esta tendencia no proporcionó el conocimiento causal o mecanístico sobre la formación de los óxidos, permitió ciertamente que Mendeleev pudiera explicar la diferente reactividad de ciertos metales.

Sin embargo, la Tabla en la versión de Mendeleev no es perfecta, ya que no ofrece lugar a los isótopos, descubiertos en el siglo XX. Además, sus versiones iniciales no incluían a los gases nobles, desconocidos en ese momento; éstos fueron agregados a fines del siglo XIX por Sir William Ramsey, contribuyendo inicialmente al asombro y luego al mayor prestigio de Mendeleev. La incorporación de los gases nobles a la tabla periódica de los elementos pudo efectuarse sin alterar el concepto básico de periodicidad enunciado por el científico ruso y dando un sentido más cierto al número 8 de Newlands.

Referencias bibliográficas y notas:

1. Emsley, J. (2001). *Nature's Building Blocks*. pp. 521-522. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.
2. Bainbridge, W. S. (1994). *Extraterrestrial Intelligence: Communication*. En: *The Encyclopedia of Language and Linguistics*, Asher, R. E. (Ed.), Volume 3, pp. 1200-1203, Pergamon, Oxford, Reino Unido.
3. Laertius, D. (2006). *Thales, en The Lives and Opinions of Eminent Philosophers*. Yonge, C. D. (traductor), Kessinger Publishing, LLC, Whitefish, EUA.
4. McNaught, A. D.; Wilkinson, A. (1997). *Compendium of Chemical Terminology*. IUPAC, Blackwell, Nueva York, EUA.
5. Leever, T. H. (2001). *Transforming Matter: A History of Chemistry from Alchemy to the Buckyball*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, EUA.
6. Morris, R. (2003). *The Last Sorcerers: Path From Alchemy To The Periodic Table*. John Henry Press, Washington, EUA.
7. Emsley, J. (2000). *The Shocking History of Phosphorus*, Macmillan, Londres, Reino Unido.
8. Fulton, J. F. (1961). *A Bibliography of the Honourable Robert Boyle, Fellow of the Royal Society*. 2da Ed. Clarendon Press, Oxford, Reino Unido.
9. Webster, J. (1978). *Metallographia or a History of Metals*. University of Minnesota, Minnesota, EUA.
10. Siegfried, R. (1982). *Lavoisier's Table of Simple Substances: Its Origin and Interpretation*. *Ambix* 29, 29-48.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

11. Aunque de uso indistinto, actualmente se prefiere el término “masa atómica” en lugar de “peso atómico”.
12. Hall, M. B. (1968). The History of the Concept of Element. John Dalton and the Progress of Science 21–39.
13. Las Figuras 1-3 fueron tomadas de Internet.
14. Melhado, E. M. (1981). Jacob Berzelius, the Emergence of his Chemical System, Stockholm, Sweden: Almqvist & Wiksell International. University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, EUA.
15. Posin, D.Q. (1948). Mendeleev, The Story of a Great Chemist. Whittlesey House, Nueva York, EUA.
16. Harrow, B. (1927). Eminent Chemists of our Time, 2da Ed., pp. 18-40 y 273-285. Van Nostrand, Nueva York, EUA.
17. Archivo Mendeleev. Materiales Autobiográficos (1951). Universidad de Leningrado. Vol. 1, p. 11.
18. Pisarzhevskii, O. (1954). Dmitry Ivanovich Mendeleev: His Life and Work.
19. Chalmers, A. (2009). The Scientist’s Atom and the Philosopher’s Stone en Boston Studies in the Philosophy of Science 279. pp. 199-213, Springer, Heidelberg.
20. van Spronsen, J. W. (1969). The Periodic System of Chemical Elements: A History of the First Hundred Years. Elsevier, Amsterdam, Holanda.
21. Friedman, R. M. (2001). The Politics of Excellence: Behind the Nobel Prize in Science. pp. 32-34. Times Books, Nueva York, EUA.
22. Blokh, A. M. (2002). Priroda 2, 72 (Moscú, Rusia).
23. Kauffman, G. B. (2001). The Nobel Centennial 1901-2001. Chem. Educ. 6, 370-384.
24. Kaji, M. (2003). Mendeleev’s Discovery of the Periodic Law: The Origin and the Reception. Found. Chem. 5, 189–214.
25. Cahn, R. M. (2002). Historische und Philosophische Aspekte des Periodensystem der Chemischen Elemente. Hyle Publications, Karlsruhe, Alemania.
26. Gordin, M. (2004). A Well-Ordered Thing: Dimitri Mendeleev and the Shadow of the Periodic Table. Basic Books, Nueva York.
27. Puede definirse “peso equivalente” como la masa de una sustancia capaz de proveer o reaccionar con un mol de H⁺ en una reacción ácido-base o proveer o reaccionar con un mol de electrones en una reacción redox. A diferencia del “peso atómico”, que es adimensional, el peso equivalente se expresa en unidades de masa.
28. Strathern, P. (2001). Mendeleev’s Dream: The Quest For the Elements. St. Martins Press, Nueva York, EUA.
29. Kedrov, B. M. (2001). Den’ odnogo Velikogo Otkrytia. Izd. Sotsial’no-ekonomicheskoi Literatury. Editorial URSS, Moscú, Rusia.
30. Ensaude-Vincent, B. (1986). Mendeleev’s Periodic System of Chemical Elements. Br. J. Hist. Sci. 19, 3–17.
31. Mendeleev, D. I.; Jensen, W. B. (2005). Mendeleev on the Periodic Law: Selected Writings, 1869 - 1905. Dover, Mineola, EUA.
32. Laing, M. (2007). The Periodic Tables of Mendeleev. Educ. Chem. 57-59.

8

LOS QUE PUDIERON SER MENDELEEV Y SUS SUCESORES. INTENTOS INFRUCTUOSOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y MODIFICACIONES NOTABLES A LA TABLA PERIÓDICA DE MENDELEEV

Dr. Teodoro S. Kaufman

Instituto de Química Rosario (IQUIR, CONICET-UNR) y
Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario
Suipacha 531, 2000 Rosario, República Argentina.
Email: kaufman@iquir-conicet.gov.ar

Ninguna ley de la naturaleza, ha sido establecida de una sola vez; su reconocimiento siempre ha estado precedida por muchos presentimientos. Si bien Mendeleev es actualmente reconocido de manera universal como el padre de la *Tabla Periódica de los Elementos*, por su exitoso proceso de sistematizar la disposición de los elementos a través del enunciado de la *Ley Periódica*, no estuvo solo en el intento,¹ pudiéndose contar hasta seis co-descubridores de la Tabla Periódica (Béguyer de Chancourtois, Newlands, Odling, Hinrichs, Meyer y Mendeleev), indicio de un esfuerzo esencialmente pan-europeo de investigadores coetáneos por clasificar lógicamente los elementos.²

Los cinco criterios que debería cumplir la definición de una Tabla Periódica en el sentido del sistema periódico clásico son:

Contener una secuencia de pesos atómicos de los elementos conocidos, ordenada crecientemente.

Definir los lugares en la Tabla basados en dicha secuencia.

Dividir la secuencia de pesos atómicos en secciones, dando lugar a grupos reconocibles de elementos análogos dispuestos en filas o columnas.

Exhibir relación entre periodicidad y valencia.

Proveer o evidenciar una división entre grupos principales y sub-grupos.

Es así, que varios científicos de diferentes países – particularmente aquéllos que presentaron resultados muy similares en la década de 1860- reclamaron la primacía del descubrimiento una vez que los hallazgos de Mendeleev se hicieron públicos.

Por otra parte, en conocimiento de las reglas de clasificación, el descubrimiento de nuevos elementos permitió que los sucesores de Mendeleev reformularan la Tabla Periódica, que evolucionó hasta su composición actual. Entre los precursores y eventuales competidores del genial ruso, como así entre sus sucesores, se destacan:

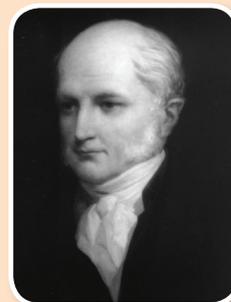


Antonie-Laurent de Lavoisier (1743-1794): Este químico francés, padre de la química moderna al que se le debe el principio de conservación de la materia, escribió en 1789 el *Traité Elementaire de Chimie*, considerado el primer libro de texto moderno de química. Este tratado contenía una lista de los elementos (sustan-

cias que no pueden continuar siendo descompuestas en otras más simples) conocidos, que incluía oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, fósforo, mercurio, zinc y azufre, además de luz y "calórico". Su elemental modelo sólo clasificaba los elementos en metales y no-metales (además de "fluidos elásticos" y "tierras"), por lo que no tuvo gran aceptación.³

William Prout (1785-1850):

En 1815, este químico y médico inglés estableció una teoría que considera a todos los elementos químicos como formados por agregados sucesivos de hidrógeno. En consecuencia, el peso atómico de cada elemento correspondería al peso atómico del hidrógeno multiplicado por un número entero, en orden ascendente, con lo que sería posible ordenar los elementos conocidos. Esta teoría quedó desacreditada por las desviaciones observadas experimentalmente entre los pesos atómicos y los números enteros; para 1860 las determinaciones más exactas de los pesos atómicos, condujeron a su completo abandono.⁴



Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849): Hijo de un humilde cochero, a los 14 años entró de aprendiz en una farmacia y a los 17 ya era asistente, logrando trabajar en varios establecimientos. Determinado a remontar sus dificultades iniciales de solvencia económica, este brillante autodidacta bávaro protegido de Johann Goethe logró ser Profesor de Química y Tecnología en la Universidad de Jena, sin haber pasado por la escuela secundaria ni contar con educación superior formal, siendo conocido actualmente como el padre de la catálisis.⁵



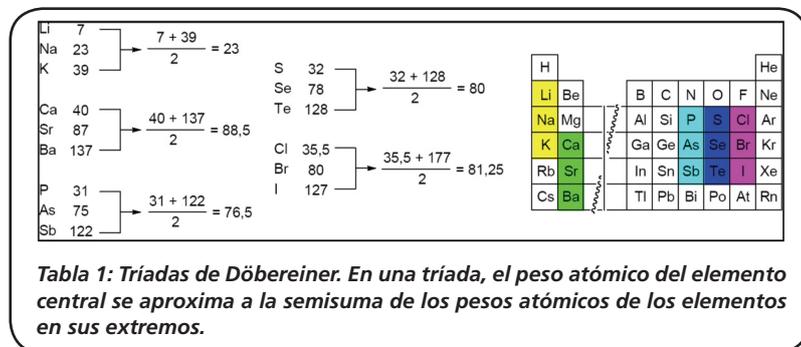
Este químico alemán realizó una serie de trabajos que ya en 1817 le permitieron identificar grupos de elementos con propiedades químicas similares, como litio, sodio y potasio; calcio estroncio y bario, azufre, selenio y telurio, como así cloro, bromo e yodo.

Al reconocer estas regularidades, este científico alemán propuso la Ley de las Tríadas (Tabla 1), señalando

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

que en una tríada (de elementos con propiedades químicas similares), el elemento del medio presenta un peso atómico equivalente a la semisuma de los otros elementos de la tríada y observando que las densidades de algunas tríadas seguían patrones similares.

Recién en 1829 publicó sus resultados, donde pro-



pliría los criterios números 1 y 3.

En una época de comunicación relativamente difícil y a pesar de haber informado sus resultados a la Academia Francesa de Ciencias y publicar los mismos en su revista oficial, por usar términos geológicos en lugar de vocabulario químico y debido a que el editor omitió la inclusión del diagrama de su método, necesario para transmitir eficazmente sus ideas, su trabajo pasó casi desapercibido. Chancourtois fue uno de los que infructuosamente salió a puntualizar su contribución después de que los trabajos de Mendeleev se hicieran públicos. Sin embargo, si bien puede atribuírsele haber descubierto la periodicidad, de Chancourtois fracasó en determinar la frecuencia de la misma.

puso que si se ordenan los elementos por sus masas atómicas y se representan gráficamente ciertas propiedades frente a esas masas atómicas se obtienen curvas ondulantes, señal de la periodicidad de dichas propiedades como función de la masa atómica.

Como otros investigadores europeos, el famoso químico Leopold Gmelin (1788-1853) de la Universidad de Heidelberg también efectuó varias contribuciones a la teoría aportando nuevas tríada. Con unos 60 elementos conocidos, hacia 1852 se habían identificado unas 20 tríadas. En una época de incesantes descubrimientos, este modelo perdió vigencia rápidamente frente al incesante hallazgo de nuevos elementos que era incapaz de acomodar y la inexactitud de algunos pesos atómicos que se traducían en dificultades para conformar nuevas tríadas. Las tríadas fueron extendidas a cuartetos (Fluor, cloro, bromo e yodo; magnesio, calcio, estroncio y bario) en 1851 por el químico francés de la Sorbona Jean Baptiste A. Dumas (1800-1884).

Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois (1820-1886): Este geólogo francés, Profesor de la Escuela de Minas de París, es considerado el primero en darse cuenta de la periodicidad de propiedades físicas en los elementos. Buscando hallar una función matemática para expresar la variación de los pesos atómicos, ordenó los elementos conocidos (incluyendo algunos iones y compuestos) en orden creciente de su peso atómico, disponiéndolos como una espiral sobre un cilindro, cuyo paso era de dieciseis unidades de masa por vuelta.⁶

Béguyer de Chancourtois obtuvo de ese modo lo que llamó la *hélice telúrica* (Figura 1), una forma primitiva de tabla periódica que publicó en 1862 y que le permitió observar la presencia de elementos con propiedades similares a intervalos regulares de siete elementos, hacer algunas predicciones sobre la estequiometría de algunos óxidos metálicos y enunciar que "las propiedades de los elementos son propiedades de números". Esta Tabla cum-

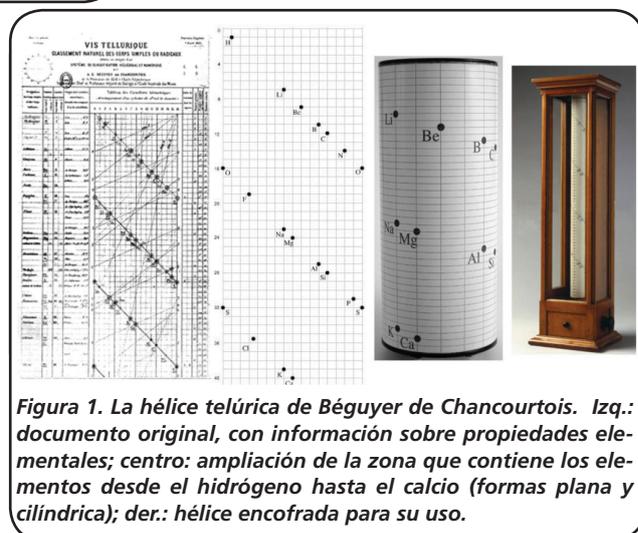
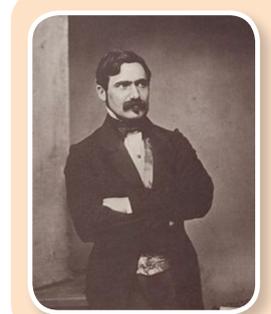


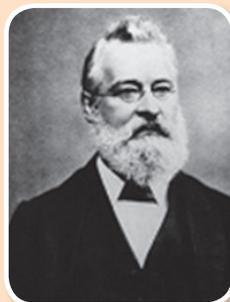
Figura 1. La hélice telúrica de Béguyer de Chancourtois. Izq.: documento original, con información sobre propiedades elementales; centro: ampliación de la zona que contiene los elementos desde el hidrógeno hasta el calcio (formas plana y cilíndrica); der.: hélice encofrada para su uso.

Max von Pettenkofer (1818-1901): Este químico bávaro, considerado el padre de la higiene, estudió farmacia y medicina en Munich, graduándose en 1843 para, luego de trabajar un corto tiempo con Justus von Liebig en Giessen, ser designado químico en la casa de la moneda de Munich en 1845. En 1847 fue electo profesor extraordinario de química en la Facultad de Medicina, donde publicó trabajos sobre relaciones numéricas entre pesos atómicos de elementos análogos.⁷⁸ En 1850, precediendo a Dumas, formó "series homólogas" de más de tres elementos cuyas diferencias entre pesos de combinación eran aproximadamente constantes, extendiendo las tríadas de Döbereiner.

Pettenkofer sugirió que entre elementos químicamente semejantes, las diferencias sucesivas de pesos atómicos eran constantes o eran múltiplos de una constante. Es decir, que entre dichos elementos, los pesos atómicos pueden derivarse mediante una progresión aritmética cuyo inicio depende del peso atómico más bajo y cuyo incremento es el múltiplo de un entero. Así, en la serie oxíge-



no (16), azufre (32), selenio (86) y telurio (128), la diferencia entre los dos primeros es 16, lo cual equivale a 2×8 , y entre los otros dos es 48, o sea 6×8 .



John Alexander Reina Newlands (1837-1898):

Hijo de un ministro presbiteriano escocés y madre de ascendencia italiana, su educación formal fue de sólo un año (1856) en el Royal College of Chemistry de Londres, luego de lo cual ingresó como Profesor de

Química de la Escuela de Medicina

para Mujeres de Londres, donde se dedicó a buscar patrones de comportamiento entre los compuestos orgánicos e inorgánicos. Trabajando de manera independiente de otros colegas del continente, este químico inglés fue el primero en proponer públicamente el concepto de periodicidad entre los elementos.

Entre 1863 y 1866 publicó una serie de trabajos que culminaron con la clasificación de los 56 elementos conocidos en ese entonces en 11 grupos, sobre la base de sus propiedades

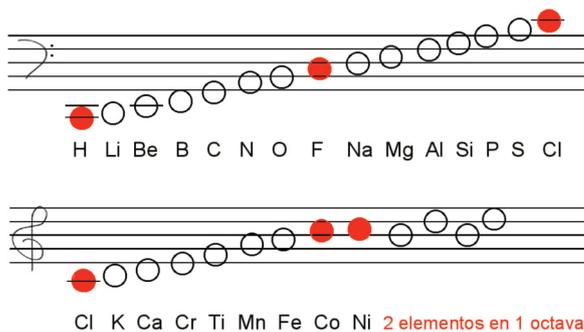
físicas. Newlands notó por una parte que si ordenaba a los elementos por sus pesos atómicos, aquellos que tenían números consecutivos frecuentemente se encontraban en el mismo grupo u ocupaban posiciones similares en grupos diferentes (Tabla 2).

Por otra parte, observó la existencia de pares de elementos similares, que diferían en su peso atómico por un múltiplo de siete (Tabla 3) como las relaciones entre una nota y su octava en la escala musical, por lo que ordenó los elementos en una Tabla de siete columnas.

Grupo I Alcalinos	Li= 7	(Li + K)/2= Na= 23	K= 39	Li + 2K= Rb= 85	Li + 3K= Cs= 123	Li + 4K= 163 desconocido	Li + 5K= Tl= 204
Grupo II Alcalino-térreos		Mg= 12 (24)	Ca= 20 (40)	(Ca + Ba)/2= Sr= 43,8 (87,6)	Ba= 68,5 (137)		
Grupo III Térreos	Be= 6,9	2Be= Al= 13,7	Zr + Al= Ce= 47	Zr + 2Al= Th= 59,6	Ce ≈ La ≈ Di	2Be + 2Zr= Mn= 55,2	Al, Cr, Mn y Fe dan sesquióxidos isomorfos
Grupo IV	Mg= 12 Cd= 28,0 Cr= 26,7	(Mg + Cd)/2= Zn= 32,6 (65,2)	Co= Ni= 29,5 (59,0)	(Co + Zn)/2= Cu= 31,7 (63,4)	Cd/2= Fe= 28 (56)	(Fe + Cr)/2= Mn= 27,6 (55,2)	Protóxidos isomorfos con MgO
Grupo V	F= 19	Cl= 35,5	(Cl + I)/2= Br= 80	I= 127			
Grupo VI	O= 8 (16)	S= 16 (32)	(S + Te)/2= Se= 39,5 (79)	Te= 64,2 (128,4)			
Grupo VII	N= 14	P= 31	(P + Sb)/2= As= 75	Sb= 120,3	Sb + 3P= Bi= 213	(As + Sb)/2= Os= 99,6	Bi - N ≈ Os= 99,6
Grupo VIII	C= 6 (12)	Si= 14,2 (28,4)	Ti= 25 (50)	Sr= 58 (116)			Sn - Ti ≈ 3 (Ti - Si)
Grupo IX	Mo= 46	(Mo + W)/2= V= 68,6	2 Mo= W= 92	4Mo= Ta= 184			
Grupo X	Rh= 52,2	Ru= 52,2	Pd= 53,3	Rh ≈ Ru ≈ Pd > 0,5 (Pt, Ir)	Pt= 98,7	Ir= 99	2Pt < Au Au= 197
Grupo XI	Hg= 100	(Hg + Ag)/2= Pb= 103,7	Ag= 108				

Tabla 2: Relaciones entre equivalentes obtenidas por Newlands.

Menor equivalente	Miembro siguiente	Dif.	Miembro inferior	Miembro superior	Dif.
Mg= 12	Ca= 20	8	Li= 7	K= 39	32
O= 8	S= 16	8	Mg= 12	Cd= 56	44
C= 6	Si= 14,2	8,2	Mo= 46	W= 92	46
Li= 7	Na= 23	16	S= 16	Te= 64,2	48,2
F= 19	Cl= 35,5	16,5	Ca= 20	Ba= 68,5	48,5
N= 14	P= 31	17	P= 31	Sb= 120,3	89,3
			Cl= 35,5	I= 127	91,5



Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº
H	1	F	8	Cl	15	Co/Ni	22	Br	29	Pd	36	I	42	Pt/Ir	50
Li	2	Na	9	K	16	Cu	23	Rb	30	Ag	37	Cs	44	Os	51
Be	3	Mg	10	Ca	17	Zn	24	Sr	31	Cd	38	Ba/V	45	Hg	52
B	4	Al	11	Cr	18	Y	25	Ce/La	33	U	40	Ta	46	Tl	53
C	5	Si	12	Ti	19	In	26	Zr	32	Sn	39	W	47	Pb	54
N	6	P	13	Mn	20	As	27	Di/Mo	34	Sb	41	Nb	48	Bi	55
O	7	S	14	Fe	21	Se	28	Rh/Ru	35	Te	43	Au	49	Th	56

Tabla 3: Contribuciones de Newlands (1863-1866). "Si los elementos se acomodan en el orden de sus equivalentes, con unas pocas transposiciones, se observará que los elementos que corresponden a un mismo grupo usualmente aparecen en la misma línea horizontal". Arriba. Relaciones entre pesos equivalentes según Newlands (1863). Izquierda: Cálculo de las diferencias entre pesos equivalentes entre los elementos de menor peso equivalente y los siguientes en cada triada. Centro: Diferencias entre pesos equivalentes de los miembros superior e inferior de cada triada. Derecha: Imagen gráfica de la Ley de las Octavas de Newlands. Abajo: Ley de las Octavas de Newlands en su versión de 1866.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

Esta "Ley de las octavas" quizás una analogía extendida de las "Ley de las tríadas" fue enunciada como "un dado elemento exhibirá comportamiento análogo al octavo elemento que le sigue en la Tabla".⁹

La misma no dejaba lugar para la inclusión de nuevos elementos, presentaba octavas de hasta 10 elementos y fallaba notablemente con elementos de pesos atómicos superiores al calcio. Por ello, fue ridiculizada en su tiempo por la Royal Society ante quien lo presentó, y la publicación de una parte importante de las propuestas de Newlands fue rechazada. Desmoralizado y humillado, Newlands abandonó su trabajo, continuando su vida como químico jefe en una fábrica de azúcar.

Newlands reconoció la periodicidad de las propiedades elementales y fue capaz de predecir, un lustro antes que Mendeleev, la existencia del germanio (PA= 72,6), cuyo peso atómico –aproximadamente 73- debería ser el promedio entre el silicio y el estaño; sin embargo, no pudo formular un sistema de clasificación autoconsistente basado en esta periodicidad, ya que no dejó en su Tabla lugar para alojar al mismísimo germanio.

El trabajo de Newlands cumple con los criterios números 1 y 2, satisfaciendo parcialmente o de un modo implícito los restantes criterios.

Conocido el trabajo de Mendeleev, Newlands reclamó la primacía en la publicación, reclamo que no fue apoyado por la Royal Society. Newlands publicó una colección de sus trabajos sobre atomicidad en 1884 bajo el título de *Discovery of the Periodic Law*. El primer reconocimiento de la Royal Society hacia Newlands se produjo en 1884, cuando fue invitado a dar una conferencia sobre la Ley Periódica y en 1887, cuando lo condecoraron con la medalla Davy.

Cincuenta años después de su frustración, la teoría sobre enlace de valencia (Gilbert N. Lewis, 1916) y la teoría del octeto sobre el enlace químico (Irving Langmuir, 1919), rescataron el valor y la importancia de esta periodicidad, convirtiéndola en una de las más importantes generalizaciones de la teoría química moderna. En 1998, al conmemorarse el centenario de su fallecimiento, la ahora denominada Royal Society of Chemistry presidió la colocación de una placa alusiva en su casa natal, que reza "J. A. R. NEWLANDS, 1837-1989, QUÍMICO, el descubridor de la ley periódica de los elementos NACIÓ Y SE CRIÓ AQUÍ. Royal Society of Chemistry".



William Odling (1829-1921): Este químico inglés, sucesor de Faraday como Profesor de Química en la Royal Institution de Londres y Profesor de Química en el Worcester College de Oxford, desarrolló las ideas de Newlands y sus predecesores y publicó en 1857 su agrupación de elementos en base a

propiedades químicas y físicas análogas en 13 grupos en función de sus pesos atómicos.

Fue uno de los asistentes al Primer Congreso Internacional de Química en Karlsruhe, en 1860 y en 1864 aceptó los pesos atómicos de Cannizzaro. En 1865 tras revisar el sistema de Newlands y, probablemente influido por los trabajos de Dumas y Meyers, presentó una Tabla formalmente muy similar a la de Mendeleev (Tabla 4). Si bien Odling enfatizó los conceptos de valencia máxima y periodicidad, no fue capaz de ofrecer una buena explicación a las relaciones entre los elementos. Cronológicamente, esta última Tabla fue la primera en cumplir con los cinco criterios exigibles.

Grupo					Grupo				
I	F	Cl	Br	I	VIII	Be	Yt	Th	
II	O	S	Se	Te	IX	Al	Zr	Ce	
III	Mg	N	P	As	X	Cr	Mn	Fe	Co Ni Cu
IV	B	Si	Ti	Sn	XI	Mo	V	W	Ta
V	Li	Na	K		XII	Hg	Pb	Ag	
VI	Ca	Sr	Ba		XIII	Pd	Pt	Au	
VII	Mg	Zn	Cd						

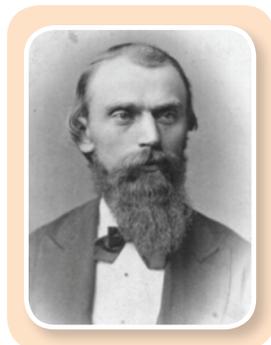
Grupos de Tripletes				
H= 1				Mo= 96 W= 184 Au= 196,5 Pt= 197
Li= 7				
Be (G)= 9				
B= 11	Al= 27,5		U= 120	
C= 12	Si= 28		Sn= 118	
N= 14	P= 31	As= 75	Sb= 122	Bi= 210
O= 16	S= 32	Se= 79,5	Te= 129	
F= 19	Cl= 35,5	Br= 80	I= 127	
Na= 23	K= 39	Rb= 85	Cs= 133	
Mg= 24	Ca= 40	Sr= 87,5	Ba= 137	
	Ti= 50	Zr= 89,5	Ta= 138	Th= 231,5
		Ce= 92		
	C= 52,5	Mo= 96	V= 137	
	Mn= 55		W= 184	
	Fe= 56			
	Co= 59			
	Ni= 59			
	Cu= 63,5			

Tabla 4. Clasificación de los elementos según Odling. Arriba: Tríadas extendidas. Clasificación de 1857. Izq.: Clasificación de 57 elementos propuesta en 1864; Ro es rodio. Der.: Clasificación de 45 elementos. Apéndice del texto de Odling Un curso de Química Práctica. Segunda Edición, febrero de 1865; un manual escrito para estudiantes de medicina. Siguiendo la nomenclatura de la época, en el original se simboliza al berilio con la letra G (glaucinio). Mendeleev tomó contacto con una traducción de esta tabla el 3 de abril de 1869, tres semanas después de la primera comunicación de sus sistema periódico, gracias a su colega Fédor Nicolaievich Savchenkov, traductor del libro de Odling en 1867.

En la Tabla de Odling de 1865, los grupos se encuentran dispuestos de modo horizontal en orden de pesos atómicos crecientes y se deja lugares vacantes para elementos no descubiertos (que incluyen los equivalentes de eka-boro, eka-aluminio y eka-silicio de Mendeleev). Odling superó el problema del telurio y el yodo de Mendeleev y ubicó a los elementos talio, plomo, mercurio y platino en los lugares correctos, algo que Mendeleev no logró hacer en su primer intento. Sin embargo, en su ordenamiento no fue capaz de asignar una mayor cercanía a los elementos del grupo del sodio de los del potasio ni explicar la razón de la existencia de 13 grupos.

Se sospecha que Odling, siendo Secretario de la London Chemical Society, fue instrumental en desacreditar los esfuerzos de Newlands de 1864 para publicar su Tabla. Habiendo subestimado el valor de sus hallazgos, Odling carece de reconocimiento público con respecto a la Tabla Periódica. Sin embargo, fue Odling quien propuso que el peso atómico del oxígeno es 16 en lugar de 8 y en 1855 sugirió la tetravalencia del carbono, idea que influyó más tarde sobre

August Kekulé, a quien se acredita actualmente por sus notables contribuciones a la teoría estructural de la química orgánica.



Gustav Detlef Hinrichs (1836 - 1923): Este danés graduado en Copenhague y emigrado de una Europa turbulenta a América en 1863, hizo su camino hasta llegar a ser Profesor de Ciencias Físicas de la Universidad de Iowa, EEUU, en medio de la guerra civil americana. Publicó en 1867 una carta periódica radial que agrupaba los elementos en distintos "géneros".¹⁰ La misma

presentaba el hidrógeno en el centro, a partir del cual se generaban los elementos, recordando a la hipótesis de Prout (Figura 2).¹¹

Más adelante publicó otra clasificación para cuya confección, según comenta en su libro de 1894 *Los verdaderos pesos atómicos de los elementos y la unidad de la materia* tomó en cuenta el peso atómico y diferentes propiedades de los elementos, incluyendo su densidad y volatilidad con los que construyó "géneros", expresando que "al imprimir los símbolos de los elementos a distancias de los de sus géneros aproximadamente proporcionales a sus pesos atómicos, se obtiene una carta que representa la clasificación de los elementos".

Julius Lothar Meyer (1830-1895): Trabajando independientemente de Mendeleev y bajo la influencia del italiano Stanislao Cannizzaro a quien escuchó personalmente durante el congreso de Karlsruhe de 1860, este científico alemán fue el primero en reconocer el "comportamiento periódico", es decir la repetición del patrón de variación de una propiedad. Presentó en 1864 una primera clasificación de 28 elementos según sus volúmenes atómicos, teniendo en cuenta su valencia o capacidad de combinación y haciendo hincapié en la regularidad de las diferencias de pesos atómicos de elementos relacionados.¹²

Meyer perfeccionó su idea elaborando para 1868 una Tabla que entregó a un colega para su evaluación antes de publicarla (Tabla 5). La misma superaba la de 1864 y contenía los elementos de transición, resultando muy similar a la que Mendeleev, presentaría al año

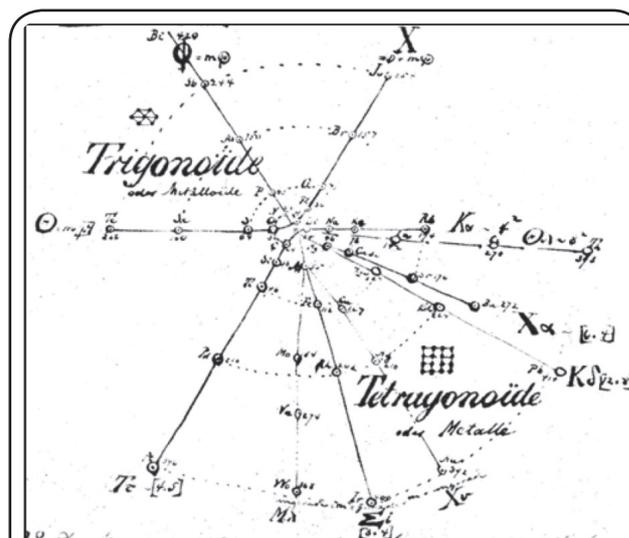
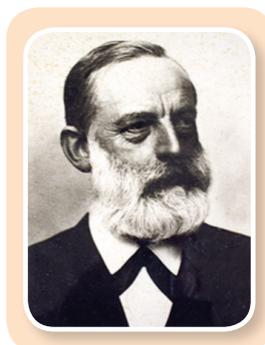


Figura 2: Tabla espiral de Hinrichs aparecida en su libro *Atomechantik* de 1867, con el hidrógeno en su centro. Se observa que el radio Θ a las 9 presenta los elementos oxígeno, azufre, selenio y telurio en orden preciso; el radio Φ a las 11 muestra certeramente los elementos nitrógenos, fósforo, arsénico, antimonio y bismuto y el radio X a la 1 representa de modo exacto a la serie fluor, cloro, bromo e yodo. Siguiendo en progresión horaria, se observa la serie de los metales alcalinos litio, sodio, potasio y rubidio correctamente emplazada sobre el radio K a las 3; le siguen el entonces recientemente descubierto cerio, incorrectamente dispuesto entre indio y talio. Los alcalinotérreos magnesio, calcio, estroncio y bario continúan, en correcto orden sobre el eje $X\alpha$ a las 4, con el zinc y el cadmio desprendiéndose a la altura del magnesio, eje que culmina con el plomo, erróneamente dispuesto. Se observa además la triada cobre, plata y oro sobre el radio Xv a las 5, incorrectamente desprendiéndose del aluminio. También se observa una interesante relación entre el silicio y el titanio, mostrados sobre el mismo radio, a las 7.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	B= 11,0	Al= 27,3				In= 113,4?		Tl= 202,7
	C= 11,97	Si= 28				Sn= 117,8		Pb= 206,4
	N= 14,01	P= 30,9	Ti= 48	As= 74,9	Zr= 89,7	Sb= 122,1		Bi= 207,5
	O= 15,96	S= 31,98	V= 51,2	Se= 78	Nb= 93,7	Te= 128?	Ta= 182,2	
	F= 19,1	Cl= 35,38	Cr= 52,4	Br= 79,75	Mo= 95,6	I= 126,5	W= 183,5	
			Mn= 54,8		Ru= 103,5		Os= 198,6?	
			Fe= 55,9		Rh= 104,1		Ir= 196,7	
			Co= Ni= 58,6		Pd= 106,2		Pt= 196,7	
Li= 7,01	Na= 22,99	K= 39,04		Rb= 85,2		Cs= 132,7		
			Cu= 63,3	Sr= 87,0	Ag= 107,66		Au= 196,2	
Bc= 9,3?	Mg= 23,9	Ca= 39,9	Zn= 64,9		Cd= 111,6	Ba= 136,8	Hg= 199,8	

Tabla 5: Ordenamiento de la Tabla Periódica de Julius Lothar Meyer de 1870, con la clasificación de 55 de los elementos conocidos en 11 grupos y 9 periodos de hasta 8 elementos cada uno (excepto el grupo 4). Si bien contiene al recién descubierto indio al que atribuye un peso atómico más correcto que Mendeleev, no provee una ubicación para el hidrógeno. Clasifica correctamente cobre, plata y oro, como así zinc, cadmio y mercurio y, sin precisar su existencia, marca sendos lugares vacíos en el grupo V, que serán ocupados por galio y germanio y señala la posición que ocuparía el escandio en el grupo IV, posicionando además en los lugares correctos a los elementos indio, talio, estaño y plomo. Las posiciones relativas de los elementos de transición que ubica en los grupos IV, VI y VII son notablemente exactas.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

siguiente. El trabajo de Meyer, que ha llevado a muchos a considerarlo el co-creador de la Tabla Periódica de Mendeleev, apareció publicado por primera vez en una revista científica en 1870, unos pocos meses después de la presentación del trabajo del ruso.

Algunas características superiores de la Tabla de Meyer movieron a Mendeleev a modificar ligeramente su Tabla en 1870. En general, mientras Mendeleev dividió claramente la importancia de las consecuencias químicas de la periodicidad, Meyer estaba más impresionado por la periodicidad de las propiedades físicas de los elementos y no pensó que podría emplear su Tabla para efectuar predicciones sobre propiedades de los elementos.

Aunque nunca tuvo en mente utilizar su trabajo para predecir nuevos elementos o corregir datos de los ya existentes, Meyer aseguró que los lugares en blanco dejados en su Tabla podrían ser llenados por nuevos elementos a descubrirse y que eventualmente algunos elementos podrían ser cambiados de posición en función de nuevos conocimientos.

se denominó número atómico. En 1914 el joven físico británico Henry G. J. Moseley descubrió que al hacer incidir un haz de rayos X sobre un elemento, los átomos de éste emiten rayos X con una frecuencia característica, que es función de su número de protones, es decir, de su número atómico. Este hallazgo le permitió rediseñar la Tabla Periódica en función de los números atómicos de los elementos, los que así adquirieron sentido científico.¹³

Moseley reformuló la Ley Periódica estableciendo que las propiedades físicas y químicas de los elementos son funciones periódicas de sus números atómicos. El descubrimiento de los isótopos reforzó este concepto. El resultado fue el embrión de la Tabla Periódica de Mendeleev-Moseley que conocemos en la actualidad.¹⁴ Por analogía con Mendeleev, los trabajos de Moseley también permitieron la predicción de la existencia de nuevos elementos (tecnecio, renio y praseodimio), descubiertos entre 1925 y 1937.

Glen T. Seaborg (1912-1999):

Conocido como el padre de los elementos transuránicos, en 1945 y durante su trabajo relacionado con el Proyecto Manhattan sobre la bomba atómica estadounidense, este científico norteamericano de ascendencia sueca y Premio Nobel de 1951, experimentó imprevistas dificultades en el aislamiento de compuestos radioactivos de americio (95) y curio (96).¹⁵

Sospechando que ello se debería a una clasificación inapropiada de los mismos y en contra la opinión de sus colegas, propuso la inclusión de los mismos en una nueva serie, los actínidos, por semejanza con los lantánidos, reconfigurando así la Tabla Periódica (Figura 3).

Los trabajos de Seaborg predicen la existencia de

Los sucesores de Mendeleev



Henry G. J. Moseley (1887-1915):

En 1903, el inglés Sir Ernest Rutherford descubrió que la radioactividad es causada por la ruptura de los átomos y en 1911, A. van den Broek propuso que el peso atómico se relacionaba con la carga nuclear, término que luego

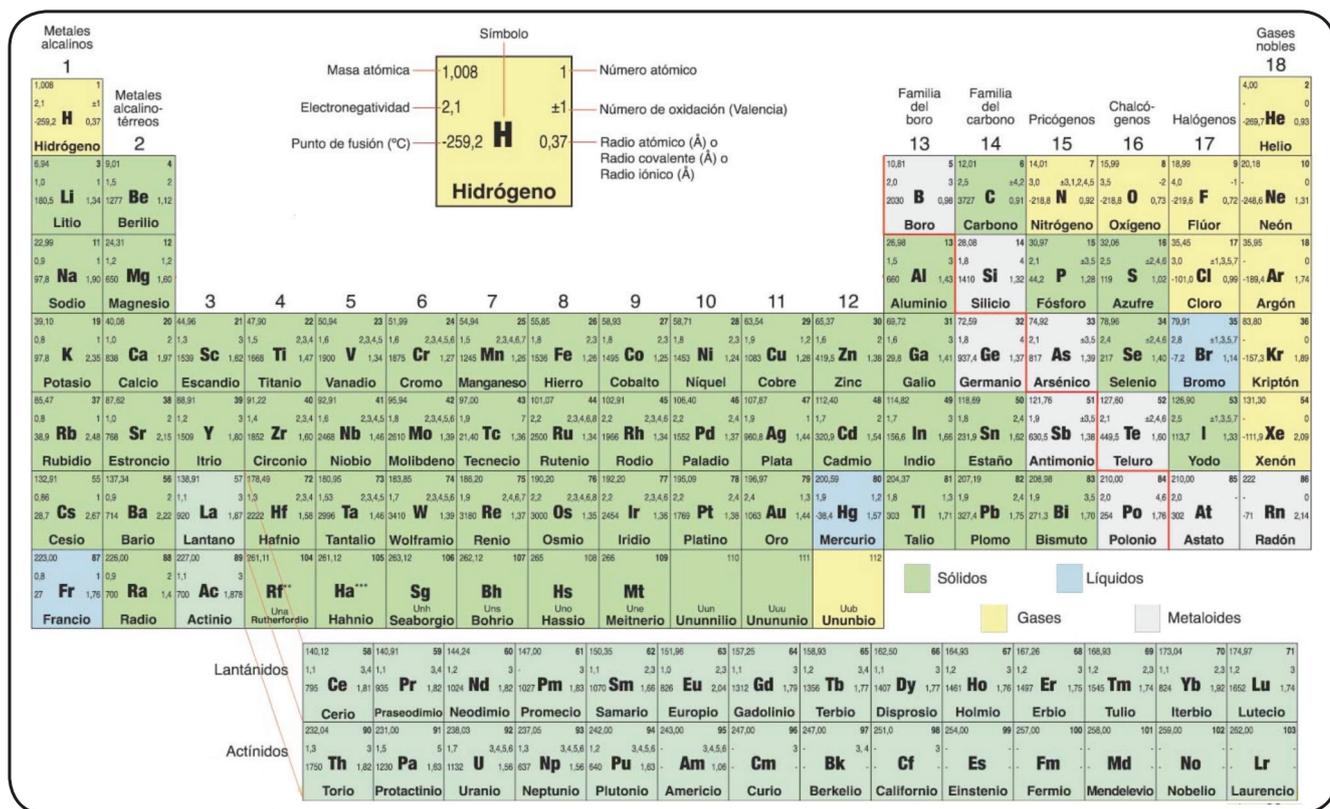
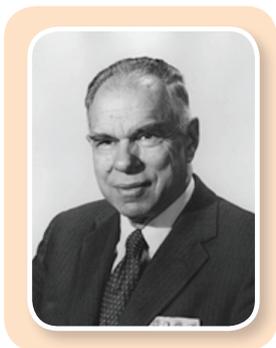


Figura 3. Moderna versión de la Tabla Periódica. Esta consigna 109 de los 117 elementos conocidos, incluyendo el mendeleev como elemento número 101.



una serie de elementos muy pesados que comprenden los transactínidos (104 a 121) y los superactínidos (122 a 153). Hasta la fecha se conocen 117 elementos desde el hidrógeno hasta el elemento número 118, que ha sido producido artificialmente en fecha reciente. El elemento número 117 es el único de la serie que aún no ha sido preparado.¹⁶

El legado de Mendeleev

Mendeleev fue un científico universal.¹⁷ Recordado principalmente en Occidente por su desarrollo de la *Tabla Periódica de los Elementos*, este científico ruso hizo un sinnúmero de otras contribuciones importantes a la química. En los últimos años de su vida, Mendeleev mismo señaló que "cuatro temas me han hecho de renombre, la Ley Periódica, el estudio de la elasticidad de los gases, mi entendimiento de las soluciones como asociaciones y los *Principios de Química*".

Por su parte, L. A. Tchugayev, un químico ruso e historiador de la ciencia, lo caracterizó como "un químico genial, un físico de primera clase, un investigador fructífero en los campos de la hidrodinámica, la meteorología, la geología, ciertas ramas de la tecnología química (explosivos, petróleo y combustibles, por ejemplo) y otras disciplinas afines a la química y la física; un completo experto en industria química y en industria en general y un pensador original en el terreno económico". Sin embargo, además de su *Tabla Periódica*, se destacan en Mendeleev:

Su producción científica, que supera los 250 artículos y voluminosos libros y tratados.

Su investigación, que fue responsable de proveer a Rusia avances tecnológicos.

Sus estudios en meteorología, que condujeron al desarrollo de un barómetro exacto.

Fue miembro fundador de la Sociedad Química Rusa (1868).

Sus notables contribuciones al estudio de soluciones, que además le permitieron establecer el estándar de graduación alcohólica del vodka, una bebida nacional rusa.

Fue el primer Director de la Oficina Nacional de Pesas y Medidas, desde 1893 hasta su muerte; la organizó y dispuso la adopción en Rusia el sistema métrico decimal.

Favoreció la incorporación de la mujer al mundo del trabajo.

Sugirió la gasificación del carbón, seguida del transporte del gas obtenido por oleoductos.

Fue consejero en temas de agricultura, minería y petroquímica, entre otros.

Contribuyó a abrir vías de comunicación entre los científicos de Europa y Norteamérica.

Descubrió la existencia de la temperatura crítica (1860).

Resolvió la ecuación de estado para un gas ideal, generalizando la ecuación de Clapeyron (1874).

Desarrolló la teoría de la "hidratación" de solucio-

nes (1865-1887).

Sugirió la hipótesis de generación de petróleo a partir de carburos metálicos (1877).

Sugirió la destilación fraccionada como estrategia para refinar petróleo y avanzó la idea de la gasificación subterránea del carbón (1888).

Inventó una variedad de pólvora sin humo (1890-1892).

Desarrolló la metrología en Rusia, como así la prospección geológica y la aplicación de fertilizantes en agricultura.

Por último y no menos interesante, debe destacarse que como tributo a su persona e inigualable trayectoria, el elemento número 101 descubierto en 1955 por el grupo de Albert Ghiorso, lleva el nombre de Mendeleevio, una distinción poco común.



Figura 4: Sellos postales rusos con la imagen de Dimitri Mendeleev. Las imágenes de la izquierda, conmemorativas del centésimo aniversario del nacimiento del científico, presentan como fondos sendas *Tablas Periódicas*. El sello de abajo a la derecha muestra en rojo, correcciones de identidad y peso molecular sobre galio e indio, elementos del mismo grupo que el aluminio. Galio fue uno de los elementos cuya existencia fue predica por Mendeleev, quien colocó a uranio en el lugar del indio en la primera versión de su *Tabla*.¹⁸

Referencias Bibliográficas y Notas

1. Scerri, E. (2007). *The Periodic Table: Its Story and its Significance*. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.
2. Kauffman, G. B. (1971). *The Periodic System of the Chemical Elements: The Search for Its Discoverer*. *Isis* 62, 314–327.
3. Agafoshin, N. P. (1977). *Ley Periódica y Sistema Periódico de los elementos de Mendeleiev*. Reverté, Madrid, España.
4. Benfey, O. T. (1952). Prout's Hypothesis. *J. Chem. Ed.* 29, 78–81.
5. Kauffman, G. B. (1999). From Triads to Catalysis: Johann Wolfgang Döbereiner (1780–1849) on the 150th Anniversary of His Death. *Chem. Educ.* 4, (5), 186–197.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

6. Rouvray, D. H. (2004). Elements in the history of the Periodic Table. *Endeavour* 28, 69-74.
7. Locher, W. G. (2001). Max von Pettenkofer – Life stations of a genius on the 100th anniversary of his death (February 9, 1901). *Int. J. Hyg. Environ. Health* 203, 379-391.
8. Evans, A. S. (1973). Pettenkofer revisited: the life and contributions of Max von Pettenkofer (1818-1901). *Yale J Biol Med.* 46, 161–176.
9. Smeaton, W. A. (1964). Centenary of the Law of Octaves. *J. Royal Inst. Chem.* 88, 271–274.
10. Zapffe, C. A. (1969). Gustavus Hinrichs, Precursor of Mendeleev. *Isis* 60, 461-476.
11. Kauffman, G. B. (1969). American forerunners of the periodic law. *J. Chem. Ed.* 46, 128.
12. van Spronsen, J. W. (1969). The Priority Conflict Between Mendeleev and Meyer. *J. Chem. Ed.* 46, 136-139.
13. Jaffe, B. (1971). Moseley and the Numbering of the Elements. Anchor Books, Nueva York, EUA.
14. Heilbron, J. L. (1966). The Work of H. G. J. Moseley. *Isis* 57, 336 – 364.
15. Seaborg, G. T. (1945). The Chemical and Radioactive Properties of the Heavy Elements. *Chem. Eng. News* 23, 2190–2193.
16. Hoffman, D. C.; Ghiorso, A.; Seaborg, G. T. (2000). *The Transuranium People: The Inside Story*. Imperial College Press, Londres, Reino Unido.
17. Woods, G. (2007). Mendeleev – the Man and his Legacy. *Educ. Chem.* 53-56.
18. Todas las imágenes de los científicos, las Figuras 1 y 2 y las reproducciones filatélicas fueron tomadas de Internet.

9

LA QUÍMICA Y SUS CONTEXTOS:
EL CASO FRITZ HABER**Dr. Miguel Katz**

Profesor Titular de Mecánica Cuántica, Departamento de Física
Instituto Superior del Profesorado "Dr. Joaquín V. González"
Email: muon_k@yahoo.com.ar

Resumen

En el presente trabajo se describen los aspectos más relevantes de la vida de Fritz Jakob Haber (1868 – 1934) quien fue galardonado con el Premio Nobel de Química 1918 por el desarrollo de la síntesis del amoníaco a partir de las sustancias elementales. Haber fue uno de los científicos cuyas actividades suscitaron más controversias durante el último siglo y esas actividades pueden servir como ejemplo para el análisis de la relación existente entre la ciencia y la visión de mundo del científico.

Biografía

Fritz Haber 1868 - 1934

Fritz Jakob Haber nació en Breslau, Silesia¹, el 9 de diciembre de 1868. Su familia, cuyos ancestros se registran desde comienzos del siglo XIX era una de las más antiguas y tradicionales de esa ciudad. Su padre Sigfried fue un hombre adinerado que comerciaba con colorantes y productos farmacéuticos. Su madre, Paula, murió cuando Fritz nació.

Nueve años después, su padre contrajo matrimonio con una mujer mucho más joven, Hedwig Hamburger. Durante su viudez trató al joven Fritz con una severidad espartana. Con el tiempo, la segunda señora Haber trajo al mundo tres hijas y Fritz fue, como mucho, el solícito hermano mayor.

Haber estudió en el Sankt Elisabeth Gymnasium, muy afín a la iglesia protestante más grande de Breslau, donde la mitad de los alumnos eran judíos como él. Fue un buen estudiante, aunque no sobresaliente.

En la escuela, se apasionó por la obra de Goethe y adquirió una amplia cultura literaria que se vio reflejada en el placer que siempre le procuró la poesía.

La influencia temprana más fuerte que recibió Haber fue de su tío Hermann, un liberal que editaba un diario en el cual Fritz luego contribuyó con algunos artículos. El tío Hermann también le facilitó su departamento para que Haber realizase sus primeros experimentos químicos. El interés de Fritz en la Química puede haber sido inducido por su padre quien poseía alguna experiencia química.

A los diecisiete años, aprobó el "Abitur"², y comenzó a trabajar en un negocio en Hamburgo pero meses después abandonó el puesto. Con alguna ayuda de su tío Hermann logró imponerse a los deseos de su padre que quería para Fritz un aprendizaje que lo pudiera preparar para hacerse cargo de los negocios familiares y fue a la Universidad. En el otoño de 1886, con 18 años se matriculó en la Universidad Friedrich Wilhelm de Berlín (hoy Universidad Humboldt) para estudiar Química y Física, cuyas cátedras eran impartidas por dos gigantes de la ciencia: August von Hoffmann y Hermann von Helmholtz.

En esa época era común cursar las asignaturas en distintas instituciones y al año siguiente estudió con Robert Wilhelm Bunsen en el Instituto de Heidelberg y luego regresó a Berlín para estudiar Química Orgánica con Carl Liebermann en la *Technische Hochschule Charlottenburg* (hoy la Universidad Tecnológica de Berlín). También estudió Filosofía, especialmente kantiana con Wilhelm Dilthey. Luego de hacer el servicio militar regresó a Universidad Friedrich Wilhelm y, en 1891, se graduó con "*cum laude*".³

Finalizados sus estudios regresó a Breslau sin tener una idea definida acerca de lo que hacer. A instancias de su padre, realizó algunos estudios de aprendizaje de la industria química. Entonces se dio cuenta que tenía una relativamente buena base teórica de Química, pero deficiencias muy serias en los aspectos vinculados a las aplicaciones de esa disciplina, particularmente, en Tecnología Química.

1. Hoy en día la ciudad se llama Wroclaw y pertenece a Polonia.

2. El Abitur era un examen final cuya aprobación habilitaba al estudiante para ingresar a cualquier universidad alemana.

3. En algunos países, el grado de desempeño en alcanzar el grado académico máximo de las universidades se indica con: *cum laude*, (latín: con alabanzas) que es el reconocimiento a un desempeño destacado en los estudios, *magna cum laude* (con grandes alabanzas), cuando se premia a un desempeño muy destacado y *summa cum laude* (con las máximas alabanzas) que es una distinción a un desempeño brillante.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

Un amigo de su padre, el Dr. Georg Lunge, también natural de Breslau, era Profesor de Tecnología Química en la *Eidgenössische Technische Hochschule en Zürich*. Haber le escribió y en 1892 fue a Zürich para trabajar como su asistente. Si bien Lunge era reconocido internacionalmente como una autoridad en esa especialidad, Haber, luego de varios meses en Suiza consideró que su trabajo era rutinario y nada creativo, por lo que decidió dedicarse a la investigación. Viajó a Jena y, como Asistente Junior, trabajó durante un año y medio con Ludwig Knorr en la Universidad local. Estando en Jena, publicó con Knorr un trabajo sobre los ésteres del ácido diacetosuccínico.

La conversión religiosa

En 1892, estando en Jena decidió convertirse al cristianismo. Para consternación de su padre, a los 24 años Haber fue bautizado en la Iglesia Evangélica de San Miguel de esa ciudad. Las razones de esta conversión la da Fritz Stern:

No he encontrado pruebas de que la conversión de Haber marcara un gran momento espiritual o intelectual. Sabía que la conversión traía aparejadas recompensas prácticas en forma de una mayor aceptación social. (...) igual que otros conversos, conservó la conciencia del distanciamiento histórico de los judíos, su orgullo afligido por el sufrimiento colectivo y los logros. La mayoría de sus amigos fueron judíos o de ascendencia judía (Stern, 1999).

La conversión de Haber agudizó el conflicto con su padre que, aunque era un hombre práctico, no había dado este paso. Tampoco lo había dado quien sería el mejor amigo de Haber, Richard Willstätter⁴, criado en circunstancias similares pero que tenía una opinión muy distinta de la conversión.

A los 24 años, Haber ambicionaba seguir una carrera académica, pero los judíos sólo tenían acceso a cargos académicos inferiores. En cambio a los cristianos de origen judío les resultaba algo más fácil acceder a nivel de catedráticos aunque el "estigma" de la religión de origen era imborrable.

El rechazo de Ostwald

Si bien Haber trabajaba con Knorr en resolver experimentalmente casos de tautomería, su interés estaba enfocado hacia la Fisicoquímica. En esa época, la meca de la investigación en esa especialidad estaba en la Universidad de Leipzig cuyo titular era Wilhelm Ostwald. El 21 de noviembre de 1893 le escribió una carta solicitándole una entrevista para exponerle sus ideas sobre el intercambio energético asociado a las

transformaciones químicas. La entrevista fue concedida pero cuando Haber llegó desde Jena, Ostwald lo hizo esperar un día entero. Nunca se publicó el motivo, pero Ostwald no lo aceptó como asistente. Tiempo más tarde, estando en Karlsruhe, Haber le volvió a escribir a Ostwald pidiéndole integrar su equipo de asistentes, pero nuevamente fue rechazado.

El viaje a Karlsruhe

Ante el fracaso de su intento de trabajar con Ostwald, Knorr le dio a Haber una carta de recomendación para Carl Engler, quien era Profesor Titular de Química en Karlsruhe. Haber viajó a Karlsruhe sin saber a ciencia cierta si Engler lo aceptaría. Pero, para este químico itinerante, el viaje le cambiaría la vida. Se quedaría en la *Technische Hochschule* de Karlsruhe durante diecisiete años dedicándose a la investigación en los temas que más le agradaban.

En Karlsruhe, comenzó como asistente del profesor de Tecnología Química, Hans Bunte y logró la habilitación con *Privatdozent*⁵ en 1896⁶. En 1898 fue nombrado Profesor Extraordinarius⁷.

En 1898, publicó *Grundriss der technischer Elektrochemie auf theoretischer Grundlage*⁸. Entre otros temas, el libro trata sobre la reducción del nitrobenzeno, lo que despertó el interés de muchos químicos orgánicos en los procesos de reducción electroquímica.

La relación con Ostwald no mejoraba. Dietrich Stolzenberg, cuenta que en una carta de Ostwald a un colega le expresó:

Estoy de acuerdo con Ud. que Haber debe ser "estacionado". Sus conocimientos son buenos y hace sus tareas racionalmente, pero sólo ha estado (trabajando) en electroquímica durante dos años y, por lo tanto, sus conclusiones no son seguras. (Stolzenberg, 2004a)

Sin embargo, poco a poco, se fueron acercando varios asistentes de Ostwald para hacer investigación con Haber, sobre electroquímica y otros temas.

El Matrimonio

Cuando Haber logró ser profesor en Karlsruhe comenzó a pensar en el matrimonio. Si bien su sueldo no era muy alto, recibía una ayuda de su padre, tenía algunos ingresos adicionales de fábricas textiles de Karlsruhe a las que asesoraba sobre el estampado de las telas. Su primer amor fue Clara Immerwahr (Figura 1) a quien conoció en Breslau cuando hizo el servicio militar.

4. Premio Nobel de Química 1915.

5. Catedrático no titular. Se puede equiparar a Profesor Adjunto.

6. Haber le envió su tesis de habilitación a Ostwald y en la carta le escribió "para reanudar la relación interrumpida..." dando a entender, por tercera vez, su interés en trabajar con él. Ostwald revisó su tesis positivamente, pero no le contestó.

7. Profesor no titular. Equivalente a Profesor Asociado.

8. Esquema de Electroquímica técnica basada sobre fundamentos teóricos.



Figura 1: Clara Immerwahr

Clara nació en la granja Polkendorff, cerca de Breslau el 21 de junio de 1870 donde creció con sus hermanos mayores Elli, Rose y Paul en el seno de una familia adinerada, culta, abierta y liberal que no le daba mucha importancia a su judaísmo. Era hija de Philipp Immerwahr un hombre muy culto que había estudiado Química y Anne Korn, prima de

Philipp. La familia pasaba regularmente todos los inviernos en Breslau. Los padres se habían preocupado en darles una buena educación a Clara y a sus hermanos. Inicialmente los niños recibían educación mediante docentes privados, pero a partir de 1877, comenzaron a ir a una escuela de Breslau durante el invierno y recibían educación privada en Polkendorff durante el verano.

Despierta y ansiosa por el conocimiento, Clara era una estudiante impaciente que, en particular, se interesaba por las ciencias naturales y se enfadaba fácilmente cuando sus profesores se referían a las ocupaciones propias del género femenino. Su hermano Paul asistió a la Universidad de Berlín donde obtuvo su doctorado en Química. Mientras que las hermanas sólo pensaban en casarse, ella envidiaba a su hermano por no poder estudiar como él.

Cuando, en 1890, la madre falleció de cáncer, Clara y su padre se mudaron a Breslau, dejando la finca de Polkendorff a cargo de la hermana Elli y su marido. En Breslau conoció a Fritz Haber cuando ambos tomaban lecciones de danza y se enamoró de él. Ella comenzó a estudiar en el Seminario para maestros, donde la Directora, reconoció sus aptitudes y le facilitó el libro de Jane Marcet *Conversations on Chemistry*. Encantado por el interés de Clara en los temas de la Química, su padre la ayudaría con sus estudios y le daría apoyo económico para sus investigaciones.

Después de completar sus estudios en el Seminario, Clara trabajó como institutriz, dio clases privadas y al mismo tiempo luchó por un permiso para que le tomen un examen preliminar, lo que le permitiría calificar para entrar a la Universidad. En 1895, se les permitió a las maestras asistir a las clases de la Universidad de Breslau como "visitantes".

En 1897 decidió convertirse al cristianismo como una manera de mejorar las relaciones en la Universidad ya bastante complicadas por el hecho de ser mujer.

En 1898, Clara Immerwahr fue la primera mujer en Alemania en aprobar el *Verbandsexamen*⁹ un examen de precalificación para el doctorado diseñado para elevar el nivel de los profesionales químicos. El 12 de diciembre de 1900, con la calificación de *magna cum laude*, defendió su tesis doctoral sobre la solubilidad de sales metálicas, dirigida por el Profesor Richard Abegg y dedicada "a su querido padre". De esta manera se convirtió en la primera mujer en obtener un doctorado en Química en una universidad alemana. En esta ocasión tomó como juramento. "Nunca, decir, escribir o enseñar algo contrario a mis creencias. Perseguir la verdad para llevar a la dignidad de la ciencia a las alturas que merece".

Después de trabajar como asistente de laboratorio del Profesor Abegg, trabajó brevemente como investigadora en la Universidad de Clausthal y dio conferencias sobre Física y Química en su hogar para varias organizaciones femeninas. Fue invitada varias veces a participar como jurado de tesis doctorales. No obstante, ella siempre se sintió relegada en los círculos universitarios dominados por los hombres.

En abril de 1901, ella y Fritz Haber se volvieron a encontrar y el 3 de agosto de ese mismo año se casaron y se establecieron en Karlsruhe.

Si bien Clara creía que podría armonizar el matrimonio con su carrera y poder seguir así sus investigaciones, pronto se dio cuenta que debía atender las tareas hogareñas con un marido cuyas ambiciones lo llevaban frecuentemente a agasajar e invitar a cenar a autoridades universitarias, colegas y empresarios. A esto se le añadieron las dificultades en el embarazo y el nacimiento, el 1° de junio de 1902, de un hijo enfermizo, Hermann. No obstante, ella colaboraba con su esposo en todo lo que podía y, especialmente, en su libro de texto sobre Termodinámica de reacciones en fase gaseosa "*Thermodynamik technischer Gasreaktionen*", que él publicó en 1905 y que dedicó "A mi amada esposa, Clara Haber, Ph.D., con el agradecimiento por su silenciosa colaboración". En las conferencias que daba, Clara se fastidiaba sobremanera cuando encontraba que la gente suponía naturalmente que habían sido escritas por el marido.

La búsqueda de un cargo titular

En Karlsruhe, Haber trabajaba con comodidad y era Profesor Extraordinarius. Poco a poco empezó a ser respetado por sus conocimientos de electroquímica, especialmente en reacciones en las que intervenían compuestos orgánicos.

En virtud de sus logros en el campo de la electroquímica, en 1902, la Sociedad Alemana de Electroquímica lo seleccionó como delegado a una convención que se celebraría en septiembre en New York, encargándole la evaluación del estado de la formación de los profes-

9. Llamado así porque los contenidos los establecía la *Verband der Direktoren selbständiger Unterricht - Institute für Chemie an deutschen Universitäten* (Asociación de Directores de Institutos Químicos independientes de las universidades alemanas).

sionales en la Química de los Estados Unidos, para lo que le otorgó una suculenta beca personal de 2000 marcos.

A su regreso de Estados Unidos, Haber se enfrentó a nuevas frustraciones en sus ambiciones profesionales. Él quería un puesto de Profesor Titular de alguna cátedra de Química. Intentó obtenerla en la Universidad de Viena, pero sus esperanzas se truncaron cuando informó a su principal evaluador de que era un *getaufter Jude*¹⁰. A un colega en Frankfurt le escribió: *“Me resulta muy difícil obtener una plaza en algún sitio. La religión y – aunque no resulte modesto decirlo – los éxitos me obstaculizan el camino por igual. No quieren a judíos o judíos bautizados en puestos importantes”*. Algo similar le ocurrió en 1903 cuando se postuló para el cargo de Profesor Titular en la Universidad de Stuttgart. Los postulantes eran sólo tres, y los otros dos tenían menos méritos que él. Sin embargo, no fue seleccionado lo que, de alguna manera, hace suponer que influyó su religión de origen.

Luego de publicar su libro sobre Termodinámica de reacciones en fase gaseosa, en 1906 publicó *“Experimental-untersuchungen über Zersetzung und Verbrennung von Kohlenwassertoffen”*¹¹ (Munich, 1906) y fue nombrado Profesor Titular de Fisicoquímica en Karlsruhe, consiguiendo al fin, a los treinta y ocho años, su meta académica. En ese cargo desarrolló un amplio y notable programa de investigación que abarcó desde temas de tecnología química hasta electroquímica y reacciones en fase gaseosa.

La síntesis de amoníaco

El logro máximo de Haber fue la síntesis del amoníaco a partir de las sustancias elementales. Varios científicos habían hecho estudios para fijar nitrógeno atmosférico, entre ellos William Ramsay, Henri-Louis Le Chatelier y Wilhelm Ostwald —quien, realmente, lo intentó experimentalmente. En 1920, Ostwald escribió en su autobiografía.

“Como un experto inmediatamente reconoce, las ideas básicas para la síntesis del amoníaco... han sido claramente establecidas y sin ambigüedad en marzo de 1900, las ideas comprendían: temperatura y presión elevadas, un catalizador de cobre o de hierro y recirculación del nitrógeno e hidrógeno. Por eso se justifica que me llame “el padre intelectual de la industria del amoníaco”. Ciertamente no me convertí en el “padre real” debido a todas las dificultades.... El trabajo necesario para crear una industria tecnológica y económicamente viable a partir de las ideas correctas fue llevado a cabo por aquellos que se hicieron cargo del bebé abandonado” (Ostwald, 1926).

Ostwald había estudiado y patentado un método de síntesis del amoníaco a alta temperatura y presión ambiental empleando un catalizador de hierro. El rendimiento era muy bajo pero podía mejorarse mediante la recirculación de los gases que no hubiesen reaccionado. En marzo de 1900, le ofreció la patente a la Badische Anilin und Soda Fabrik (BASF). Pero cuando se hicieron los ensayos en esa empresa, se encontró que la pequeña fracción de amoníaco que se obtenía, provenía de las impurezas presentes en el hierro y no de la síntesis entre el nitrógeno y el hidrógeno. Por lo que Ostwald se disculpó y dio de baja su patente.

Haber ya había estudiado el equilibrio entre el amoníaco, el nitrógeno y el hidrógeno en 1903, en respuesta a un pedido de la empresa austriaca Chemische Werke. La constante de equilibrio que calculó, a presión normal y a unos 1000 °C fue muy baja¹². Para la síntesis directa, su valor correspondía a un rendimiento teórico de 0,0044% de amoníaco, valor demasiado bajo para una síntesis comercial. Haber luego comentó: *“Si uno desea obtener resultados prácticos con un catalizador a presión normal, entonces no se debe permitir que la temperatura supere los 300 °C... El descubrimiento de un catalizador que pudiese proveer un rápido ajuste del punto de equilibrio en las vecindades de los 300 °C y a presión normal me parecía imposible”*. Ciertamente, ese catalizador nunca fue hallado.

En 1905 se aceptaba la validez de la “regla de Le Chatelier”¹³, al menos para las reacciones químicas. Por lo tanto, una presión alta debería aumentar el rendimiento de la reacción, ya que al formarse los productos, la contracción de volumen anularía el efecto del aumento de presión. Pero trabajar con hidrógeno, a alta temperatura y a 100 ó 200 atmósferas anticipaba tantas dificultades técnicas que Haber dejó el estudio en suspenso.

Pero entonces, dos eventos hicieron que Haber volviera al estudio de la síntesis del amoníaco. Primero, se interiorizó de algunos detalles del Proceso Claude para la liquefacción del aire y del proceso Goldschmidt para la obtención de formiato de sodio, este último no sólo trabajaba a 200 atmósferas sino que, además, lo hacía a altas temperaturas. El segundo, fue un ataque durísimo de Walther Nernst quien, primero a través de una publicación¹⁴ y luego en una reunión de la *Deutsche Bunsen-Gesellschaft für Physikalische Chemie* de mayo de 1907, afirmó que los trabajos de Haber sobre la constante de equilibrio de la síntesis del amoníaco estaban “lejos de la verdad”. Nernst había llegado a esta conclusión basándose sobre sus mediciones de las capacidades caloríficas de los reactivos y productos, las cuales, mediante el llamado “teorema del calor de Nernst” permitían calcular la constante de equilibrio.

10. “Judío bautizado” apodo que les daban a los judíos que se convertían al cristianismo.

11. Investigaciones experimentales sobre descomposición y combustión de hidrocarburos.

12. Fritz Haber: “Über die bildung von Ammoniak aus den Elements”, Z. Anorgan. Chem. 47 (1905) 42.

13. Todo sistema en equilibrio químico estable, sometido a la influencia de una fuerza exterior que tiende a causar una variación o en su temperatura o en su condensación (presión, concentración, número de moléculas en la unidad de volumen) en su totalidad o sólo en una de sus partes, puede sufrir sólo aquellas modificaciones que, si ocurren solas, producirían un cambio de temperatura o de condensación de signo contrario al que resulta de la fuerza exterior. Le Chatelier, H.L., “Sur un énoncé général des lois des équilibres chimiques”, Comptes Rendus, Académie de Sciences, V. 99, p. 786-789, 1884.

14. Walther Nernst: “Über das Ammoniakgleichgewicht”, Z. Elektrochemie, 13 (1907) 521.

También tomó en cuenta un trabajo de su asistente Friedrich Jost, quien había calculado esa constante a una presión de 50 atmósferas¹⁵.

Alwin Mittasch relató la discusión entre los dos científicos y escribió que el destrato público de Nernst ofendió a Haber lo que provocó el distanciamiento entre ellos (Mittasch, 1951a). Pero Haber no se amilanó, volvió a medir las capacidades caloríficas y encontró que estaban de acuerdo con el valor de la constante de equilibrio que él había hallado. Luego, en colaboración con Robert Le Rossignol —que había venido del laboratorio de Ramsay— exploró lo que hasta entonces se había descuidado, el rango de presiones elevadas en el cual se podía mejorar el rendimiento. La BASF aportó los fondos para comprar un compresor y otros materiales de laboratorio. Le Rossignol se encargó de armar el dispositivo de producción de amoníaco. Se ocuparon que los reactantes tuvieran el mayor grado de pureza y, para que no les ocurriese con el catalizador lo mismo que a Ostwald, prepararon hierro puro por reducción de su oxalato. Hicieron ensayos a diversas presiones, pero la velocidad de reacción era muy lenta y el rendimiento muy bajo, aún recirculado los gases. Entonces comenzaron a buscar un catalizador mejor. Luego de múltiples ensayos en marzo de 1909 encontraron que el osmio daba buen resultado, permitiendo que la reacción alcance una velocidad razonable a temperaturas de unos 550 °C y a 175 atmósferas pudiendo convertir alrededor del 8% en volumen durante un tiempo relativamente breve. Para mejorar la recirculación, Haber diseñó un refrigerante que permitía separar de los reactantes al amoníaco como líquido.

El 2 de julio se hizo la prueba en Karlsruhe ante los directivos de la BASF. En un reactor de 0,75 m de altura que contenía 100 gramos de osmio ingresaban hidrógeno y nitrógeno precalentados a unos 600 °C. La presión en el interior era de unas 200 atmósferas y, al cabo de un rato, por el condensador comenzó a salir un delgado chorro de amoníaco líquido.

Luego de muchas discusiones debidas a la complejidad de la instalación industrial, la BASF autorizó el proyecto y encomendó al ingeniero Carl Bosch (1874–1940) el armado de la planta piloto así como el proyecto y dirección de la planta industrial.

Entre el cúmulo de problemas que se avizoraban para llevar a escala industrial el hallazgo de Haber, se encontraba el catalizador. El osmio no sólo era muy caro sino que no se aseguraba la provisión de una cantidad suficiente para una planta industrial. Por indicación de Bosch, la BASF contrató a Alwin Mittasch (1869–1953) para que se encargue de encontrar un catalizador que pudiese sustituir al osmio. Durante varios meses, Mittasch ensayó diversos metales, inclu-

yendo el uranio, combinándolos con diversas sustancias para lograr su activación, modificando sus formas para lograr una mejor catálisis heterogénea. Finalmente, el 14 de enero de 1910, la BASF le comunicó formalmente a Haber que Mittasch había encontrado el catalizador que podía sustituir al osmio: ¡el hierro! Pero no puro, como había intentado Haber, sino el impurificado que se empleaba como catalizador en el proceso de obtención de hidrógeno haciendo pasar vapor de agua sobre carbón a 600 °C¹⁶.

Haber estaba exultante y como científico quería publicar su hallazgo y la factibilidad de la síntesis industrial del amoníaco. Había patentado el proceso en 1908, por lo que se sentía confiado sobre sus derechos. En cambio la BASF no quería que trascendiese ningún detalle, al menos hasta que la planta estuviera en funcionamiento. Finalmente, la BASF autorizó a Haber a que diese una conferencia sobre el aprovechamiento industrial de la síntesis del amoníaco, pero evitando, toda información sobre detalles del proceso industrial.

El 18 de marzo de 1910, Haber dio una conferencia en la *Naturwissenschaftlichen Vereinigung*, la sociedad científica de Karlsruhe. El título fue "Haciendo usable al nitrógeno"¹⁷ (posteriormente se publicó una versión abreviada¹⁸). En la conferencia Haber enfatizó "la extraordinaria necesidad de fijar el nitrógeno, principalmente para la agricultura y, en menor medida, para la fabricación de explosivos y la industria química. Después de resaltar que la síntesis directa había sido considerada imposible dijo "pero el trabajo llevado a cabo por el Instituto de Físicoquímica de Karlsruhe ha refutado esa suposición". Destacó la importancia de trabajar a alta presión a la vez que se recirculan los gases que no reaccionaron y mencionó que los "agentes de transferencia" habían sido el osmio y el uranio. Finalmente agregó:

Estos resultados experimentales parecen asegurar las bases de una industria del amoníaco sintético... La BASF, en Ludwigshafen ha continuado exitosamente más allá de esta base, la cual puedo describir aquí, de modo que la síntesis del amoníaco a partir de sus elementos mediante alta presión puede ser incluida entre los procesos sobre los cuales los agricultores pueden cifrar sus esperanzas... cuando busquen nuevas fuentes de las sustancias que ellos requieren..." (Haber, 1909).

La conferencia de Haber impactó no sólo a la comunidad científica sino también a toda la industria química. En los días siguientes, muchos profesionales y empresas se acercaron a Haber para ofrecerle colaboración o proponerle alguna actividad comercial vinculada al amoníaco.

Pero varios colegas comenzaron a plantear objeciones a la pretensión de Haber de haber sido el primero

15. Friedrich Jost, "Über das Ammoniakgleichgewicht," *Z. Anorgan. Chem.* 57 (1908), 414.

16. $C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$

17. Fritz Haber, "Über die Nutzbarmachung des Stickstoffs" (Haciendo usable al nitrógeno), *Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Karlsruhe* 23 (1909/10), 20-23.

18. Haber, "Über die Darstellung des Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff" (La síntesis del amoníaco a partir del nitrógeno y el hidrógeno), *Z. Elektrochemie* 16 (1910), 244.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

en lograr la síntesis del amoníaco a alta presión. Estas objeciones se basaban sobre el trabajo de Nernst publicado en 1907, en el cual se había calculado la constante de equilibrio para esa reacción a 50 atmósferas de presión.

La compañía química Farbwerke Hoechst AG., que también estaba interesada en producir industrialmente amoníaco sintético, presentó una demanda de nulidad de la patente de Haber sobre la base de los trabajos de Nernst y de Jost, que fueron las primeras publicaciones en las que se investigó la síntesis a alta presión¹⁹.

Haber recibió la demanda de nulidad el 9 de septiembre de 1910 y acordó con la BASF transferirle todas las patentes vinculadas a la síntesis para que la empresa se encargara de la defensa.

La patente principal daba una descripción cualitativa del método de obtención de amoníaco:

*Proceso para la producción sintética de amoníaco a partir de sus elementos, mediante cantidades apropiadas de hidrógeno y nitrógeno que reaccionan continuamente para formar amoníaco usando un catalizador calentado y en el que el amoníaco es removido. Este proceso se lleva a cabo bajo una presión constante y el calor de los gases de la reacción es transferido a la mezcla gaseosa libre de amoníaco que entra en el reactor.*²⁰

Hoechst había obtenido la opinión de Ostwald. En ella, Ostwald afirmó que el proceso descrito en la patente era puramente una extrapolación de bajas a altas presiones por lo que el resultado obtenido no solo era de esperar como probable sino como científicamente cierto, que la afirmación de que el proceso es económicamente posible no es razón para emitir una patente y que, si hasta ahora el amoníaco no se había producido industrialmente se debía a dificultades técnicas que serían, meramente, problemas de ingeniería.²¹

La audiencia por la demanda de Hoechst ante un tribunal de Leipzig tuvo lugar el 4 de marzo de 1912. El alegato de Richard Weidlich, representante de esa empresa, se basó no sólo sobre el testimonio del experto de la parte demandante (Ostwald) sino en las opiniones que Nernst había expresado en la reunión de 1907 en la Sociedad Bunsen. Pero para su sorpresa, cuando él terminó de exponer, August Bernsthen el representante de la BASF, presentó al propio Nernst ante el Tribunal. Así lo contó Weidlich en sus memorias:

“Durante la argumentación oral, para mi sorpresa, apareció Nernst del brazo de Haber y después

*que Bernsthen diera una breve respuesta a mi justificación del pedido de nulidad, mi principal testigo, Nernst, cuyas fundamentales contribuciones a la síntesis del amoníaco yo acababa de elogiar, pronunció un apasionado discurso en el cual explicó que su trabajo no tenía ninguna relevancia y que sus resultados sólo habían tenido interés científico. Sólo Haber, al investigar nuevos rangos de presiones, había creado los prerequisites para el éxito técnico. Que era entendible que los empresarios no hayan tenido interés en sus investigaciones pero si tales empresarios rechazaran el proceso Haber tendrían que estar ciegos. El efecto del discurso de Nernst fue decisivo, yo también quedé impresionado, de modo que le susurré a Müller-Berneck [el Director de Hoechst] que podíamos volver a casa”.*²²

Ese mismo día el Tribunal rechazó la demanda de Hoechst, lo que allanó el camino legal para que la BASF continuara con el desarrollo del proceso industrial.

La tarea de Carl Bosch para llevar a cabo el proyecto industrial fue sumamente complicada. A temperaturas de más de 500 °C el hierro se vuelve permeable al hidrógeno, especialmente a presiones elevadas. Además, como en los aceros hay microestructuras llamadas “perlita” que contienen carbono, este se combina con el hidrógeno debilitando el material. De modo que Bosch tuvo que abocarse al estudio de cómo combinar distintas aleaciones para evitar que la estructura de los reactores no fuese dañada. Por otra parte, si bien se proyectó inicialmente usar hierro como catalizador, Mittasch siguió ensayando diversos catalizadores en la búsqueda de uno que fuese el más barato, el más efectivo y que resistiese a los “envenenamientos” que podían producir las impurezas que acompañan a las materias primas. Para ello tuvo que crear un laboratorio especial con aparatos que él mismo diseñó. Para tener una idea de su trabajo, basta mencionar que, a principios de 1912, en su laboratorio se habían llevado a cabo unos 6500 experimentos con 2500 catalizadores diferentes. La búsqueda de catalizadores más eficientes continuó hasta 1919. Durante ese tiempo se hicieron unos 10.000 experimentos con 4000 sistemas catalíticos diferentes. El Laboratorio de Mittasch se convirtió así en un centro de investigación sobre catálisis, de excelencia.

Otro de los problemas era la fuente de hidrógeno como materia prima del proceso industrial. Todas las fuentes industriales que se conocían, provocaban problemas tanto con los metales de los reactores como con los catalizadores. Finalmente, Wilhelm Wild, un asistente de Nernst que trabajaba con Bosch, encontró la solución diseñando un sistema que oxidaba el monóxido de carbono del gas de agua²³, en presencia

19. Ver notas 14 y 15

20. Patente DE 235421: Verfahren zur synthetischen Darstellung von Ammoniak aus den Elementen. Revisada el 13 de octubre de 1908, publicada el 8 de junio de 1911, Revisor: Badische Anilin- und Sodafabrik

21. Opinión de Wilhelm Ostwald, 25 Feb. 1912, MPG, Dept. Va, Rep. 5, 444.

22. Richard Weidlich, “Erinnerungen” (Memorias), mauscrito. Dado por el Dr. Emil Fischer a Johannes Jaenicke, depositado el 14 de mayo de 1956 en la MPG, Dept. Va, Rep. 5, 1509.

23. $C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g)$

$CO(g) + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2(g)$

de un catalizador de óxido de hierro evitando, de esa manera, su ingreso a los reactores.

La tarea gigantesca de Bosch culminó en 1913 con la inauguración, en Oppau, de la primera planta en el mundo productora de amoníaco por síntesis. Por su trabajo, en 1931, fue galardonado con el Premio Nobel de Química (compartido con Frederick Bergius) "en reconocimiento a sus contribuciones por la invención y desarrollo de métodos químicos de alta presión"

Fritz Haber, disfrutó no sólo de los honores por haber logrado la síntesis en el laboratorio, sino de un bienestar económico producto de cobrar 1,5 pfennig por cada kilogramo de amoníaco que la BASF producía ²⁴.

Haber en Berlin

En 1910, un grupo de prominentes científicos que incluía, entre otros, a Walther Nernst, Wilhelm Ostwald y Emil Fischer conversaban sobre la idea de crear una institución dedicada a la investigación en distintos campos de la Química. Ayudados por sus contactos con el funcionario prusiano Friedrich Schmidt-Ott y del teólogo Adolf von Harnack, amigo personal del Kaiser, ellos desarrollaron la idea de lo que luego sería la Kaiser Wilhelm Gesellschaft (hoy Max Planck Gesellschaft, MPG) para la promoción de las ciencias. La sociedad se formalizó en 1911 y sus primeros dos institutos en Berlin-Dahlem fueron inaugurados por Wilhelm II en 1912. Uno de ellos fue el Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie financiado por una donación de 700.000 marcos del banquero y empresario Leopold Koppel y 300.000 marcos aportados por el Estado. Mediante la recomendación de Svante Arrhenius y bajo la presión de Koppel, Fritz Haber fue invitado a ser el primer Director. Esta fue una oferta que Haber no pudo resistir. Se le garantizó a Haber un generoso presupuesto operacional de casi 50.000 marcos, se lo nombró *Honorarprofessor* en la Universidad de Berlin, se le prometió una membresía en la Academia Prusiana de Ciencias y el Kaiser le concedió el título de *Geheimrat*, o consejero imperial.

A instancias de Haber, el Instituto fue diseñado por el arquitecto imperial Ernst von Ihne e incluyó una mansión que serviría como residencia del Director. Los laboratorios fueron equipados con el instrumental y los aparatos más modernos.

Haber y Einstein

A fines de 1913, la excelencia académica de Berlin se incrementó aún más con la llegada de Albert Einstein para dirigir el Kaiser Wilhelm Institute für Physik. En su discurso de bienvenida, Haber invitó a Einstein a que también "hiciera por la Química lo que había hecho por la Física".

Haber y Einstein se habían conocido personalmente en 1911 en un congreso científico celebrado en Karlsruhe donde Haber pronunció la conferencia principal. Haber estaba impresionado por la contribución de Einstein a la Física. Según Fritz Stern, Haber había empleado todos los medios a su alcance para promover el nombramiento de Einstein; en enero de 1913, había escrito a un colega del Ministerio de Educación prusiano afirmando que supondría una inmensa ventaja para la química teórica de Berlín que Einstein estuviera allí, aunque ya había sondeado el terreno antes: "Es una coincidencia muy poco frecuente no sólo que este hombre esté disponible, sino que su edad (34 años) y las circunstancias personales propicien el traslado, y su carácter y demás rasgos me hacen tener plena confianza de que la relación resultará beneficiosa" (Stern, 2003a).

Cuando llegaron de Zürich, Einstein, su esposa Mileva y sus dos hijos se alojaron en la mansión de los Haber. Además del respeto profesional, ambos trabaron una amistad personal. El matrimonio de los Einstein se estaba hundiendo y Haber hizo todo lo posible para ayudar a su amigo, tanto en la Dirección del Instituto de Física como en el sostenimiento del vínculo conyugal. Cuando se dio cuenta que su intento de reconciliarlos era imposible, ofició de mediador redactando el acuerdo de separación por el que Einstein le pagaría a Mileva 5.600 marcos en concepto de manutención anual. El 29 de julio, Mileva y los niños abandonaron Berlín. Einstein, con Haber a su lado, los despidió en la estación de tren, llorando por la pérdida de los chicos. "Sin Haber, no hubiera sido capaz de hacerlo", dijo más tarde; deshecho, pasó la noche con su amigo. Tres días después, estalló la Gran Guerra (Stern, 2003b).

Si bien sus opiniones respecto de la Guerra fueron totalmente opuestas, eso no empañó la amistad entre ambos. Prueba de ello es la carta que Haber le envió con motivo del cumpleaños número 50 de Einstein el 14 de marzo de 1929.

De todas las grandes cosas que he vivido en el mundo, la solidez de tu vida y logros me conmueven profundamente. Dentro de unos pocos siglos, el hombre de la calle conocerá nuestra época como el período de la Guerra Mundial, pero el hombre culto asociará el primer cuarto de siglo a tu nombre [...]. En cuanto a los demás, lo único que quede será cualquier relación que exista entre nosotros y los grandes acontecimientos de nuestro tiempo y en tu biografía [...]. No pasará inadvertido que fui tu compañero en comentarios más o menos mordaces sobre el asunto de la Academia [prusiana], con el café más o menos malo que siguió a las reuniones. Por consiguiente, redunda en beneficio de mi propia fama futura y mi presencia en la historia el rogarte cariñosamente, por tu cincuenta cumpleaños, que te cuides para que no pierdas la salud y para que pueda seguir burlándome de la gente, tomándome un café contigo y permitiéndome una sosegada va-

24. Para tener una idea, a partir de 1917, una sola de las plantas de la BASF, la de Leuna, producía 36.000 toneladas anuales de amoníaco. Los royalties de esa planta le generaban anualmente a Haber 540.000 marcos, cuando en el mismo lapso su sueldo como Director del Instituto era de 15.000 marcos.

nidad, porque puedo contarme entre los miembros del círculo que, en un sentido más cercano e íntimo, vive contigo (Stern, 2003c).

La primera guerra

La era de paz y prosperidad que Prusia había disfrutado durante 43 años llegó a su fin al estallar la Gran Guerra. Más resonantes que los disparos de artillería fueron las agresiones verbales de los académicos de los países en conflicto. La "guerra de los espíritus" espoleó a la guerra real y en la vorágine, muchos científicos perdieron el ethos de la *République des lettres* y, aún más: violaron tratados internacionales. La iniciativa de Haber de desarrollar armas químicas e involucrarse en su despliegue, permanece entre los mejores ejemplos de ambas cosas.

El patriotismo llevó a Haber a enrolarse en el Ejército, pero su solicitud fue rechazada debido a la edad, 46 años. No obstante ello, se ofreció para colaborar con el Ejército.

Al poco tiempo de iniciada la guerra, los militares alemanes comenzaron a recurrir a científicos para determinadas tareas vinculadas a la producción de materiales bélicos. Al mismo tiempo, el gobierno alemán signó contratos con varias empresas, entre ellas la BASF, para la producción de explosivos. De esta manera "el aire para pan", como se había dado en llamar al método de Haber, se transformó en "el aire para pólvora".

En esa época el ácido nítrico para la elaboración de explosivos se obtenía casi exclusivamente a partir del "nitrato de Chile" un mineral muy rico en nitrato de sodio que abunda en zonas desérticas de Chile. Pero el bloqueo de la Armada inglesa impedía la llegada de los barcos mineraleros que lo transportaban. El alto mando alemán convino con Carl Bosch de la BASF en derivar buena parte de la producción de amoníaco para la producción de ácido nítrico. Además, la empresa construyó una segunda planta en Leuna que estaría dedicada por completo a la producción de ácido nítrico. A fines de 1916, la fábrica de Leuna ya había comenzado a producir este material.

En octubre de 1914, el Ministro de Guerra adoptó una propuesta del Mayor Max Bauer, de nombrar una comisión que debería considerar si los subproductos nocivos de la industria de los colorantes se debían usar como armas de guerra. La comisión fue presidida por un alto directivo de la Bayer, Carl Duisberg (1861–1935) y por Walther Nernst, a la sazón Profesor en la Universidad de Berlín. Haber, continuó como Director del *KWI für Physikalische Chemie und Elektrochemie* pero también fue nombrado en el Ministerio de Guerra como Jefe del Departamento de Compras de Materias primas.

En octubre y noviembre de 1914 Duisberg y Nernst, utilizando las instalaciones de Bayer, desarrollaron varios tipos de granadas y bombas incendiarias.

Alemania había signado y ratificado la Convención

de La Haya del 29 de julio de 1899. Entre cuyas disposiciones figuran:

Las Potencias Contratantes acuerdan en prohibir, por el término de cinco años, el lanzamiento de proyectiles desde globos aerostáticos, o por otros métodos de naturaleza similar.

...

Las Potencias Contratantes, acuerdan abstenerse de usar proyectiles cuyo objeto es la difusión de gases asfixiantes o nocivos.

No obstante esa prohibición, Duisberg y Nernst prepararon gases lacrimógenos para ser usados en el frente de batalla.

Desde el Instituto de Físicoquímica, en Berlín, Haber colaboraba con la BASF en los estudios para transformar el amoníaco en ácido nítrico mediante un proceso que ya había ensayado Ostwald a principios de ese siglo y que desde 1906 se empleaba para obtener el ácido a partir del amoníaco resultante de la destilación del alquitrán de hulla. Para esa tarea, contrató una gran cantidad de investigadores jóvenes y personal técnico. Pero simultáneamente, comenzó a estudiar la producción de cloro a gran escala y su posible uso como agresivo químico. En la historia quedaría su lema "*En la paz por la Humanidad y en la guerra por Alemania*".

La masacre de Ypres

La idea de Haber era bastante simple. Aprovechando la tecnología conocida a partir de los métodos de licuación del aire, se licuaría cloro en contenedores apropiados. La guerra se desarrollaba según el clásico modelo de trincheras móviles. Al oeste estaba la línea de trincheras francesas, y al este la línea de trincheras alemana. La táctica consistía en disponer un conjunto de contenedores de cloro a lo largo de la línea de combate y, cuando soplase un viento fuerte del Este, abrirlos simultáneamente para que el viento actuase como vector del gas.

Haber y el poder económico de la industria química convencieron al alto mando para que autorizase una prueba en el campo de batalla.

Emil Fisher, quien previó la proliferación de armas químicas como una consecuencia inevitable de lo que sería su primer uso, rogó por el fracaso de la prueba "*desde el fondo de mi patriótico corazón*"

El 14 de abril de 1915, en el frente de Ypres, un soldado alemán llamado August Jaeger, desertó y se entregó ante los franceses. En el interrogatorio contó que el ejército alemán había enterrado cilindros con gas asfixiante y que al día siguiente iban a lanzar un ataque con esos gases.²⁵ Ese mismo día, un agente belga informó que "los alemanes intentan hacer uso de tubos con gases asfixiantes puestos en baterías de 20 tubos cada 40 metros frente al Cuerpo XXVI."²⁶ A la mañana siguiente desertó otro soldado, Julius Rap-

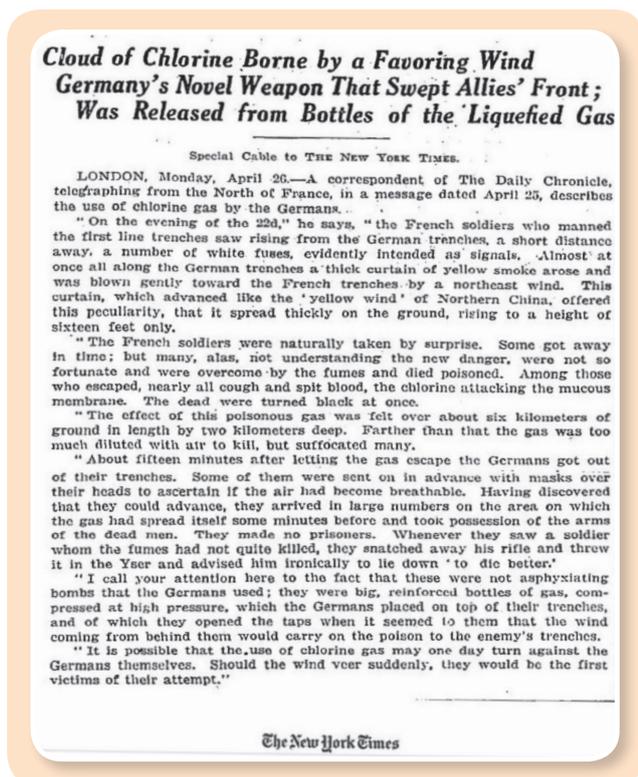


Figura 2: Nota del New York Times del 26 de abril de 1915)

sahl, quien declaró que les habían dado barbijos de algodón "para protegerse de un ataque de los ingleses con gases asfixiantes". Los mandos aliados dieron el alerta, pero fueron transcurriendo los días y como nada sucedía, los oficiales franceses y británicos supusieron que toda esa "información" era parte de una campaña psicológica. Lo que realmente sucedió, fue que entre el 14 y el 21 de abril, en Ypres el viento soplabla hacia el Este. El 22 de abril comenzó a soplar un fuerte viento hacia las trincheras francesas. Inspeccionado por Haber en persona, comenzó el operativo para gasear a las tropas contrarias. Se hizo una señal con humo blanco y a lo largo de 6 kilómetros de la línea alemana se abrieron 5700 cilindros que liberaron a la atmósfera 167 toneladas de cloro. El gas fue transportado a las trincheras opuestas por el largamente esperado viento, dejando alrededor de 5000 heridos, entre ellos unos 1000 fueron alemanes, alcanzados por un arma que era, intrínsecamente imprecisa. El ataque fue repetido dos días después, bajo condiciones de viento más favorables, causando otras 1000 heridos y 4000 muertos. El 26 de abril de 1915 el New York Times informó: (Figura 2) "Algunos soldados huyeron a tiempo, pero muchos, no conociendo el peligro que implicaba, no fueron tan afortunados y fueron vencidos por los humos muriendo envenenados. Entre los que escaparon, casi todos tosían y escupían sangre por el ataque del cloro sobre la membrana mucosa. Los muertos se tornaron rápidamente de color negro. ... Los alemanes no tomaron prisioneros. Cada vez que veían un soldado al que los humos no lo habían todavía matado, le arrebatában el rifle ... y le aconsejaban que se acostase para morir mejor."

La letalidad del ataque con cloro en Ypres incitó a los militares germanos a adoptar las armas químicas y Haber fue promovido al rango de capitán por un decreto imperial.

La muerte de Clara Haber

A fines de abril, Haber regresó del frente de batalla. Estaba exultante. Le habían dado el grado de Capitán, vestía un uniforme nuevo (Figura 3) y lucía orgullosamente sus galones y su pistola automática.

Entre aquellos que no compartían la exultación de los militares y de Haber, se encontraba la esposa, Clara. Cuando ella se enteró que Fritz estaba involucrado en la producción de armas químicas —que ella consideraba "una abominación de la ciencia y un signo de barbarie"— comenzó a sentir que su matrimonio era un sacrificio inútil.

Haber ordenó preparar una recepción para festejar el éxito de la operación, a la cual estarían invitados altos oficiales del ejército alemán. El ánimo de Clara no era el mejor. Había sido relegada al papel de "Frau Haber" y se sentía cada vez más frustrada por el rol que Haber le había asignado, dirigir las tareas domésticas y agasajar a los invitados. Próxima a cumplir 45 años percibía que sus ideas de hacer ciencia, aún al lado del esposo, no tenían ninguna posibilidad de concretarse. Era una feminista declarada y una pacifista, por lo que las actividades del esposo alteraban sobremedida sus ideas, sus sentimientos y su estado de ánimo.

Luego de la recepción ofrecida para "festejar" el éxito de la operación de Ypres, Clara y Fritz tuvieron una discusión muy acalorada. La visión humanista de Clara le habría hecho sentir que no había nada que festejar por una masacre que costó miles de vidas. La visión de Haber era diametralmente opuesta; más tarde expresaría públicamente su pensamiento: que las armas químicas son más "humanas" que las convencionales porque acortan las guerras. La discusión debió ir subiendo de tono y alterando a Clara, ya que cuando Haber abandonó la habitación en la que se encontraban, ella tomó la pistola reglamentaria de él, se dirigió al jardín y se suicidó de un disparo. Según Gerit von Leitner, Haber, bajo los efectos de las dosis diarias de somníferos, no oyó el disparo. En la mañana del 2 de mayo de 1915, su hijo Hermann, a la sazón de 13 años, encon-



Figura 3: Haber en uniforme de Capitán.

25. En 1932 el General Edmond Ferry escribió un artículo en una revista relatando la desertión de este soldado y cómo alertó sobre un posible ataque con gases asfixiantes. August Jaeger fue acusado ante la Suprema Corte de Alemania por desertión y traición. El 17 de diciembre de 1932 fue condenado a 10 años de prisión.

26. Official History of the Canadian Forces in The Great War 1914-1919, Volume I, Chronology, Appendices and Maps, Appendix no. 321, p.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

tró el cadáver (von Leitner, 1993).

Haber, no asistió al sepelio. Partió el mismo 2 de mayo para el frente del Este, a reunirse con su "Pionierregiment", una unidad encargada del despliegue de armas químicas. Según lo que declaró posteriormente, no se quedó para el entierro porque no tenía permiso militar para quedarse.

Haber sostuvo que el primer uso de armas químicas era un jalón importante en "el arte de la guerra" y consideró su efecto psicológico como clave: "todas las armas modernas, aunque apuntan aparentemente a causar la muerte del adversario, en realidad deben su éxito al vigor con el cual ellas rompen temporalmente la entereza psicológica del adversario".

El vaticinio de Emil Fischer comenzó a cumplirse a fines de 1915 cuando los ejércitos aliados comenzaron a emplear su propio arsenal químico²⁷. El "efecto psicológico" dejó de ser un factor favorable a Alemania y, lo único que lograron los agresivos químicos fue incrementar el sufrimiento de las tropas, en su gran mayoría reclutas. Se calcula que, durante la guerra, hubo unas 90.000 muertes y más de un millón de lesionados por agresivos químicos a ambos lados del frente.

El éxito inicial del uso de armas químicas no hizo sino estimular la investigación en este campo. En 1916, y a iniciativa de Haber, se fundó una *Kaiser Wilhelm Stiftung für Kriegstechnische Wissenschaften* (Fundación Kaiser Guillermo para las Ciencias Técnicas y Militares), que en 1917 pasó a depender del Ministerio de la Guerra. Esta organización no tenía instalaciones de investigación propias; su propósito era promover y coordinar trabajos relacionados con la guerra, realizados en instituciones universitarias o en laboratorios de los KWIs²⁸.

Estando en su KWI de Berlin, Haber se ocupó de desarrollar otros agresivos químicos, tales como el fosgeno y el veneno de contacto LoSt, —llamado así por sus colaboradores Lommel y Steinkopf. Haber introdujo el procedimiento del *Bunteschiessen* (bombardeo multicolor) que consistía en desplegar primero "Maskenbrecher" (rompedor de máscaras) que consistía en irritantes, —como la adamsita, a base de compuestos orgánicos de arsénico— que podían penetrar en todos los filtros disponibles forzando a la persona atacada a quitarse la máscara para después bombardearlo con fosgeno o LoSt, (que luego sería mejor conocido como gas mostaza o yperita). El fosgeno es un agente letal más potente y mortífero que el cloro. Si bien los síntomas derivados de la exposición al gas tardaban 24 horas o más en manifestarse, lo que permitía a las víctimas seguir combatiendo, el edema pulmonar que generaba

era irreversible. El gas mostaza es un agente *vesicante* que provoca irritaciones y ampollas en la piel. Fue empleado por el ejército alemán en septiembre de 1917, antes de la Tercera Batalla de Ypres, disparándolo mediante piezas de artillería.

En 1917, en el KWI de Dahlem, Haber manejaba un presupuesto 50 veces superior al que había dispuesto antes de la guerra. Dirigía todo un batallón de trabajadores que se ocupaban del tema: 1.500 personas, de las que 150 eran científicos. Allí se desarrollaron nuevos agresivos químicos. El método de dirigir los gases químicos contra el enemigo utilizando el viento como fuerza motriz fue abandonado, optándose por proyectiles lanzados desde piezas de artillería.

En esos años, el KWI de Dahlem, desarrolló la obtención industrial de bromoacetona, usado en 1916

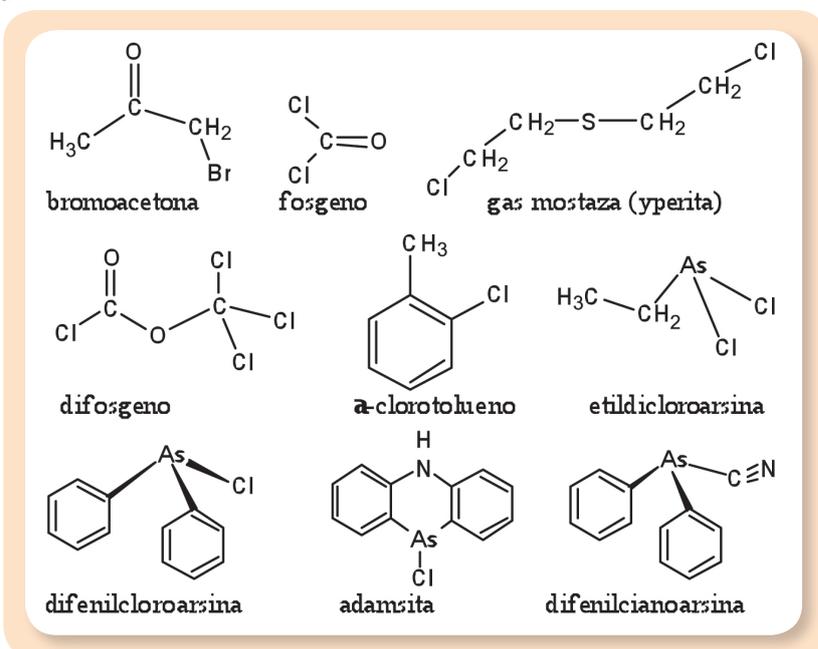


Figura 4: Algunos de los agresivos químicos desarrollados en el KWI de Dahlem.

como irritante y lacrimógeno, de difosgeno, que fue empleado a partir de 1916. El difosgeno atacaba al carbón de los filtros de las máscaras antiguas y liberaba fosgeno. También produjo a-clorotolueno, usando como lacrimógeno en 1917, difenilcloroarsina (Clark I) usado como irritante y estornutatorio en 1917, etildicloroarsina, empleado como vesicante en 1918, difenilcianoarsina (Clark II) sustancia irritante y vomitiva y otros agresivos químicos (Figura 4)

Haber creía que Alemania tenía que seguir luchando hasta la victoria y no firmar una paz que dejara a enemigos potencialmente fuertes. Sobre esto Fritz Stern escribió:

Por "temperamento", Haber se consideraba "pesimista", pero como seguía albergando esperanzas de una victoria alemana, era contrario a cualquier

27. El ejército británico utilizó cloro como agresivo químico en la Batalla de Loos, el 25 de septiembre de 1915.

28. KWI: Kaiser Wilhelm Institute.

tipo de paz de compromiso. A principios de 1916, escribió a Valentini: “Espero que llegue la paz [en los próximos meses], aunque no querría una paz que permitiera a Francia y Bélgica seguir siendo enemigas con capacidad militar, porque, aparte de todas las consideraciones éticas y políticas, una paz que nos obligara a armarnos para hacer frente a un enemigo formidable en Occidente, como tuvimos que hacer con tanto esmero en el pasado, nos impondría unas cargas materiales que, al parecer, hoy aún no admitimos”.

A continuación, esbozó los peligros de otra guerra, dominada, como creía que iba a estarlo, por los aviones. “Pero ¿acaso una paz que no fuera cartaginesa habría otorgado a Alemania preponderancia continental?” A principios de 1917, Haber seguía creyendo que la guerra ilimitada mediante submarinos obligaría a Gran Bretaña a finalizar la contienda. Un año después, fue perdiendo la fe en una victoria decisiva alemana. (...) La petición efectuada por Ludendorff, en septiembre de 1918, de que un nuevo gobierno solicitara un armisticio sin demora supuso un golpe inimaginable, incluso para los alemanes muy cercanos al gobierno, incluido Haber (Stern, 2003d).

Segundo matrimonio

En 1917, Haber se casó con Charlotte Nathan. Tuvieron dos hijos, Eva y Ludwig. Ludwig (Lutz) se dedicó al estudio de la historia de la Química Industrial y escribió un libro sobre los agresivos químicos utilizados durante la Primera Guerra Mundial (Haber, 1986).

El matrimonio de Fritz con Charlotte duró diez años y en 1927 se divorciaron. Muchos detalles de la vida de Haber durante ese período pudieron obtenerse a raíz de la publicación de las memorias de ella (Nathan, 1970).

Criminal de guerra y Premio Nobel

Al finalizar la guerra Haber fue “desmovilizado” y tuvo que volver a la vida civil y dirigir el Instituto de Dahlem, ahora casi sin presupuesto ni personal y con una prohibición total, impuesta por el Tratado de Versalles, para desarrollar cualquier investigación que tuviese alguna vinculación con armas químicas.

La derrota alemana lo afectó duramente y pasó varios meses con problemas de nervios. Una carta del Ministro de Guerra, Heinrich Scheüch intentó, en vano, consolarlo:

Durante el largo transcurso de la guerra, pusiste sin descanso tu amplio conocimiento y tu energía al servicio de la patria. Gracias a la alta estima de tus colegas, fuiste capaz de movilizar al mundo de la química alemana. Alemania no estaba predestinada a salir victoriosa de esta guerra. Que no sucumbiera ya durante los primeros meses ante la superioridad de los enemigos por escasez de municiones, dinami-

ta y otros compuestos químicos de nitrógeno lo debemos, en primer lugar, a ti [...]. Tus brillantes éxitos vivirán para siempre en la historia y seguirán siendo [...] inolvidables. (Heinrich Scheüch a Haber, 27 de noviembre de 1918) (Stern, 2003e).

El destacado papel que cumplió Haber en el desarrollo de armas químicas, su dirección de la llamada “Masacre de Ypres” y el hecho que él nunca renegó de esas actividades —ya que sostenía que las había desempeñado de defensa de su patria— hicieron que durante la posguerra numerosos colegas de otros países evitaran contactarse con él.

A la depresión que sufría por la pérdida de la guerra, la reducción de su capacidad laboral y el rechazo de sus colegas del exterior, se sumó la imputación que le hicieron los gobiernos de Francia, Bélgica, Gran Bretaña, Rusia, Italia, Polonia y Yugoslavia.

El 3 de febrero de 1920, 7 de los países aliados presentaron ante el Barón Kurt von Lersner Jefe de la Delegación alemana para el Tratado de Paz, una acusación de 194 páginas con una lista de 890 nombres de personas sindicadas como “criminales de guerra”, rechazando la oferta alemana de juzgarlos mediante sus propios tribunales. La lista incluía a los hijos del Kaiser, líderes del Ejército, como el Mariscal del Campo, Paul Ludwig von Hindenburg, Erich von Ludendorff y comandantes de submarinos,..., y al Capitán y Geheimrat Profesor Fritz Haber (Figura 5)

Ante la negativa alemana de extraditarlos, la imposibilidad de capturar a esas personas mediante una intervención militar Gran Bretaña finalmente accedió a que fuesen juzgadas por la Corte de Leipzig.

Cuando Haber se enteró de la demanda, ni corto ni perezoso, se quitó su autodesignado “uniforme químico”, se dejó crecer la barba y voló a Lucerna, Suiza. A fin de asegurarse inmunidad ante el pedido de extradición, adquirió la ciudadanía suiza en Saint Moritz en pocos días.

Precisamente, el 26 de enero, pocos días antes del pedido formal de los aliados de enjuiciar a Haber, la Academia de Ciencias de Suecia anunció que le otorgaba el Premio Nobel de Química 1918. Pero no sólo a él, sino que se le otorgaba también los Premios a otros cuatro científicos alemanes: Max von Laue, Richard Willstätter, Max Planck, y Johannes Stark. La indignación en Francia y Gran Bretaña fue enorme debido al resentimiento contra Alemania y a que el apellido Haber estaba indisolublemente ligado a la masacre de Ypres.

El gobierno sueco, a través de sus embajadas y legaciones tuvo que salir a aclarar que el premio era por el método de síntesis del amoníaco, que ese método era anterior a la guerra y que sería de gran valor para el mundo por sus aplicaciones a la agricultura. (Figura 6) En el respectivo diploma consta que se le entrega “por su síntesis del amoníaco a partir de sus elementos” (Figura 7).

7 NATIONS DEMAND 890 WAR CULPRITS

Allied List Includes Kaiser's Sons, German Statesmen, Generals, and Admirals.

HUNDRED ARE UNNAMED

Crimes Specified Where Culprit Is Unknown—Lersner Gets Huge Book of Indictments.

By EDWIN L. JAMES.

Copyright, 1920 by The New York Times Company.

Special Cable to The New York Times.

PARIS, Feb. 3.—The completed list of 890 Germans, accused by the Allies of crimes against the laws of war, which was handed this afternoon to Baron von Lersner, chief German peace delegate, is bound to cause a profound sensation in Germany and surprise throughout the world.

The Allies have gone further than anyone outside the inner circles supposed they would. They have called on Germany to hand over for trial not only Field Marshal von Hindenburg, General Ludendorff, former commanders of the German armies, and Dr. von Bethmann-Hollweg, former Chancellor, but also three members of the Hohenzollern family and many of the generals who led the armies of Germany. They have called for the pillars of Prussianism as well as the heroes of Germany.

This move will put the German Government in a most delicate position. Will it be able to hand over the men demanded? is asked here.

The list was sent by Baron von Lersner to Berlin by courier, accompanied by the Allies' letter rejecting the Germans' offer to try the men in their own courts and stating that the Allies would

A different forecast of the note is given by the Journal des Débats. It says that its information is that the powers are not contemplating for the present any such measures as the breaking of diplomatic relations or a blockade.

THE HAGUE, Feb. 3.—The Associated Press was informed today that any demand on Holland for the surrender of former Crown Prince Frederick William as a war criminal would be treated by the Dutch Government probably according to the Dutch extradition treaty with Germany, and it would be a question for the courts to decide rather than the Government, as in the case of the former German Emperor.

"If the Crown Prince is demanded of Germany by the provisions of the Versailles treaty," it was stated, "it is then up to Germany to ask Holland for him."

Renewed Talk of Interning Kaiser.

SPECIAL CABLE TO THE NEW YORK TIMES. LONDON, Wednesday, Feb. 4.—The Chronicle's diplomatic correspondent writes:

"Alarming rumors with regard to a contemplated blockade of Holland or rupture of diplomatic relations in event of the refusal to extradite the ex-Kaiser are not founded upon fact. The allied Governments appreciate the difficulty, in which the Dutch Government finds itself.

"While they continue to press for the surrender of the culpable author of the war, there is reason to believe that Holland may propose as an alternative to surrender that the ex-Kaiser shall be interned at the new house which he has prepared for himself. Whether this expedient will satisfy the Allied council it is impossible to foretell, but it is pretty certain that if it is entertained faut de mieux there will be demanded a suitable understanding from the Dutch Government, assuming full responsibility for the custody of the ex-Kaiser's person.

"Following upon the conference of the allied Ambassadors in Paris concerning the reply to be handed to the Dutch Minister, a meeting has been arranged between the Prime Ministers of Italy and France and Premier Lloyd George will be held in London within the next fortnight, when many questions of importance will be considered, that of the ex-Kaiser being one of the minor problems to occupy the attention of the Premiers."

The New York Times

Published February 4, 1920
Copyright © The New York Times

7 NATIONS DEMAND 890 WAR CULPRITS

Continued from Page 1, Column 6.

them with responsibility for the cruel administration in Belgium, and the deportations from France and Belgium.

Admiral Von Tirpitz is demanded by England for the ruthless submarine warfare.

England also asks for Admiral Von Capelle.

France asks for the Crown Prince for cruelty, and for Prince Eitel Friedrich who commanded the Fourth German Army against which the Americans fought in the Argonne.

France also asks for Prince Auguste of Hohenzollern.

Rumania asks for Marshal von Mackensen.

France demands General von Moltke and General von der Marwitz, who commanded the Fourth German Army against which the Americans fought in the Argonne.

England asks for Von der Lancken for the shooting of Edith Cavell, and Belgium wants him too.

One woman figure on the list. She is Eliza Schmeiner, who was an attendant at a camp where French women were confined, and is accused of inhuman cruelties.

The list contains perhaps one hundred requisitions in which the accused man is not asked for by name, but by title, regiment at such and such a date is demanded. These are mostly the demands of France.

England's list contains the names of fifty submarine commanders, specified in each case by the name of the ship and the date of the sinking of which they are accused.

Italy demands the notorious Valentiner, who sank the Ancona and 150 other ships.

It is supposed of Bavaria who has to answer for the deportations from the North of France. On Italy's list are five German Generals.

PARIS, Feb. 3 (Associated Press).—The Council of Ambassadors today discussed the reply of Holland regarding the surrender of former Emperor William to the Allies, which Holland refused in her recent answer to the allied demand. The terms of the proposed allied response were considered at length and will be further taken up at the next meeting of the council, on Friday. It is not expected that a decision will be reached on that day, as the different Governments interested must be consulted.

The Petit Parisien says that, while the note will be generally conciliating, it will consider, in case of a new refusal by Holland, measures such as far as the breaking of diplomatic relations or

"The names in what the Germans are already calling the allied 'book of hate' were supplied by Great Britain, Belgium, France, Italy, Poland, Rumania, and Jugoslavia. Japan asked none, nor did the United States.

Great Britain's list contained 87 names, France's 334, Italy's 29, Belgium's 334, Poland's 51, Rumania's 41, and the Jugoslavs' 4.

The majority of the allied statesmen, it is said, do not believe the German Government can hand over these 890 men. It is recalled that Hindenburg and Ludendorff several months ago offered themselves to be tried in place of the ex-Kaiser, and they may come forward and surrender, but for the vast majority of the men the Berlin Government would have to take very vigorous measures to put them into the Allies' hands.

The Petit Journal, edited by Stephen Pichon, recently Foreign Minister of France, who aided in drafting list, says:

"It is inadmissible, that the Government of Berlin for the moment may contest officially the execution of this clause, which it has accepted. In any eventuality, the Allies should not for any motive accept the least change on this subject without reopening discussion on other clauses of the treaty."

Divided into Classes.

The names are divided into classes—those responsible for the policies of the war, those responsible for their enforcement in the civil administration in occupied territories and on the field of battle, are on one list, and those accused of cruelty to the prisoners of war and those accused of submarine atrocities in another list. Both lists, together with the summary and indictments, fill 100 pages of a book about a foot and a half long and a foot wide. Murder, deportations, theft, rape, and inhumanity are among the charges.

I have had the privilege of examining this document under conditions which preclude the revelation of too much of what it contains. I can state, however, that von Bethmann-Hollweg is demanded by Belgium for being responsible for the violation of Belgium neutrality.

Von Hindenburg and Ludendorff are covered by a blanket indictment by both France and Belgium, charging

Continued on Page Two.

The New York Times

Published February 4, 1920
Copyright © The New York Times

Figura 5: Artículo del New York Times del 04/02/1920, comentando el pedido de juzgamiento de 890 alemanes por crímenes de guerra.

La ceremonia de entrega del Premio Nobel a Haber fue el 1º de junio de 1920. A diferencia de la entrega anterior —en noviembre de 1919— el Rey de Suecia no asistió. También fue notoria la ausencia de muchos científicos norteamericanos, franceses y británicos quienes consideraban que la actividad de Haber durante la guerra —por la cual se lo llamaba "el inventor de la guerra de gases"— era inmoral y por ello no era merecedor del Premio. Los que sí asistieron fueron varios científicos alemanes galardonados con el Nobel (Figura 8)

El discurso de presentación, eludió completamente hablar de explosivos u otros materiales de importancia bélica. Su texto fue:

"Geheimrat Professor Haber:

La Academia de Ciencias de este país lo ha galardonado con el Premio Nobel de Química de 1918 en reconocimiento a sus grandes servicios en la solución del problema de combinar directamente el nitrógeno atmosférico con hidrógeno. Encontrar una solución a este problema fue intentado repetidamente con anterioridad, pero Ud. fue el primero en proveer la solución industrial y, de esta manera, crear medios enormemente importantes para mejorar los estándares de la agricultura y el bienestar de la humanidad. Lo congratulamos por este triunfo al servicio de su país y de toda la Humanidad. Por favor, acepte ahora su premio

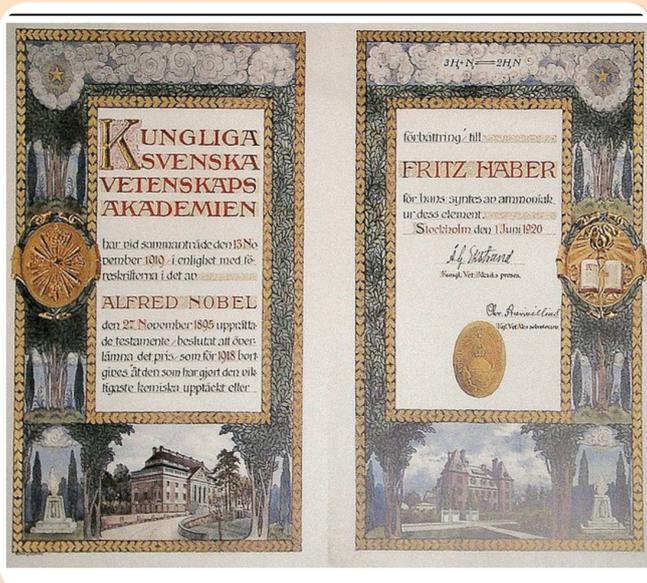


Figura 7: Diploma que acredita el Premio Nobel a Fritz Haber "por su síntesis del amoníaco a partir de los elementos"

THE NOBEL PRIZE.

Statement from the Swedish Legation on the Award to Prof. Haber.

Legation of Sweden,
Washington, D. C., Jan. 26, 1920.

To the Editor of *The New York Times*:
On the front page of today's issue of your esteemed paper you have reproduced some information from French sources as to the awarding by the Swedish Academy of Science of a Nobel Prize for chemistry to Professor Haber of Berlin-Dahlen.

As the information in question seems likely to convey an incorrect impression of the matter, I beg, by order of the Minister from Sweden, to set forth the following facts:

1. The invention for which the prize was awarded to Professor Haber was the synthesis of ammonia by direct way out of its constituent elements.
2. The report on which the award was made stated that the Haber method of producing ammonia is cheaper than any other so far known, that the production of cheap nitric fertilizers is of a universal importance to the increase of food production, and that consequently the Haber invention was of the greatest value to the world at large.
3. The Haber method was invented and published several years before the outbreak of the great war. At the International Congress for Applied Chemistry held in Philadelphia in 1912, it was described by Professor Berthsen. The method was consequently known to all nations before the war and available to them to the same extent. It seems to have been put into practice in the United States.
4. Ammonia, the product of the Haber method, must be converted into nitric acid in order to give rise to explosives or to corrosive gases. As a matter of fact, the Haber plants in Germany were erected with a view to producing agricultural fertilizers.
5. As far as I know, no gas masks have ever been manufactured in Sweden. In all events, there existed in Sweden during the whole war an export prohibition on all sorts of war material. That prohibition has been rigorously upheld.
6. The Nobel Prizes are paid in one single instalment and not in monthly instalments.

HAMMARSKJÖLD,
First Secretary of Legation.

Figura 6: Aclaración de la legación sueca en Washington sobre el motivo del Premio Nobel a Haber. *New York Times* 26/01/1920

de manos del Presidente de la Fundación Nobel.²⁹

En la "Conferencia Nobel"³⁰, Haber describió detalladamente el significado de la síntesis de amoníaco para la agricultura, pero no hizo ninguna mención de su significado para la industria de los explosivos.

La vuelta a Berlín

La colección de nombres presentada por 7 de los países integrantes de la Alianza al Barón von Lersner demostró ser totalmente inmanejable. Muchas de las acusaciones a esas personas no se podían probar fehacientemente y otras personas no podían ser locali-



Figura 8: Un grupo de Premios Nobel y sus esposas, fotografiados en el frente del Gran Hotel de Estocolmo, después de arribar desde la Ceremonia de entrega del Premio a Haber, el 1° de junio de 1920. De izquierda a derecha, Haber, Barlka, Planck, Willstätter, Stark y von Laue. De una filmación tomada por S. F. Veckorevy el 07/06/1920. © Nobel Web AB 2009.

zadas. Además había gran cantidad de errores en la escritura de los nombres. Luego de sucesivas correcciones, la lista se fue acortando hasta quedar reducida a unas 45 personas, la mayoría eran personajes que no ostentaban cargos importantes y en la última corrección, ya no figuraba Fritz Haber. El proceso a estas personas comenzó en la Corte de Leipzig a fines de 1921.

De los seis acusados por los británicos, cinco fueron declarados culpables y condenados a penas cortas. De los imputados por los belgas y franceses, sólo uno, acusado de dispararle a un prisionero de guerra, fue declarado culpable y condenado ... a dos años de cárcel. La inutilidad de estos juicios se hizo evidente, y una comisión de expertos jurídicos aliados, al revisar los juicios y sentencias, encontró tantos errores que recomendó la suspensión de los juicios que faltaban completar y que se reenviasen todas las causas pendientes a un tribunal aliado. El informe fue recibido por las autoridades aliadas, cajoneado y olvidado³¹.

Haber regresó a Berlín y se hizo cargo de la Dirección del KWI de Dahlem. Pero siguió involucrando en el desarrollo de armas químicas. Desde 1919, Alemania había iniciado un programa secreto para continuar el desarrollo y producción de armas químicas bajo la supervisión de Haber. A fin de evitar inspecciones instituidas por el Tratado de Versalles, el programa se trasladó a terceros países, uno de ellos fue la Unión Soviética. Hugo Stolzenberg³² estuvo a cargo de ese programa en representación de Haber. En Alemania, las líneas de producción de armas químicas fueron en parte convertidas para adaptarlas a la fabricación de fumigantes agrícolas, actividad legal según el tratado de Versalles. Por ello, en marzo de 1919 un grupo de

29. <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1918>

30. *The synthesis of ammonia from its elements.* http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1918/haber-lecture.pdf

31. *Luego de los juicios de Nuremberg, Albert Speer, condenado a 20 años de prisión por crímenes de guerra durante el régimen nazi, lamentó que el fracaso de los juicios por los crímenes de la Primera Guerra haya tenido un efecto importante en la comisión de crímenes durante la Segunda Guerra.*

32. *Fue el padre del autor de una de las biografías más completas de Fritz Haber, la que se indica en la bibliografía.*

empresas alemanas, con un subsidio del Estado, crearon la *Deutsche Gesellschaft für Schädlingsbekämpfung mbH* (Degesch). Los accionistas más importantes de Degesch fueron I.G. Farben A.G. y *Deutsche Gold- und Silber-Scheide-Anstalt* (Degussa), cada uno de ellos con el 42,5% de las acciones. El 15% restante era de Goldschmidt A.G. de Essen. La investigación y desarrollo necesarios para la transformación fue provista por Haber y su Instituto. En 1920, con el asesoramiento de Haber, Ferdinand Flury desarrolló en la Degesch un pesticida que libera cianuro de hidrógeno, que tenía mejor estabilidad que los que hasta entonces se conocían y que incorporaba una sustancia odorífera irritante para alertar sobre su presencia. El pesticida fue bautizado Zyklon A. En esa empresa Walter Heerdt, uno de los colaboradores de Haber en el KWI, desarrolló un método para absorber cianuro de hidrógeno líquido, junto con el odorizante en tierra de diatomeas, luego reemplazada por pellets de yeso llamados *erco-dice*, el Zyklon B. El cianuro de hidrógeno así absorbido y colocado en latas herméticas de varias medidas, era muy seguro tanto para el almacenamiento como para el transporte (Figura 9).



Figura 9: Zyklon B

Además de las prohibiciones militares, en cuanto a la fabricación de armamentos y agresivos químicos, el Tratado de Versalles imponía a Alemania sanciones económicas durísimas. Ante la negativa alemana a cumplirlas, a principios de 1921 las tropas francesas, británicas y belgas invadieron el Ruhr para forzar su cumplimiento y pagar las indemnizaciones de guerra.

El 27 de abril de 1921, las reparaciones fueron fijadas en el equivalente en oro de 6.600 millones de libras esterlinas pagaderos en cuotas anuales hasta 1988. El 11 de mayo de ese año, Alemania aceptó pagar esas indemnizaciones, lo que generó la mayor contracción económica interna de toda su historia. Al estallar la Primera Guerra, el Reichsbank, el Banco Central de Alemania, suspendió la convertibilidad entre el marco y el oro. A partir de entonces, el Banco podía emitir la cantidad de moneda que fuera necesaria sin necesidad de que ella tuviese respaldo en oro u otra moneda "fuerte". Durante la guerra, el Reichsbank emitió mucha moneda sin respaldo, pero como millones de alemanes estaban en el frente y había racionamiento de muchos productos básicos, la inflación que generaba la emisión no se notaba tanto y en enero de 1919, el índice de precios mayoristas había aumentado 2,6% respecto del año anterior. En enero de 1921, ese índice había aumentado el 14,4%. Pero el pago

de las indemnizaciones de guerra con el saldo de la balanza comercial generó un déficit fiscal enorme. El Gobierno alemán intentó paliar el déficit con una emisión de tal magnitud que en noviembre de 1923 el índice de precios mayoristas había aumentado 726.000.000.000%

respecto del año anterior. Una estampilla de correo terrestre llegó a costar mil millones de marcos. Los asalariados paraban de trabajar tres veces por día para cobrar la parte proporcional de su sueldo y darles el dinero a sus familiares para que hicieran las compras. Se llegó a usar el papel moneda en vez de carbón para calentar el horno (Figura 10).



Figura 10: Un ama de casa alemana usa billetes de banco en vez de carbón para calentar el horno.

El proceso inflacionario cesó bruscamente con la creación de un nuevo Banco Central, el Rentenbank, y la emisión de una nueva moneda, el Rentenmark. Esta moneda estaba "respaldada por las tierras fiscales y la producción industrial" y se canjearía obligatoriamente a razón de 1 Rentenmark por cada billón de marcos. Cesó la emisión y con ella la inflación, pero dejó sumida a buena parte de la población alemana en la indigencia³³.

La situación económica de Alemania impulsó a Haber a buscar procedimientos químicos que permitieran paliarla de alguna manera. Ya en 1886 la Academia de Ciencias de Francia había publicado un trabajo en que se aseguraba que en el agua de mar había oro disuelto. Ese mismo año, E. Sonnenstadt publicó que en el Canal de la Mancha la concentración de oro disuelto era de 65 mg por tonelada de agua. Svante Arrhenius³⁴ determinó experimentalmente que esa concentración era exagerada. Sus mediciones mostraban una concentración promedio de 6 ppm³⁵. La autoridad de Arrhenius, llevó a Haber a estudiar un método para obtener oro a partir del agua de mar y así poder ayudar al Estado a pagar las indemnizaciones de guerra. En su KWI, se empeñó en el proyecto patriótico "oro a partir del agua de mar" y trabajó en ese proyecto³⁶ hasta fines de 1926. Durante esos años analizó más de mil muestras de agua del Mar del Norte y del Océano Atlántico encontrando que la concentración oscilaba entre 0,002 y 0.044mg/ton que eran unas mil veces menor que la mínima requerida para hacer rentable su extracción, de modo que el proyecto debió ser descartado.

33. Lo que fue uno de los factores del resurgimiento del nacionalismo en la década siguiente.

34. Premio Nobel de Química 1903.

35. ppm: partes por millón.

36. Uno de sus colaboradores fue Johannes Jannicke (1894 – 1984) quien recopiló 2900 documentos biográficos sobre Haber donándolos a la Max Planck Gesellschaft, gracias a lo cual nuestro trabajo pudo realizarse.

El esplendor del KWI

El período 1926 – 1933 que siguió fue dedicado en gran parte a la investigación básica. Durante esos años Haber contrató un gran número de investigadores jóvenes y de primera clase y les dio amplia libertad para sus investigaciones. Así fue como Paul Harteck, codescubridor con Bonhoeffer del para-hidrógeno caracterizó el liderazgo de Haber durante esa época:

“Haber, por su personalidad, ponía el tono en el Instituto. Era suficientemente hábil para saber que uno tiene que darle líderes a un grupo y también a los miembros jóvenes del instituto una libertad científica de amplio rango a fin de crear una atmósfera de pensamiento científico libre”. (Stolzenberg, 2004b)

Al mismo tiempo, Haber podía asegurar la financiación adecuada, principalmente a través de sus contactos con la industria; la BASF estaba entre sus principales patrocinadores. También consiguió subsidios provistos por el *Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft*³⁷ (posteriormente *Deutscher Forschungsgemeinschaft*³⁸) del cual Haber había sido co-fundador con Friedrich Schmidt-Ott en 1920.

La diversidad y calidad de los trabajos realizados en el Instituto de Haber es sorprendente. Si bien el principal tema fue la Físicoquímica, los temas investigados iban desde la Física teórica hasta la Fisiología. Como lo describió Dudley Herschbach en su Conferencia Nobel de 1986: *“La Mecánica Cuántica embrionaria acompañaba la nueva era estructural generando una nueva Físicoquímica”*.³⁹

Con presupuestos adecuados, el Instituto de Haber aplicaba su instrumental moderno y especializado para el estudio de las estructuras moleculares.

En los primeros tiempos del Instituto, James Franck y Gustav Hertz hicieron estudios de dispersión de electrones en gases que culminaron en 1914, con lo que se conoce hoy en día como “experimento de Frank y Hertz”. Sus colaboradores incluían a Walter Grotrian, Paul Knipping y Herta Sponer. Todos ellos alcanzaron posteriormente, notoriedad científica. En 1916, Haber contrató a Herbert Freundlich, bien conocido por sus trabajos sobre absorción de gases. Freundlich se destacó luego en Química Coloidal. Rudolf Ladenburg estableció las bases de la teoría cuántica de la dispersión y su relación con la estructura atómica. Michael Polanyi fue un pionero en estudios sobre cinética de gases y, con colaboradores como Eugene Wigner y Henry Eyring, desarrolló las bases teóricas de la dinámica de las reacciones⁴⁰ anticipándose a las investigaciones

sobre esta rama de la Físicoquímica realizadas a fines de la década de 1950. Hartmut Kallman estudió la ionización de moléculas por electrones de baja energía. Bonhoeffer, Harteck y Ladislaus Farkas estudiaron la cinética de los radicales libres e hicieron estudios sobre autooxidación. El último juguete científico de Haber fue la descomposición del peróxido de hidrógeno catalizada por sales de hierro.

El instituto fue también famoso por sus coloquios moderados por Haber. Eran interdisciplinarios abarcando temas “desde el átomo de helio a la fisiología de las pulgas”.

Stolzenberg caracterizó la actitud de Haber hacia su trabajo –y lo que él consideraba sus obligaciones– como sigue:

“El esfuerzo extremo, a menudo a los límites de su fuerza física, era un hábito constante en todas partes de su vida. Él nunca podía relajarse totalmente, y encontró insoportable la ociosidad. Su mente tenía que estar constantemente en uso”. (Stolzenberg, 2004c)

Haber hizo varios comentarios sociales que fueron tan aptos en su tiempo como lo son hoy. En particular, él creyó que, si el estilo alemán del estado del bienestar debía permanecer en un lugar de privilegio, Alemania debía generar ciencia energicamente. El período feliz se terminó en 1933.

Los nazis en el Gobierno

El ascenso al poder político del nacional-socialismo, entorpeció severamente el desarrollo del KWI de Haber. En rigor, dañó a toda la infraestructura científica del país. Con los nazis en el gobierno, Alemania ya no necesitaba el patriotismo de Haber.

A fines de marzo de 1933, fue sancionada la *Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums* (ley para la Restauración del Servicio Civil) Esa ley reorganizaba la Administración Pública “nacional” y permitía el despido de todos los empleados civiles. Todo empleado civil que era “descendiente de no-arios”⁴¹ y todo empleado considerado oponente al régimen nazi debía ser despedido de la Administración Pública Nacional, estadual o municipal, por no ser confiable de su lealtad al Estado Nacional. La ley fue objetada por el Presidente, Paul von Hindenburg quien se negó a promulgarla hasta que se introdujesen algunas modificaciones. Finalmente, Hitler accedió a que fueran exceptuados: i) los veteranos de la Primera Guerra que hubieran servido en el frente de batalla; ii) aquellos que estuvieran en el Servicio Civil desde el 1° de agosto

37. Asociación de la Ciencia Alemana en Emergencia.

38. Fundación alemana de investigación.

39. Herschbach, D.R.; (1992): “Molecular Dynamics of Elementary Chemical Reactions” en *Nobel Lectures, Chemistry 1981 – 1990* Editor Bo G. Malmström, World Scientific Publishing Co., Singapore, p. 267.

40. La dinámica de las reacciones es una rama de la Físicoquímica que estudia las causas que originan las reacciones químicas, cómo predecir su comportamiento y cómo controlarlas. Muy relacionada con la Cinética Química se ocupa más del estudio durante períodos breves de reacciones a escala submicroscópica. Herschbach, citado anteriormente, ganó el Premio Nobel de Química 1986 por sus trabajos en esa especialidad.

41. Posteriormente se reglamentó considerando “descendiente no ario” a quien tuviese un abuelo no ario —por ejemplo, judío, gitano o negro.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

to de 1914, es decir, desde el estallido de la Guerra y iii) aquellos que, durante la Guerra, hubieran perdido un padre o un hijo en combate. La ley fue promulgada el 7 de abril de 1933 y fueron inmediatamente removidos de sus posiciones universitarias, en todo el país, una gran cantidad de científicos judíos, hijos o nietos de judíos, "opositores" y "radicales políticos".

Si bien Haber, siendo Capitán del Ejército y veterano de la Primera Guerra estaba excluido del despido, como Director del instituto, se encontró en la obligación de poner en práctica la ley y despedir a todos los 12 colaboradores de ascendencia judía. Entre éstos se contaban científicos brillantes como Ladislaus Farkas, Herbert Freundlich, Hartmut Kallmann, y Michael Polanyi. Haber reconoció que lo único que le quedaba por hacer era ayudar a encontrar trabajo a sus colaboradores despedidos e irse. Entregó su renuncia el 30 de abril de 1933. Esto llevó a Max Planck, en ese entonces Presidente de la Kaiser Wilhelm Gesellschaft, a hacer un intento de 11 horas para salvar al Instituto de Haber de la disolución y pedirle a Hitler en persona que intercediera ante el Ministro prusiano de Educación que la ley del Servicio Civil no se aplique a los KWI ya que en ellos había científicos tan valiosos que habían ganado Premios Nobel. Como Planck, luego recordaría vividamente, Hitler no sólo no cambió de opinión sino que sus argumentos para mantener la negativa se fueron haciendo cada vez más violentos y su furia casi alcanzó el paroxismo.

Los contactos que Haber tenía le trajeron ofertas de Japón, Palestina, Francia y Gran Bretaña. Decidido por este último, aceptó la invitación de Sir William Pope para trabajar con él en la Universidad de Cambridge.

En Cambridge, estuvo durante dos meses. Allí tuvo muy pocas satisfacciones, entre ellas, la vecindad de una de sus hermanastras y la de reencontrarse con su ex colaborador Kallman. Pero, en el trato con sus colegas británicos y con los estudiantes percibía claramente el rencor por su actitud durante la guerra y varias de sus charlas fueron boicoteadas. En muy poco tiempo se dio cuenta que ese no era su "lugar en el mundo".

El ambiente hostil que percibía y el clima invernal, muy frío y húmedo, que le produjo problemas respiratorios, lo hicieron pensar en abandonar Inglaterra.

Haber tenía una invitación de Chaim Weitzmann para tomar un cargo en el naciente Daniel Sieff Institute (luego Weitzmann Institute of Science) en Rehovot, entonces Palestina. Weitzmann⁴² se había empeñado en establecer instituciones académicas judías en Palestina. En 1932, había visitado a Haber en Dahlem y se impresionó tanto por el KWI al punto que diseñó el Instituto Sieff de acuerdo con el de Haber. Pero si bien, para Haber, trasladarse a Palestina era tentador, su correspondencia de esa época sugiere que no quería renunciar a su identidad y a su patria germana, ni trasladarse lejos de Alemania pensando, quizás, que

la situación política podía cambiar. La que si viajó a Palestina fue Rita Crakauer, su secretaria en Dahlem y "el alma del Instituto", para trabajar como secretaria de Weitzmann.

Al irse de Cambridge, dejó una carta donde hizo una referencia elíptica al trato recibido. En la carta decía que *"el código de los caballeros del Rey Arturo todavía está vigente entre los científicos ingleses"*.

Voló a Suiza, su patria por adopción, pensando que el hecho de tener la nacionalidad no lo haría tan extraño ante la sociedad suiza. Sintiendo que su salud y su ánimo estaban bastante deteriorados redactó su testamento. En él expresó su deseo de ser sepultado junto a su primer amor, su esposa Clara, a cuyo sepelio no había asistido. Pidió ser enterrado en Dahlem de ser posible. O "si imposible o desagradable", en otra parte y hacer inscribir las palabras siguientes en su tumba: "Él sirvió a su país en la guerra y en la paz mientras le fue concedido". Hermann, el hijo de Haber, nombrado albacea del testamento confesó más tarde que "nunca entendió lo que Haber, realmente, quiso decir".

Haber murió de un infarto el 29 de enero de 1934 en Basel, Suiza en un paseo "al sur" sin un destino claro. Fue enterrado allí y de acuerdo con su deseo, las cenizas de Clara fueron sepultadas a su lado. No hay ningún credo inscripto en la lápida de la pareja.

Peor después de la muerte

Al cumplirse un año de la muerte de Haber, la Kaiser Wilhelm Gesellschaft organizó un memorial "puramente interno y estrictamente privado". En la cartelera de noticias del centro de conferencias de la KWG no figuraba el nombre del homenajeado. A la hora señalada, el recinto se fue llenando... de mujeres. Eran las esposas de los profesores del Instituto de Berlin o de la KWG. Ellas vinieron en representación de sus esposos a quienes se les había impedido concurrir, mediante una prohibición tajante. Max Planck abrió el acto diciendo que la KWG quería rendir "un postrero adiós a un científico y persona importante". En ese discurso introductorio, Planck remarcó la importancia de la síntesis de amoníaco para el desarrollo de la Humanidad y que si Haber no hubiese hecho ese magnífico descubrimiento Alemania hubiese colapsado económica y militarmente en los primeros tres meses de la Primera Guerra Mundial. La esencia del discurso de Planck fue que la gran contribución de Haber había quedado desvirtuada por su condición de "judío bautizado". Luego, Otto Hahn dio una conferencia en la que trató aspectos personales de Haber, su trabajo científico y la evolución del KWI que Haber dirigió. El orador siguiente debió ser Karl Friedrich Bonhoeffer, uno de los más estrechos colaboradores de Haber. Pero como le habían prohibido asistir envió el texto del discurso con la esposa, el que fue leído por Hahn.

42. Chaim Weitzman (1874 – 1952) fue un químico que durante la primera guerra desarrolló un método para la obtención de acetona, sustancia imprescindible para la producción del explosivo cordita. Gracias a ello, consiguió que Gran Bretaña emitiese la "Declaración Balfour" reconociendo el derecho del pueblo judío a tener un Hogar Nacional en Palestina. En 1949, Weitzmann fue electo primer Presidente del Estado de Israel.

Haber había fallecido, pero su legado complejo y contradictorio seguiría siendo tema de discusión durante años.

En una necrológica publicada en *Naturwissenschaften* en 1934, Max von Laue predijo que Haber sería recordado, fundamentalmente, como el inventor de la síntesis del amoníaco — “pan a partir del aire”, como lo había bautizado— proceso que revolucionó a la industria química y que, a través de su uso en la producción de fertilizantes, proveería alimentación a miles de millones de personas. Pero la predicción de von Laue fue errónea. Haber sería recordado también por la producción de “pólvora a partir del aire” y por el desarrollo de armas químicas que costaron la vida a millones de personas.

En 1942, el Reich adoptó la “solución final” para los judíos. El Zyklon B, fabricado en la planta industrial de la Degesch, en Frankfurt am Main fue utilizado para matar millones de judíos y otros “*untermenschen* — gitanos, personas con síndrome Down, personas de color, homosexuales, etc.— en los campos de concentración alemanes. Desde fines de 1942 y en 1943, la empresa Tesch & Stabenow —dedicada a la fumigación de campos con Zyklon B— envió 19 toneladas de ese material a Auschwitz Birkenau. Por expresas instrucciones de las SS, el Zyklon B fue enviado sin el odorizante que alertaba sobre su presencia y luego de ser acondicionado en el laboratorio Buna Werke que había montado la I.G. Farben en el campo de concentración, fue empleado en las “cámaras de gas”. El Tribunal de Nuremberg, en 1946, juzgó y condenó a la horca a Bruno Tesch —uno de los dueños— y a Karl Weinbacher, Director de la empresa, por haber distribuido el tóxico “con intención de matar seres humanos”. Uno de los empleados de la empresa testimonió que Tesch en persona asesoró a las SS sobre la manera más efectiva de emplearlo para ese fin⁴³. En cambio, los directivos de I.G. Farben y de Degusa, evadieron tan hábilmente sus responsabilidades durante el juicio, que los fiscales no pudieron probar los cargos, por lo que fueron sobreesidos.

Como una trágica ironía, el Zyklon B, que Haber había sintetizado en 1919, fue utilizado en Auschwitz para matar a varios familiares del inventor.

El conocimiento y la publicidad dada a los juicios de Nuremberg y, en particular, al uso del Zyklon B en las cámaras de gas de Auschwitz, repercutieron profundamente en el ánimo de los hijos de Haber. Hermann Haber se suicidó a fines de 1946. Eva, la hija de Haber con Chalotte Nathan, se suicidó pocos meses después.

Conclusión

La obra de Fritz Haber quedará en la historia como un resultado controversial. De acuerdo con el punto de vista que se adopte se resaltarán sus aspectos positivos o negativos. Para Max Planck, su patriotismo los llevó a priorizar los intereses de su país por sobre todas las cosas⁴⁴. Fue digno de mérito su intención de enrolarse voluntariamente al estallar la guerra o que, habiendo alcanzado todos los honores —Profesor honorario de la Universidad de Berlín, Miembro de la Academia Prusiana de Ciencias, Premio Nobel de Química y Geheimrat— y poseedor de una gran fortuna, dedicase años de esfuerzos para intentar recuperar oro del agua de mar con el que Alemania pudiese pagar las indemnizaciones de guerra. Pero tampoco puede dejarse de censurar su concepción de que en la guerra “todo vale” o que “las armas químicas son más humanas que las convencionales porque acortan las guerras”, como si el fin justificase los medios. Y que es casi unánimemente reprobable que, después de la guerra, se haya dedicado al desarrollo de armas químicas bajo la fachada de pesticidas agrícolas. Lo que indudablemente arroja luz sobre los aspectos ensombrecidos por sus concepciones morales, es su logro en sintetizar amoníaco. La producción de fertilizantes nitrogenados, que en los primeros años del siglo XIX no llegaba al medio millón de toneladas anuales, hoy supera los 140 millones de toneladas/año. Esto permitió un aumento espectacular de los rendimientos agrícolas ayudando a paliar el hambre de miles de millones de personas. Quizás sea este el factor que más influyó para que, en 1953, el KWI de Dahlem cambiara su nombre por el de *Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft (MPG)*.

En el análisis de la manera en que se hace ciencia se suele tener en cuenta el llamado “contexto de descubrimiento” en el que se estudian aquellos aspectos personales del científico, su motivación, las condiciones en que trabajó, el interés social en el tema de su trabajo, etc. El orgullo personal y profesional de Haber, su capacidad intelectual y la invalorable ayuda económica de la BASF lo llevaron a lograr una reacción que, en esa época, era considerada imposible de llevar a escala industrial. La validez de su trabajo fue cuestionada y no sólo salió airoso por el testimonio de otros científicos sino por la producción de amoníaco sintético desde hace casi un siglo. Queda por analizar lo que en Epistemología se llama “contexto de aplicación” en el cual se analizan los beneficios y perjuicios que un descubrimiento puede ocasionarle a la sociedad. Se ha criticado mucho a Haber porque la síntesis del amoníaco permitió la fabricación de ácido nítrico. Debemos, hacer notar que el ácido nítrico se fabricaba desde hacía un siglo y que su uso no era exclusivo para la obtención de explosivos sino que tiene múltiples aplicaciones no bélicas, en fertilizantes, en la obtención de colorantes y otras sustancias orgánicas. En la masacre de Ypres se usó cloro como agresivo químico.

43. <http://www.ess.uwe.ac.uk/WCC/zyklonb.htm> Process versus Tesch u.a.

44. Debemos aclarar que Planck hizo todos los esfuerzos posibles para mantener a la KWG y a sus Institutos fuera de la influencia nazi y que, ante el mismo Hitler defendió la contribución de Einstein a la Física como “el más importante descubrimiento desde la época de Newton”.

co, pero no por eso puede culparse a Humphry Davy por haberlo descubierto en 1807.

A menudo se afirma que la Ciencia contribuye al bienestar de la Humanidad. Esto lo testimonian el aumento de la edad promedio de vida, la disminución de la mortalidad infantil, la curación de ciertas enfermedades, el incremento de los rendimientos agrícolas, etc. Pero no siempre hay una correspondencia estricta entre crecimiento científico y mejora de la calidad humana. Así como no siempre el conocimiento ennoblece moralmente al científico.

Haber vivió esforzándose por alcanzar metas personales y defendió sus convicciones "morales" a pesar de las opiniones de su familia y de sus amigos. ¿En qué medida esas convicciones incidieron en el suicidio de Clara y en el distanciamiento de muchos de sus colegas? Muchos colegas que se alejaron cuando era considerado un "criminal de guerra" escribieron en el *Festschrift*⁴⁵ cuando cumplió 60 años. El exilio lo puso frente a una realidad que no había imaginado. Las cartas de los últimos meses, guardadas en el Museo de la MPG, revelan que estaba abatido tanto por el final de su carrera en Alemania como por el rechazo social que percibía fuera de su país. En su testamento pidió ser enterrado junto a Clara ¿Fue una manera de pedirle perdón por la determinación que ella tomó? ¿Por no haber asistido a su sepelio? Si Haber hubiese vivido hasta 1946, ¿el conocimiento de la aplicación que se le dio al Zyklon B lo habría llevado al suicidio al igual que a sus hijos? Estos y otros interrogantes quedarán sin respuesta.

Referencias bibliográficas

Fritz Haber, "Über die Nutzbarmachung des Stickstoffs", *Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Karlsruhe* 23 (1909/10), p.23.

Haber, L.F; (1986): *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare in the First World War*, Oxford University Press. New York.

Mittasch, A.; (1951a) *Geschichte der Ammoniaksynthese*, Weinheim: Verlag Chemie GmbH, p. 68, note 6.

Nathan, C.; (1970): *Mein Leben mit Fritz Haber: Spiegelungen der Vergangenheit*, Econ, Düsseldorf.

Ostwald, W: (1926): *Lebenslinien. Eine Selbstbiographie*, Vol. II. Klassing. Berlin. Cap. 12. p. 232.

Stern, F. (2003a). *El mundo alemán de Einstein. La promesa de una cultura*. Barcelona: Paidós, p. 74.

Stern, F. (2003b). *El mundo alemán de Einstein. La promesa de una cultura*. Barcelona: Paidós, pp. 76- 77.

Stern, F. (2003c). *El mundo alemán de Einstein. La promesa de una cultura*. Barcelona: Paidós, pp. 72- 73.

Stern, F. (2003d). *El mundo alemán de Einstein. La promesa de una cultura*. Barcelona: Paidós, p. 133.

Stern, F. (2003e). *El mundo alemán de Einstein. La promesa de una cultura*. Barcelona: Paidós, p. 137.

Stern, F., (1999) *Einstein's German World*. Princeton University Press, Princeton. P. 74.

Stolzenberg, D.; (2004a) *Fritz Haber, Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, Heritage Press, Philadelphia, p. 43.

Stolzenberg, D.; (2004b) *Fritz Haber, Chemist, Nobel Laureate, German, Jew*, Heritage Press, Philadelphia, p. 370.

von Leitner,G.; (1993): *Der Fall, Clara Immerwahr*, C.H. Beck. München.

Weidlich,R. "Erinnerungen" (Memorias), manuscrito. Dado por el Dr. Emil Fischer a Johannes Jaenicke, depositado el 14 de mayo de 1956 en la MPG, Dept. Va, Rep. 5, 1509.

45. *Festschrift* es un libro de homenaje a una persona respetable, generalmente académico, en el que colegas o amigos escriben artículos vinculados a su actividad.

10

DOS QUÍMICOS EN EL MUNDO DE LA FÍSICA:
EL DESCUBRIMIENTO DE LA FISIÓN NUCLEAR**Dr. Juan Carlos Furnari¹, Dr. Isaac Marcos Cohen^{2,3}***1 Gerencia de Área Aplicaciones de la Tecnología Nuclear, Comisión Nacional de Energía Atómica.**Email: furnari@cae.cnea.gov.ar**2 Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional.**Email: icohen@fra.utn.edu.ar**3 Departamento Ingeniería Química, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.*

“- ¡Tal como lo estamos pensando, Otto, el modelo de la gota líquida se adapta perfectamente! Al entrar un neutrón en el núcleo de uranio, semejante a la gota de un líquido, se desestabiliza, se deforma, se alarga, se va angostando en el medio, y luego se separa en dos partes. Sería casualidad que esas partes fueran iguales; lo más probable es que sean diferentes cada vez que ocurre.

- Hice además los cálculos, tía. ¡Según la ecuación de Einstein¹, la energía liberada es enorme! A propósito, le consulté a mi amigo William² que por suerte está con nosotros en Copenhague, y me propuso el nombre “fisión”, para este proceso. Es que se parece mucho a la fisión binaria celular. ¡Tenemos todo listo, tía, escribamos los artículos!”

Ésta pudo haber sido parte de una de las fructíferas charlas entre dos físicos, Lise Meitner y su sobrino, Otto Frisch, que comenzaron a fines de 1938 en Kungälv, Suecia, en donde ambos pasaron unas vacaciones, y continuaron circunstancialmente en Copenhague a principios de 1939. En esa última ocasión escribieron los artículos donde explicaron los hechos descubiertos por Otto Hahn y su asistente Fritz Strassmann durante 1938, y postularon y caracterizaron el fenómeno de la *fisión nuclear*. También comunicaron el descubrimiento al gran Niels Bohr.

La fisión nuclear es, presumiblemente, uno de los hechos científicos que más cambiaron la historia del mundo. Demás está recordar que este descubrimiento, realizado en los albores de la segunda guerra mundial, llevó en meses a la postulación de la famosa reacción en cadena y la posibilidad de construir una “súper bomba”. Poco después, y en menos de cuatro años, el Proyecto Manhattan concretó dicha premonición que dio un lamentable origen a la Era Atómica con las explosiones de Hiroshima y Nagasaki. Luego, en tiempos de paz, se desarrollaron los reactores nucleares y una infinidad de aplicaciones nucleares que mejoraron sin duda alguna la calidad de vida de toda la humanidad.

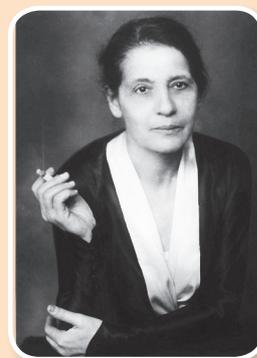
Además de la generación de electricidad, se han desarrollado muchas aplicaciones nucleares más, de las cuales no podríamos prescindir de ninguna manera. La medicina nuclear, la radioterapia, el control de plagas y la conservación de alimentos por radiación, el desarrollo agropecuario, el mejoramiento del medio

ambiente y muchos otros ejemplos más, tienen hoy un lugar en la vida diaria.

La química, la biología, la física, entre muchas ciencias básicas, han crecido enormemente gracias a diversas técnicas nucleares. Muchos avances se han operado en la industria gracias a la tecnología nuclear. Paradójicamente, la propia competidora de la industria nuclear, esto es, la industria del petróleo, depende del uso de radioisótopos para la exploración y la explotación de pozos petroleros.

Los protagonistas de esta historia**Lise Meitner (1878 –1968),**

física austríaca, fue la segunda mujer en alcanzar el grado de Doctor en Física de la Universidad de Viena, en 1905. En esa época las mujeres tenían serias dificultades para acceder a la educación superior y su rol en la ciencia era secundario. Fue una rara excepción que Max Planck la aceptara en 1907 como su asistente. Por entonces conoció a Otto Hahn, quien fue su compañero de trabajo por 30 años.

**Lise Meitner.**

También fue la primera mujer en alcanzar el grado de profesora universitaria de física en 1926. Junto a Hahn descubrió nueve radioisótopos y publicó diversos artículos, que firmaba como L. Meitner (algunos editores rechazaban las publicaciones si eran firmadas por mujeres). Entre 1924 y 1934 fue nominada cinco veces para el premio Nobel.

Lise se convirtió al protestantismo en 1908; sin embargo, por su origen judío, cuando Austria fue anexada a Alemania en 1938, se vio obligada a escapar del régimen nazi huyendo a Holanda, a Dinamarca y luego a Suecia. Desde el advenimiento de la dictadura nazi en 1933 hasta entonces, su prestigio y su nacionalidad austríaca la habían resguardado.

En la Suecia de entonces había aún más prejuicios

1. Se refiere a la conocida ecuación: $E = m \cdot c^2$ [Energía igual a masa por velocidad de la luz al cuadrado]

2. William Archibald Arnold (1904-2001), biólogo norteamericano.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

en contra de las mujeres científicas y debió continuar su trabajo, con 60 años, en el Instituto Manne Siegbahn de la Universidad de Estocolmo en condiciones desfavorables.

En una carta, Lise Meitner criticó duramente a los científicos que, como Werner Heisenberg y el mismo Otto Hahn, permanecieron en Alemania trabajando para Hitler, y reconoció su culpa por no saber cómo iba a derivarse su trabajo. Esa carta constituye un importante alegato en contra de la neutralidad política de la ciencia.

Lise Meitner murió a los noventa años, pese a haber trabajado con radiactividad como madame Curie y a haber fumado mucho durante gran parte de su vida. Einstein la llamaba afectuosamente "nuestra madame Curie alemana". Sobre su tumba reza una inscripción: "Una física que nunca perdió su humanidad".

Otto Robert Frisch (1904-1979), el hijo de la hermana mayor de Lise Meitner, se graduó en la Universidad de Viena como físico. Trabajó con Otto Stern, ganador del premio Nobel de Física en 1943. En 1933, a causa del nazismo, se trasladó a Londres y luego a Copenhague, donde se especializó en física nuclear con Niels Bohr.

En las navidades de 1938 fue invitado por su tía a la pequeña ciudad campesina de Kungälv, en Suecia, donde según cuentan, durante un desayuno, interpretaron los resultados de los experimentos de Otto Hahn y Fritz Strassmann, a partir de una carta que ellos le habían enviado a Lise.

Luego de más investigaciones irradiando uranio con neutrones, y al ver que en cada fisión del uranio se producían dos o tres neutrones, que podían a su vez impactar con más núcleos de uranio, Otto Frisch teorizó acerca de la posibilidad de ocurrencia de una reacción en cadena. También dedujo que se liberaría una inmensa cantidad de energía en un lapso muy corto, de milisegundos, generándose una explosión. Este desarrollo teórico fue realizado trabajando en Birmingham junto al físico Rudolf Peierls, con quien presentó el memorándum Frisch-Peierls al gobierno de Gran Bretaña, en marzo de 1940.

Este memorándum dio inicio a un programa inglés de desarrollo de la bomba atómica, el proyecto "Tube alloys" y también contribuyó al proyecto Manhattan. El conocimiento de la reacción en cadena había sido desarrollado antes por Leo Szilard, quien le pidió a Albert Einstein que escribiera su famosa carta al presidente Roosevelt en agosto de 1939, la que derivó en la iniciación del proyecto a fines de 1941. Frisch también participó en el proyecto Manhattan en 1943, como parte de la delegación británica. En cambio, Lise Meitner rechazó un ofrecimiento similar para unirse al desarrollo de la bomba.

Otto Hahn (1879 -1968) es el primer químico de nuestra historia. Luego de completar sus estudios en la Universidad de Marburg y trabajar en la industria por un corto tiempo, se trasladó en 1904 a Londres en donde fue discípulo de William Ramsay. Durante ese período se inició en la radioquímica, disciplina creada hacía poco tiempo por el grupo de París, liderado por Marie Curie. Hahn aprendió rápidamente las técnicas separativas de Madame Curie; mientras buscaba ais-

lar al radio de minerales de uranio descubrió una sustancia radiactiva que llamó "radiotorio", más tarde reconocido como el isótopo 228 del elemento torio, del que hablaremos más adelante.

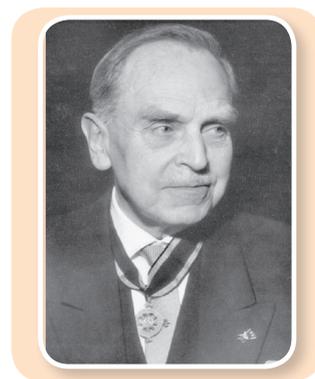
En 1905 visitó la Universidad McGill, de Montreal, donde trabajó junto a Ernest Rutherford, descubridor del núcleo atómico y padre de la incipiente física atómica. Allí estudió los rayos alfa del radiotorio y del "radioactinio", otro isótopo del torio (Th-227). En 1906 Hahn vuelve a Alemania para investigar en la Universidad de Berlín. En poco tiempo descubre las sustancias llamadas mesotorio I y mesotorio II, isótopos del radio y del actinio, respectivamente (Ra-228 y Ac-228) y poco después el "ionio" (Th-230) que es el isótopo precursor del radio descubierto por madame Curie (Ra-226). Más tarde, en 1914, fue nominado para el premio Nobel por el descubrimiento del mesotorio I, iniciando su reconocimiento internacional como radioquímico. Es de destacar que todas estas sustancias radiactivas tienen una vida en promedio corta (segundos a horas) y que las condiciones de trabajo y los equipos utilizados eran muy rudimentarios. La investigación nuclear en aquella época estaba teñida de heroísmo y audacia.

En 1912 Hahn se trasladó al recientemente creado Instituto de Química Kaiser Wilhelm de Berlín, donde continuó trabajando con Lise Meitner. Juntos descubren en 1918 una sustancia radiactiva de vida larga que llamaron "proto-actinio" a la usanza de los nombres que se empleaban en aquel entonces. Recién en 1949 la IUPAC (International Union for Pure and Applied Chemistry) impuso el nombre de protactinio al nuevo elemento, número 91, respetando aquel nombre y acepando a Meitner y a Hahn como sus descubridores.

Desde 1935 Hahn, junto a Lise Meitner y Fritz Strassmann, comenzó a repetir los experimentos de Fermi en Italia e Irene Curie en Francia, irradiado uranio con neutrones en la búsqueda del primer elemento transuránico. La historia se detalla más adelante. Por todo ello fue galardonado por el premio Nobel de Química en 1944.

Friedrich Wilhelm "Fritz" Strassmann (1902-1980) es el otro químico al que nos referiremos. Luego de completar su doctorado en 1929, comenzó a trabajar en el Instituto de Química Kaiser Wilhelm, en donde fue asistente de Hahn y Meitner (debe observarse su juventud, en relación con quienes eran sus tutores). Era especialista en química analítica, y su pericia fue crucial al momento de determinar la presencia de bario en el coctel de elementos químicos surgidos del bombardeo del uranio con neutrones. Esta capacidad no la tenía ninguno de los equipos de investigadores que investigaban este tema en el mundo, constituidos casi exclusivamente por físicos.

Es de destacar que Strassmann, a igual que Hahn,



Otto Hahn.

estuvo en contra del régimen de Hitler. Renunció, en 1933, a la Sociedad de Químicos Alemanes, cuando esta institución entró bajo en control nazi. También mantuvo oculto en su casa a un amigo judío durante meses.

Al finalizar la segunda guerra mundial Strassmann fue profesor de química en la Universidad de Mainz y luego director de departamento de Química del prestigioso Instituto Max Planck.

El descubrimiento de la fisión nuclear

La historia de este descubrimiento se remonta a muchos avances y hallazgos previos. Un comienzo razonable es el descubrimiento del neutrón por el físico inglés James Chadwick, en 1932. Es necesario realizar aquí algunas explicaciones. El neutrón, partícula sin carga eléctrica y con masa casi idéntica a la del protón, es también como éste un constituyente del núcleo atómico. Cuando antes hablábamos del uranio-235, el torio-230, el radio-226 y otros isótopos, nos referíamos con esos números a la suma de protones y neutrones en el núcleo, que constituyen el "número másico" de ese núcleo.

En otra parte del texto mencionamos al protactinio como el elemento "número 91", o bien al meitnerio como el "elemento 109"; estos otros números, llamados "números atómicos", se simbolizan con la letra Z y son simplemente el número de protones del núcleo, con lo que se identifica al elemento químico mismo. Así, decir elemento con número atómico 6 es hablar del carbono; si decimos $Z = 56$ estamos mencionando al elemento bario y decir elemento con $Z = 92$ equivale a nombrar el uranio.

Ahora bien, existen distintas clases de uranio, según el número de neutrones sumados a los constantes 92 protones del núcleo. Si hablamos ahora del U-235 estamos mencionando al isótopo del uranio (con sus inconfundibles 92 protones) que tiene $235-92=143$ neutrones. Si en cambio hablamos de su isótopo más abundante, el U-238, es el que tiene 146 neutrones junto a los 92 protones en el núcleo.

El descubrimiento del neutrón, además de aclarar y poner en orden los conocimientos sobre la estructura del núcleo, proveyó una herramienta fundamental para los estudios de física nuclear de los años 30. Hasta entonces se disponía de partículas cargadas como los protones, que se podían obtener con energías apreciables en máquinas llamadas aceleradores, o las partículas alfa, que eran emitidos por muchos radioisótopos naturales. Ambas partículas, de carga positiva, debían tener energías bastante altas para vencer la repulsión coulombiana de cargas cuando se intentaba bombardear núcleos con ellas, puesto que tanto el proyectil como el blanco tenían cargas positivas.

Cuando se dispuso de fuentes de neutrones y se bombardeaba con ellos un blanco, se inducían reacciones nucleares con suma facilidad. Los neutrones, al no poseer carga eléctrica, se podían acercar al núcleo sin

ser repelidos. Se abría entonces un campo vastísimo de posibilidades experimentales.

En 1934, Enrico Fermi comenzó en Roma una serie de experiencias bombardeando con neutrones una gran cantidad de elementos químicos, y advirtió que, en la mayoría de los casos, la incorporación o la captura de un neutrón por parte de un dado núcleo, conllevaba posteriormente a una transformación beta. La emisión beta negativa significa que un neutrón del núcleo se transforma en un protón, que queda en el núcleo, y un electrón, que se emite (¡parece un protón que antes no estaba!). Como consecuencia de esta transformación, aumenta en una unidad el número atómico y, por lo tanto cambia el elemento químico (tal como soñaban los alquimistas).

El método funcionaba de maravillas, pues en esos años Meitner y Hahn bombardearon torio natural (Th-232) con neutrones, obteniendo Th-233, que decayó por transformación beta en protactinio-233 (Pa-233).

Corrían los años 1935 y 1936 y Fermi se dispuso entonces a pasar una gran barrera: él (y también otros grupos de investigación en el mundo) pensó que si se irradiaba con neutrones uranio³, se podría inducir una transformación beta, pasando al elemento siguiente, el número 93, que sería nuevo. ¡El primer "transuránico"! Para adelantarnos un poco en la historia, ese elemento fue sintetizado e identificado por Edwin McMillan y otros colaboradores recién en 1940⁴. El elemento tan buscado, que sigue al uranio, fue nombrado neptunio, puesto que urano y neptuno son, en ese orden, dos de los tres últimos planetas del sistema solar. Sí: el siguiente elemento fue el plutonio, en honor a plutón, y fue sintetizado por Glenn Seaborg y sus colaboradores, también en 1940.

Ahora bien ¿Por qué no pudo sintetizar Fermi al neptunio en 1935 ni en 1936, ni se encontró hasta 1940? La razón por la que no se obtuvo simplemente neptunio (en realidad no lo vieron, pues estaba allí!) es porque los resultados eran sumamente confusos. En vez de encontrar una sola sustancia radiactiva que emitiera rayos beta, encontraban cinco o seis diferentes, sin posibilidad de identificarlas.

El método que empleaban los físicos para identificar nuevas sustancias radiactivas era medir las emisiones beta en función de su energía y del período de semidesintegración ($T_{1/2}$)⁵ de la sustancia radiactiva generada. En sus experimentos, Fermi identificó cinco diferentes sustancias con períodos de semidesintegración de varios segundos, minutos y horas, pero nada le indicó que se trataba del esperado nuevo elemento 93. Se empleaban algunas separaciones químicas, pero no analíticas.

El misterio no fue resuelto hasta que los químicos Otto Hahn y Fritz Strassmann, empleando criterios y herramientas de la química, pudieron identificar esas sustancias radiactivas con técnicas analíticas probadas. Si bien Fermi conocía algunas de esas técnicas, siempre buscaba elementos cercanos al uranio, a lo sumo hasta el radio, sin pensar que se podrían formar algunos mucho más livianos que éste.

3. Uranio, según su número atómico, es el último de los elementos naturales.

4. Aclaramos que el neptunio no se obtuvo bombardeando uranio con neutrones, sino con otras partículas, pero dejamos al lector la inquietud de buscar este dato.

5. Tiempo en el cual la radiactividad disminuye a la mitad. Es característico de cada sustancia radiactiva y puede servir para identificarla.

6. La radiación alfa emitida por el radio provoca la liberación de neutrones del berilio.

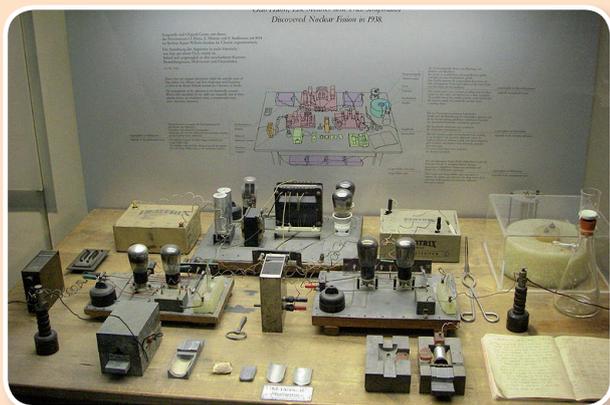


Figura. Mesa de trabajo.

El método utilizado por Hahn y Strassmann (que también buscaban transuránicos) consistía en irradiar con neutrones unas muestras de hidróxido de uranio, empleando neutrones moderados en un bloque de parafina, procedentes de una fuente constituida por una mezcla de radio y berilio⁶. Las irradiaciones se realizaban sobre una simple mesa de madera, conservada en la actualidad en el Deutsches Museum de Munich.

Luego se procedía a disolver el uranio irradiado y a tratarlo con sulfuro de hidrógeno en medio ácido, precipitando los sulfuros de muchos metales, menos los de los elementos situados entre el polonio y el uranio (números atómicos entre 88 y 92), que quedaban en solución. Si aparecía algún elemento transuránico, debería encontrarse disuelto junto a la familia del uranio.

En 1937, el grupo de Irene Curie en París había dado cuenta de la aparición de una sustancia radiactiva de $T_{1/2} = 3,5$ horas con propiedades químicas similares al torio (dos lugares detrás del uranio en número atómico). Repitiendo en 1938 las experiencias para analizar ese elemento de 3,5 horas, Hahn y Strassmann determinaron que se parecía más al actinio (tres lugares detrás del uranio). Luego hubo fuertes evidencias de otras sustancias más, esta vez similares al radio (cuatro lugares menos). Estos resultados podían ser explicados forzosamente como emisiones alfa sucesivas. Incluso Bohr, quien fue consultado en Copenhague en octubre, habló de transformaciones doble alfa, pero todo era poco probable.

Lise Meitner les propuso a sus colegas repetir los experimentos y embarcarse en una serie de cuidadosas separaciones químicas para aislar esas sustancias. Para entonces, estaba preparando su huida de Alemania.

Ya Irene Curie había visto la similitud de la sustancia de 3,5 horas con la química del lantano, y llegó a utilizar dicho elemento como portador para separarla, pero no siguió más allá. La atención del equipo alemán, por su parte, se concentró en el radio. Puesto que el radio es un elemento alcalinotérreo, podía precipitarse como sulfato agregando bario como portador. Efectivamente, el sulfato de bario precipitado contenía la misteriosa sustancia, pero resultó absolutamente imposible separarla del bario con recristalizaciones fraccionadas. La conclusión de Hahn fue que el

radioisótopo en cuestión debía ser necesariamente un isótopo del bario, de número atómico y masa mucho menor que el uranio! Era el 15 de diciembre de 1938.

Estos hallazgos fueron comunicados el 19 de diciembre de 1938 por carta a Lise Meitner. El 22 de diciembre Hahn envía su primer trabajo a la revista *Naturwissenschaften*.

La explicación del fenómeno fue encontrada inmediatamente en Suecia por Meitner y su sobrino, tal como adelantamos antes, quienes recomendaron a Hahn buscar kriptón radiactivo entre los gases emanados, hecho confirmado por éste el 24 de diciembre. El uranio se escindía en dos "fragmentos de fisión" de masas diferentes, por ejemplo, un átomo de bario ($Z=56$) y otro de kriptón ($Z=36$); o bien uno de lantano ($Z=57$) y otro de bromo ($Z=35$); también podía ser un átomo de cerio ($Z=58$) y uno de selenio ($Z=34$), observará el lector que la suma de cada par de números resulta en 92, el número atómico del uranio.

Hahn y Strassmann, en su segunda publicación unos días más tarde ya proponían la división del uranio, aún sin explicación, y decían: "Como químicos, debemos cambiar los elementos antes mencionados: radio, actinio y torio; por bario, lantano y cerio...". No había dudas acerca de la fisión nuclear.

Por su parte, Meitner y Frisch publicaron la interpretación detallada de la fisión en un par de artículos enviados a la revista *Nature* en enero de 1939.

El grupo francés de Irene Curie había visto en sus experimentos las evidencias de la fisión en 1937 y, según declararon luego, pensaron en la división del núcleo de uranio, pero no tuvieron la audacia de postularlo.

Es notable y curioso que otra investigadora alemana, Ida Noddack, había planteado en 1934 en una publicación, la posibilidad de que "cuando los núcleos pesados son bombardeados con neutrones, es concebible que se rompan en varios fragmentos grandes", pero su especulación no fue tenida en cuenta en aquel entonces.

Por último, es interesante hacer notar que junto a la mezcla de fragmentos de fisión que se obtenía al irradiar uranio con neutrones, estaba agazapado el buscado neptunio, pero no lo pudieron detectar con las técnicas de entonces pues la radiación beta que emite es de muy baja energía.

El Premio Nobel y las debilidades humanas

Si bien Meitner, Hahn, Strassmann y Frisch fueron mundialmente reconocidos como los descubridores de la fisión nuclear, sólo Otto Hahn fue galardonado con el Premio Nobel de Química en 1944, en plena guerra.

El mismo Hahn no reconoció la fundamental contribución de Lise Meitner en el descubrimiento del proceso de fisión, aun cuando, en palabras del mismo Strassmann, ella había sido la guía intelectual de los trabajos.

Las justificaciones de Hahn al respecto se refieren a que Meitner se había retirado de Alemania justo antes de los descubrimientos que realizaron ellos en Berlín;

6. La radiación alfa emitida por el radio provoca la liberación de neutrones del berilio.

sin embargo, habían mantenido un contacto permanente por correspondencia, e incluso personalmente, durante el transcurso de los experimentos. Otra explicación brindada por él se refiere a mantener la continuidad de los trabajos y la existencia del Instituto Kaiser Wilhelm mismo, dada la ascendencia judía de Meitner y las restricciones del régimen nazi.

También se dijo que el hecho de ser exiliada privó a Lise Meitner de ser considerada por la Academia Sueca de Ciencias para acompañar a Hahn en el premio Nobel. Se especula además con el hecho de que ella no realizó ningún reclamo al respecto, quizás para no ser recordada por haber contribuido al desarrollo de la bomba atómica, de la que estuvo en contra.

Recién en 1966, un par de años antes de su fallecimiento, Lise Meitner recibió un importante reconocimiento por su carrera cuando en Estados Unidos le concedieron el premio Enrico Fermi, junto a Hahn, Frisch y Strassmann. Tenía 88 años.

La comunidad científica mundial desaprobó aquel silencio de Otto Hahn, si bien reconoció la valía de sus trabajos. El sentido mismo de este capítulo es remarcar la diferencia de visión y de criterios de los químicos, en un campo dominado en aquel entonces por la Física, y reconocer la excelencia de los trabajos de Otto Hahn y Fritz Strassmann, pero no podemos obviar ese hecho vinculado con el premio Nobel. Otto Hahn fue merecedor de innumerables premios en los años de posguerra en decenas de países, por su descubrimiento.

En este contrapunto es significativo observar el hecho de que Lise Meitner fue honrada nada menos que por la IUPAC (International Union for Pure and Applied Chemistry) cuando en 1997 dio el nombre de meitnerio (meitnerium - Mt) al elemento químico 109⁷. En cambio, la propuesta de imponer a un nuevo elemento químico el nombre hahnio, en honor a Hahn, hasta al momento no fue aprobada. Prácticamente todos los grandes científicos de aquella época (Roentgen, Becquerel, Rutherford, Curie, Einstein, Bohr, Fermi, Lawrence, Kurchatov, Seaborg) tienen un elemento químico nombrado en su honor. Invitamos a los lectores a revisar una tabla periódica actualizada para verlos. ¿Llegará la hora de recordar a Hahn por sus trabajos, nominando finalmente al hahnio? ¿Está recibiendo Hahn un castigo tardío a su omisión del papel que jugó Lise Meitner en el descubrimiento de la fisión nuclear? Los elementos 113 al 118 aun esperan un nombre. Será interesante ver lo que ocurre.

Cerramos esta historia con una anécdota, referida por un discípulo de Otto Hahn el Profesor Walter Seelmann-Eggebert, a quien se considera, con entera justicia, el padre del desarrollo de la radioquímica en Argentina. Es posible que el lector se pregunte por qué Alemania, el país donde se descubre la fisión nuclear, no se hubiera embarcado seriamente en un proyecto de construcción de una bomba. Un grupo de científicos, entre los que se encontraba Otto Hahn, comentó a Hitler las posibilidades bélicas del descubrimiento y éste preguntó cuánto tiempo demandaría la construcción de una bomba. Cuando se le contestó que se necesitarían unos cinco años para completar el

desarrollo, Hitler observó:- Para ese entonces ya habré ganado la guerra.

Publicaciones mencionadas en el texto

L. Meitner, O. R. Frisch: *Disintegration of Uranium by Neutrons: A New Type of Nuclear Reaction*. Nature 143 (16 de febrero de 1939) S. 239–240,

O. R. Frisch: *Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment* Nature 143 (1939) S. 276–277. Enviados el 16 de enero de 1939

O. Hahn, F. Straßmann: *Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle (Sobre la detección y características de los metales alcalinotérreos formados por irradiación de uranio con neutrones)*. Die Naturwissenschaften 27 (1939) S. 11–15. Enviado el 22 de diciembre de 1938)

O. Hahn, F. Straßmann: *Nachweis der Entstehung aktiver Bariumisotope aus Uran und Thorium durch Neutronenbestrahlung; Nachweis weiterer aktiver Bruchstücke bei der Uranspaltung (Detección de la formación de isótopos de bario a partir de la irradiación de uranio y torio con neutrones. Determinación de más fragmentos activos de la división del uranio)* Die Naturwissenschaften 27 (1939) S. 89–95.

Publicaciones de consulta

Otto Frisch: *"Lise Meitner 1887 – 1968". The Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society" Volume 16, 405 – 420, (November, 1970)*

Vera Morgenbeck-Lambrinos und Martin Trömel: *"Lise Meitner, Otto Hahn und die Kernspaltung: eine Legende aus unseren Tagen". NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin, 8, (2000), 065-076.*

Complete Dictionary of Scientific Biography, 2008: Strassmann, Friedrich Wilhelm (Fritz) Ida Noddack: "On Element 93". Zeitschrift für Angewandte Chemie, Volume 47, p. 653 (September, 1934)

7. El Mt fue sintetizado en 1982 por los alemanes Armbruster y Münzenberg en el Instituto de Investigaciones en Iones Pesados de Darmstadt

11

NIELS BOHR EN MANHATTAN. UN DISCURSO SOBRE LOS ÁTOMOS ENTRE LA GUERRA Y LA PAZ (1943-1950)

Dr. Alejandro Drewes

Universidad Nacional de San Martín, Centro de Estudios Históricos "José Babini".

Email: drewes@arnet.com.ar

Introducción

En el presente capítulo proponemos al lector no especializado, desde una semblanza de la figura histórica del notable físico danés Niels Bohr (1885-1962), una mirada no convencional acerca del trabajo científico. Trazamos aquí la imagen de un hombre con un fuerte compromiso con los problemas de su época, en el turbulento contexto político global de los años previos y posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Esto nos llevará entre otros lugares, al escenario del Proyecto Manhattan en Estados Unidos, que acabaría con el lanzamiento de las bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki.

Entre las piezas del rompecabezas del mapa cultural de Europa y de la Dinamarca de los años '20, seguiremos algunas pistas históricas para desenvolver la "caja negra" del encuentro entre Niels Bohr y Werner Heisenberg -director, a la sazón, del proyecto nuclear alemán-, en setiembre de 1941.

Y descubriremos como estas pistas conducen a hechos clave, como la pintoresca invitación codificada a Bohr del físico británico James Chadwick (Premio Nobel 1935) para colaborar en el proyecto nuclear aliado. El hilo de nuestro relato abordará la visita del físico danés a Estados Unidos luego de un cinematográfico escape desde la Dinamarca ocupada, a través de Suecia, para asesorar finalmente al equipo de científicos que trabajaba a marchas forzadas para adelantarse al equipo de físicos alemanes en el diseño de la bomba atómica.

Presentamos en suma, en paralelo a la biografía de uno de los más notables científicos del siglo XX, un difícil conflicto humano: el que se le planteó a Bohr ante las graves consecuencias éticas y sociales de su trabajo de investigación profesional; y su compromiso indeclinable a favor del entendimiento pacífico entre las naciones.

Veremos así a un científico "atrapado" en la compleja red de espionaje de las potencias mundiales – Gran Bretaña, Estados Unidos y la URSS-, poniendo en riesgo su prestigio y su seguridad personal, en pro de la defensa de sus convicciones sobre la necesidad de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear.

Esta faceta de su personalidad se iba a expresar claramente a partir de su activa participación en la posguerra en las conferencias "Átomos para la Paz"; en su carta *Science and Civilization* (Ciencia y Civilización), publicada en *The New York Times* el 11 de agosto de 1945 -a 5 días del bombardeo sobre Hiroshima-, y en su famosa Carta Abierta a las Naciones Unidas de 1950.

Abrimos ahora esta ventana al lector, para contemplar el escenario de uno de los momentos cumbre de la Historia del siglo XX, y para conocer una de las mayores aventuras intelectuales de la historia del siglo XX, en este comienzo de viaje desde la tierra de Hamlet.

Niels Bohr en la memoria

Un hombre popular

Para comprender a Niels Bohr, personaje central de este relato y protagonista de la obra de teatro *Copenhague*, permítanos el lector invitarlo a un paseo por la Dinamarca de comienzos del siglo pasado y los "dorados años '20". De la sobria y precisa semblanza que presenta el historiador Finn Aaserud (2003) del físico danés, emerge su figura alta y delgada desde un hogar de clase acomodada y de un gran refinamiento cultural, como uno de los hijos de un profesor de Fisiología en la Universidad de Copenhague, y con un hermano, Harald, que luego iba a ser matemático...



Niels Bohr (1885-1962)

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Niels_Bohr

Ya en sus años de educación básica previos a la Universidad, su desempeño fue recogido en varias oportunidades en el *Kraks Blå Bog*, el *Who is Who* danés. Incluso en 1911, en ocasión de su defensa de tesis doctoral en Física obtenida en la Universidad de Copenhague, el texto de su disertación había sido recogido en la prensa.

Mientras se aproximaban los años de la Primera Guerra Mundial, y las mujeres danesas conseguían por primera vez el derecho a voto, impulsado por un creciente movimiento feminista, nuestro protagonista –sin dejar de participar activamente en proyectos culturales, como las actividades de la comisión para la reconstrucción del Museo Nacional de Dinamarca en 1925-, comenzaba a integrarse en forma efectiva a la comunidad científica europea.

De esta manera, viaja a Manchester, Inglaterra,

para realizar su trabajo posdoctoral bajo la dirección del destacado físico neozelandés Ernest Rutherford. Se vivían tiempos turbulentos en Europa desde 1914, y de hecho en 1916 - año en el cual Bohr regresa a su país de su estancia postdoctoral – Gran Bretaña era un país en guerra, si bien su propio territorio quedaría fuera del escenario del margen del conflicto.

El impacto del horror de esta guerra, que involucró a 32 países, movilizándolo unos 60 millones de soldados y causando 10 millones de muertos, fue posiblemente el origen del fuerte compromiso con la causa de la paz que iba a involucrar a Niels Bohr hasta el fin de su vida.

Primer acto: Vientos de guerra... y modelos atómicos

El 6 de marzo de 1913 -algo más de un año antes del atentado en Sarajevo que iba a desencadenar la Primera Guerra Mundial-, Niels Bohr estaba intensamente ocupado en descifrar los enigmas que presentaba el micromundo de los átomos, y en el desarrollo de un *modelo eficiente* para interpretar la misma. Realizaba por entonces sus investigaciones bajo la dirección del destacado físico neozelandés Ernest Rutherford, con quien se comunicaba por carta a menudo, debido a los continuos viajes de uno y otro. El primer candidato que "cayó bajo la lupa" de Rutherford, Bohr y sus colegas fue, por ser el elemento más sencillo de todos los existentes, el átomo de hidrógeno.

Thomson y un curioso budín inglés

Volvamos un poco atrás la película, para recordar que, hasta comienzos del siglo XX, los investigadores científicos habían llegado a concebir un modelo de la estructura del átomo, debido al físico inglés Joseph J. Thomson (Premio Nobel de Física 1906), que tenía la estructura siguiente:

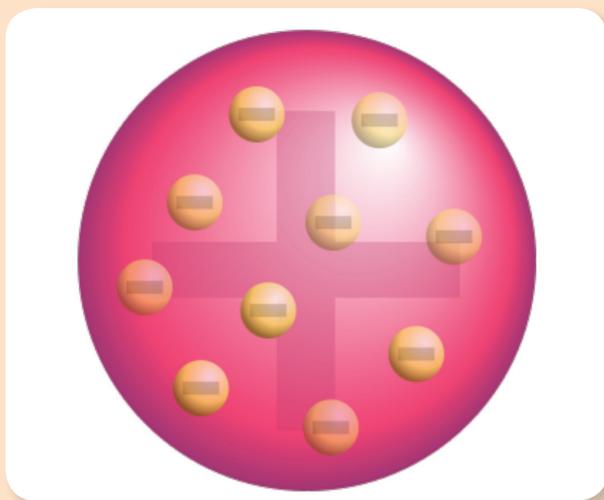


Figura 1: Modelo atómico del "budín" de Thomson
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Plum_pudding_atom.svg

En este modelo, las cargas eléctricas negativas o electrones estaban fijas e inmóviles, insertadas en una "masa de carga positiva equivalente, indicada en fondo rojo. El resultado se parecía bastante a un típico budín inglés o *pudding* con pasas de uva, de esos que nuestros lectores seguramente habrán probado más de una vez. El problema, como siempre en la ciencia, era que la hipótesis de esta supuesta estructura compacta de los átomos había que ponerla a prueba mediante algún experimento adecuado para comprobar si "funcionaba".

Explorando la masa del budín: acerca del maestro de Niels Bohr

Luego de una larga trayectoria de investigación en Física, Ernest Rutherford logra obtener en 1907 el cargo de profesor titular en la Universidad de Manchester, Inglaterra. Allí trabaja junto al físico alemán Hans Geiger en el diseño de los famosos contadores radioactivos, que luego Geiger iba a patentar. La idea básica de estos sistemas era la detección de partículas alfa emitidas por sustancias radiactivas, mediante la medición de los valores de intensidad de corriente eléctrica en aparatos bastante parecidos a los actuales tubos de rayos catódicos. Las sustancias emisoras usadas eran del tipo de radio y el polonio investigados para la época por Henri Becquerel, Pierre Curie y Marie Sklodowska Curie en Francia.



Ernest Rutherford (1871-1937)
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford

En el curso de una serie de experimentos, Rutherford y uno de sus colaboradores, Thomas Royds, logran demostrar que las *partículas alfa* eran núcleos del elemento químico helio, "despojados" de sus dos electrones. La ingeniosa idea que se les ocurre a Rutherford y su equipo para comprobar experimentalmente esta hipótesis consistió en dirigir la corriente de partículas alfa generadas por la fuente emisora radioactiva a través de una lámina metálica ultradelgada. Esto permitía separar las partículas alfa de otros productos radiactivos. Finalmente, por análisis de la "huella" que marca el impacto de dichas partículas sobre una placa fotográfica -una serie de líneas llamada *espectro atómico*-, logran reconocer allí los núcleos atómicos del elemento helio.

Por estos trabajos, Rutherford recibiría al año siguiente el premio Nobel de Química de 1908. Sin embargo, quedaban aun muchas pistas en el largo camino para descifrar los secretos del corazón de la materia.

El experimento de Rutherford de 1911: el secreto en una lámina de oro

Aprovechando los resultados de un experimento realizado durante una estancia en Montreal, Canadá, Rutherford había encontrado que durante el bombardeo de una delgada lámina de cristal de mica (CaCO_3) con partículas alfa, estas salían despedidas a ángulos variables; es decir, lo que técnicamente se llama una *deflexión de cargas* en un campo eléctrico. Por lo cual, le sugiere a sus colaboradores Hans Geiger y Ernest Marsden retomar esos experimentos, pero ahora con una lámina ultradelgada de oro. Hoy sabemos, y podemos leer en cualquier libro de texto o sitio web de divulgación científica, que ese fenómeno de deflexión se debe a que los núcleos de oro, por su masa y tamaño mucho mayor que los de calcio y los de carbono, son mucho más eficientes para lograr que los “proyectiles” de partículas alfa rebotaran y se desviarán. Pero para la época de estos experimentos, era aun un enigma la estructura del átomo y a los científicos les intrigaba enormemente descubrir *qué* era realmente lo que había dentro del budín de Thomson que provocaba estos extraños comportamientos. Desde luego, el protagonista de nuestra historia, Niels Bohr, a quien no hemos olvidado, era uno de estos “detectives de la materia”. El dispositivo utilizado en el experimento de Rutherford, Geiger y Marsden, de 1911, tenía el aspecto siguiente:

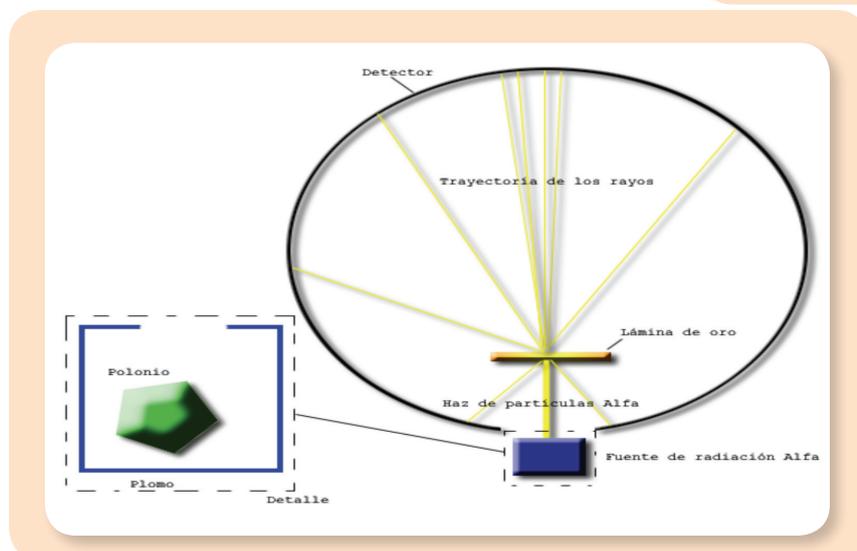


Figura 2: Experimento de Rutherford

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Experimento-de-Rutherford.png>

en donde la fuente de radiación estaba encerrada en una caja de plomo para evitar su dispersión al ambiente, y la pequeña abertura en la misma permite colimar el haz de partículas alfa y “enfocarlas” para que incidan y atraviesen la lámina de oro ultradelgada. Los rayos “filtrados” que han atravesado la lámina son desviados en diferentes ángulos en la superficie de un detector ubicado al otro extremo del tubo de rayos catódicos, y cada impacto es visualizado y contabilizado por la fosforescencia producida al excitarse el sulfuro de zinc del detector.

Revisando el modelo atómico de Thomson

Quedaba claro que la estructura compacta del *pudding* de Thomson no podía explicar la distribución de partículas que atravesaba la lámina de oro del experimento de Rutherford. El nuevo problema ahora era comprender *cuál era la nueva estructura* del rompecabezas atómico. El modelo que propuso Rutherford, y puso a consideración entre otros de su tesis Niels Bohr (Fig. 3), era un modelo planetario, en el cual los electrones, de carga negativa, representados por bolillas rojas, orbitaban en trayectorias esféricas en un espacio vacío, en torno al núcleo central (negro), conformado por protones de carga positiva, de forma comparable a la de los planetas en torno al Sol:

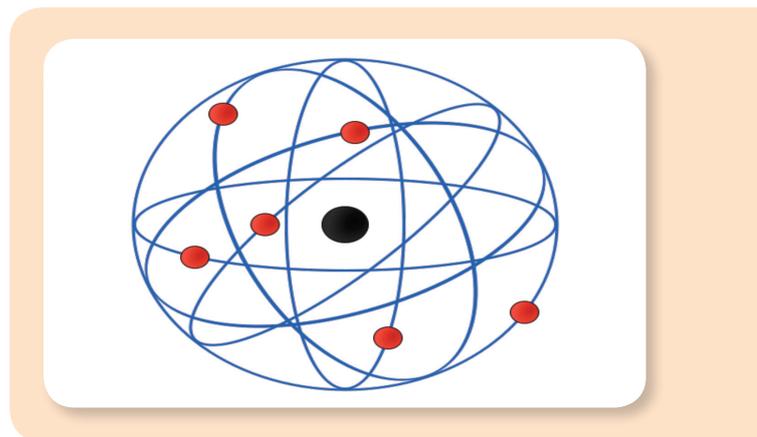


Figura 3: Modelo atómico de Rutherford

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_at%C3%B3mico_de_Rutherford

El nuevo modelo de Rutherford resolvía algunos problemas, pero, como suele ocurrir en la ciencia, abría muchos nuevos interrogantes. Por ejemplo, una pregunta que plantearon otros colegas de Rutherford una vez publicado el nuevo modelo, era que -de acuerdo a la teoría electrodinámica clásica de Maxwell- los electrones, en tanto que cargas en movimiento, deberían perder gradualmente energía por disipación durante su trayectoria, lo cual haría que sus órbitas se aproximaran cada vez más al núcleo...hasta chocar y colapsar finalmente contra el mismo. Por cierto -y por suerte para nosotros y nuestros lectores-, esto nunca se llegó a observar experimentalmente. De manera que seguían faltando piezas importantes en el rompecabezas...había que volver al laboratorio y seguir insistiendo.

Interludio: sobre estufas y cuerpos negros: una conjetura de Planck

Mientras estos experimentos y teorías se desarrollaban entre Manchester y Copenhague, una nueva concepción sobre la estructura de la materia, que luego sería llamada Mecánica Cuántica, se abría paso desde

Alemania con las investigaciones de Max Planck sobre la *radiación de cuerpo negro*. Para entender qué significa esto, hagamos una observación atenta de los cambios de color que ocurren al encender una estufa; una de esas viejas estufas eléctricas, con una parrilla que se enciende con un chispero o con fósforos.

Si recordamos o hacemos el experimento, veremos que lo que se observa al principio es que la estructura de metal toma primero un color azulado, que va pasando a distintos tonos de naranja y rojo, hasta mostrar un color rojo-naranja uniforme una vez que la temperatura de la parrilla calefactora se estabiliza. Bueno, digamos entonces que lo que los físicos llaman *cuerpo negro* es básicamente un orificio muy pequeño -una pequeña estufa microscópica- en un material; y lo que estudiaban Planck y sus colegas era justamente la *distribución de "colores" o longitudes de onda* de la luz (radiación) emitida por la salida de ese orificio a medida que su interior era calentado a distintas temperaturas.

El problema que encontró Planck era que la curva experimental de longitudes de onda vs. temperaturas no coincidía, en la región del ultravioleta, con la curva prevista por la Mecánica clásica (newtoniana) ...y la única forma de hacer coincidir ambas curvas era formular una extraña hipótesis: suponer que la radiación emitida por el orificio era emitida en forma de paquetes o *cuantos (quanta)* de energía. Más aun, el valor de energía E de dichos cuantos o *quanta* era, de acuerdo a la conjetura de Planck, proporcional a su frecuencia ν , por medio de una constante de proporcionalidad h , es decir:

$$E = h \times \nu$$

donde la frecuencia de cada "paquete" de radiación era igual a c/λ , siendo $c = 300.000$ km/segundo la velocidad de la luz en el vacío; y λ el valor de la longitud de onda, que indicaba el color de la radiación emitida. En principio, no parecía que estas investigaciones tuvieran demasiado que ver con el problema de Rutherford y Bohr acerca de la estructura de los átomos...y tampoco sospechaban los científicos de la época la relación entre los electrones y los *quanta* de Planck... pero eso es parte de otro capítulo de esta historia

Científicos en la encrucijada: dos cartas de 1913

Hacia mediados de 1913, Bohr trabajaba en Copenhague en la redacción de un libro que resumiría su teoría en torno a la estructura del átomo, y donde debía encajar el resultado del experimento de 1911 de su director, Rutherford. Los siguientes párrafos de una carta de Bohr a Rutherford y de la respuesta de éste, tomadas de Marco Stiefel (1996), muestran hasta qué punto llegaban las dudas de ambos ante el modelo atómico, y sus diferencias de puntos de vista sobre la interpretación de la conjetura de Planck.

De Niels Bohr a Ernst Rutherford Copenhague, marzo 6 de 1913:

"Querido profesor Rutherford:

Dentro de ésta incluyo el primer capítulo de mi

trabajo sobre la constitución del átomo. Los siguientes le llegarán en las próximas semanas. Como puede observar, el primer capítulo tiene que ver principalmente con el problema de las líneas de los espectros de emisión.

Espero que se dé cuenta de que he tenido mucho cuidado con el delicado asunto de simultaneizar el empleo de la Mecánica Clásica con los nuevos supuestos introducidos por la teoría de la radiación de Planck. Estoy ansioso por saber qué piensa de ello. "

(cita original en: Wilson, D.: Rutherford Simple Genius. London. Hodder & Stoughton, 1983)

De Ernest Rutherford a Niels Bohr Manchester, marzo 11 de 1913:

"He recibido su artículo y lo he leído con gran interés, aunque quiero volver sobre él con más tiempo. Sus ideas sobre cómo se origina el espectro del hidrógeno son muy ingeniosas y parecen funcionar bien, pero la mezcla de las ideas de Planck con la Mecánica Clásica hace muy difícil captar la idea de fondo.

Lo que me parece una gran dificultad en su hipótesis, en lo que no me cabe duda que usted ha caído, es en cómo un electrón decide a que frecuencia va a vibrar cuando pasa de un estado estacionario a otro."

(cita original en: Wilson, D. , op. cit, 1983)

Por complejas razones que sería muy largo desenmarañar -y que de hecho son hace décadas motivo de investigación para los historiadores de la ciencia-, se deduce de este intercambio epistolar que, para esta época, Rutherford no estaba muy dispuesto a dar el brazo a torcer y cambiar su modelo atómico de órbitas estacionarias. Esto pudo deberse quizás a que compartiera en parte el poco crédito que le daban a Bohr como matemático sus colegas daneses -según sugieren los testimonios que recoge el citado estudio biográfico de Aaserud- o bien a un cierto prejuicio de Rutherford contra los resultados de las investigaciones de los físicos alemanes. Esto último puede apoyarse en el fuerte compromiso nacionalista de Rutherford en Inglaterra, con investigaciones teóricas de aplicaciones militares para la Royal Army, como el diseño óptimo de sistemas de sonar contra submarinos.

Por el contrario, Bohr mantendría a lo largo de su larga vida académica fluidas relaciones con la comunidad de físicos alemanes, que iban a tener un punto crucial en su encuentro de setiembre de 1941 con Werner Heisenberg, al cual nos referiremos más adelante. Y por otro lado, como científico, también conservaría una fuerte convicción en la validación de su nuevo modelo atómico, con la incorporación de las nuevas ideas cuánticas a la elucidación de la estructura de los átomos.

El modelo atómico de Bohr se presenta en sociedad

Incorporando la restricción cuántica dada por la ecuación de Planck a las variables mecánicas del movimiento de los electrones en torno al núcleo atómico, a la que se refería en su carta a Rutherford, Bohr consigue finalmente elaborar a mediados de 1913 y publicar su propio modelo para la estructura del átomo, que aplica con éxito para explicar el espectro de emisión del hidrógeno -es decir, la distribución típica de líneas al incidir radiación de dicho elemento gaseoso, excitado por una descarga eléctrica- sobre una placa fotosensible-

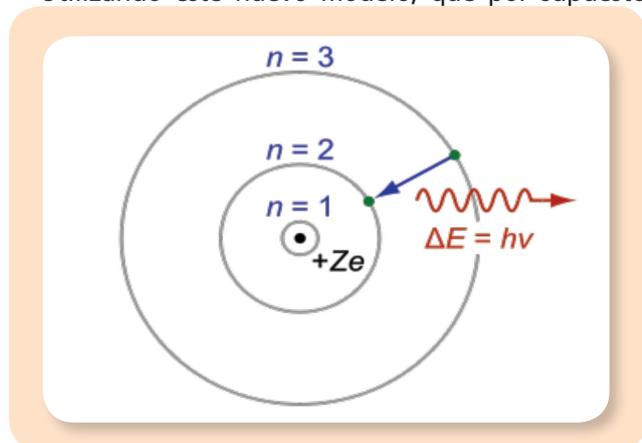
Bohr y sus colegas, a esa altura, no pretendían explicar la estructura del átomo, sino establecer un modelo físico matemático que ajustara al comportamiento experimental observado, en particular, de las partículas en el experimento de Rutherford.

Si bien los cálculos ahora cerraban y se resolvía el problema de las órbitas, que resultaban estables o *estacionarias*, y sin pérdida de energía disipativa, la hipótesis que había usado Bohr sobre la naturaleza cuántica de los electrones seguía pareciendo demasiado novedosa y artificial, y seguía siendo resistida por Rutherford, entre otros. De hecho, en el modelo de Bohr, los electrones giraban en órbitas circulares de energía mínima en torno al núcleo, y, frente una excitación eléctrica, solamente se podían mover (Fig. 4) entre dos órbitas $n = 1$ y $n = 2$ cambiando su energía ΔE en valores múltiplos de los *quanta* de Planck, o sea:

Figura 4: Modelo atómico de Bohr

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bohr-atom-PAR.svg>

Utilizando este nuevo modelo, que por supuesto



era una corrección del anterior de Rutherford, Bohr fue capaz incluso de calcular las distancias entre el núcleo central, supuestamente integrado por cargas positivas o *protones* y cada una de las órbitas *cuánticamente permitidas* de los electrones de carga negativa equivalente.

Sin embargo, incluso este modelo atómico dejaba muchas cuestiones sin explicar, y no fue exitoso al intentar predecir la estructura de líneas de elementos más pesados que el hidrógeno.

Entre los secretos de la estructura atómica que hoy conocemos pero que eran desconocidos hasta entonces, y que Bohr no pudo computar en su modelo, estaban la naturaleza "dual" de la materia a escala subatómica -es decir, el curioso y nada intuitivo comportamiento de la materia como una suerte de extra-

ña "mezcla" de ondas y partículas-; el descubrimiento de un nuevo tipo de partícula sin carga dentro del núcleo: el neutrón, descubierto por Chadwick en 1932; y, sobre todo, un resultado de la Teoría de la Relatividad, una teoría rival de la Mecánica Cuántica, a la cual hacia 1913 no se le prestaba demasiada atención, excepto entre la comunidad de físicos alemanes.

Como el lector habrá adivinado, nos referimos a la célebre ecuación de equivalencia entre masa (m) y energía (E):

$$E = m c^2$$

deducida por Albert Einstein. En dicha ecuación fundamental, la constante de proporcionalidad entre masa y energía es una cifra que equivale al cuadrado de la velocidad de la luz...un factor que, expresado en metros por segundo y elevado al cuadrado, lleva...16 ceros, o técnicamente, una potencia de 10 elevado a la 16.

Por supuesto, el tema era que, a la fecha en que se elaboraban dichos modelos, los científicos estaban muy lejos de imaginar las conexiones entre ambas teorías, que nos son tan conocidas hoy.

Y, sobre todo, nadie podía siquiera imaginar el significado y la decisiva importancia que asumía la ecuación de equivalencia de Einstein en términos de la "destrucción" de materia, en los futuros procesos de fisión nuclear. El camino estaba abierto y aun faltaban más de tres décadas y otra guerra mundial para llegar a Hiroshima y Nagasaki...

Luego de la Primera Guerra Mundial: ciencia y política. Otra carta de Bohr

Con motivo de la finalización de la Primera Guerra Mundial y tras el armisticio de 1918, Niels Bohr le escribe una extensa carta a Ernest Rutherford, a la sazón su director de tesis postdoctoral, de la cual, algunas citas en traducción propia, del citado trabajo de Aaserud (op cit., pp. 302), nos hablan de su fuerte preocupación como científico por el establecimiento de "nuevos principios (.....) para la política internacional" y su esperanza de que, "a partir de una reflexión profunda de la sociedad europea sobre las consecuencias de aquel episodio horroroso", se abriera una nueva era en la Historia"; agregando asimismo su valoración personal del lugar representativo de Rutherford para la nueva generación de físicos a lo largo del conflicto. Aunque luego los hechos iban a desmentir crudamente estas expectativas -o tal vez por esa misma razón-, Niels Bohr iba a desarrollar a partir de la década siguiente, un notable trabajo a favor de la causa de la paz entre las naciones, que iba a continuar hasta sus últimos años.

1921: El Instituto de Física Teórica y el "espíritu de Copenhague".

En el año 1921, a los 36 años, Bohr era ya un científico famoso y reconocido hacia tiempo fuera de las fronteras de su país. Ese año se inaugura, bajo su dirección, el Instituto de Física Teórica en la Universidad de Copenhague. Y un año después, iba a recibir el Pre-

mio Nobel de Física.

Ya desde el discurso de apertura del Instituto, Bohr deja claro sus dos objetivos: el primero, convocar a dicho ámbito a investigadores de toda la comunidad científica internacional. El segundo, desarrollar investigaciones experimentales para poner a prueba las nuevas formulaciones de la Física teórica.

El primer objetivo -tal como relatan por ejemplo las memorias de George Gamow (Gamow, 1971)- asociado al “espíritu de Copenhague” se cumplió acabadamente, y reunió a una pléyade de los más notables científicos de las décadas del '30 al '50. Por allí pasarían Paul Dirac, Wolfgang Pauli, Werner Schrödinger y Werner Heisenberg, entre muchos otros.

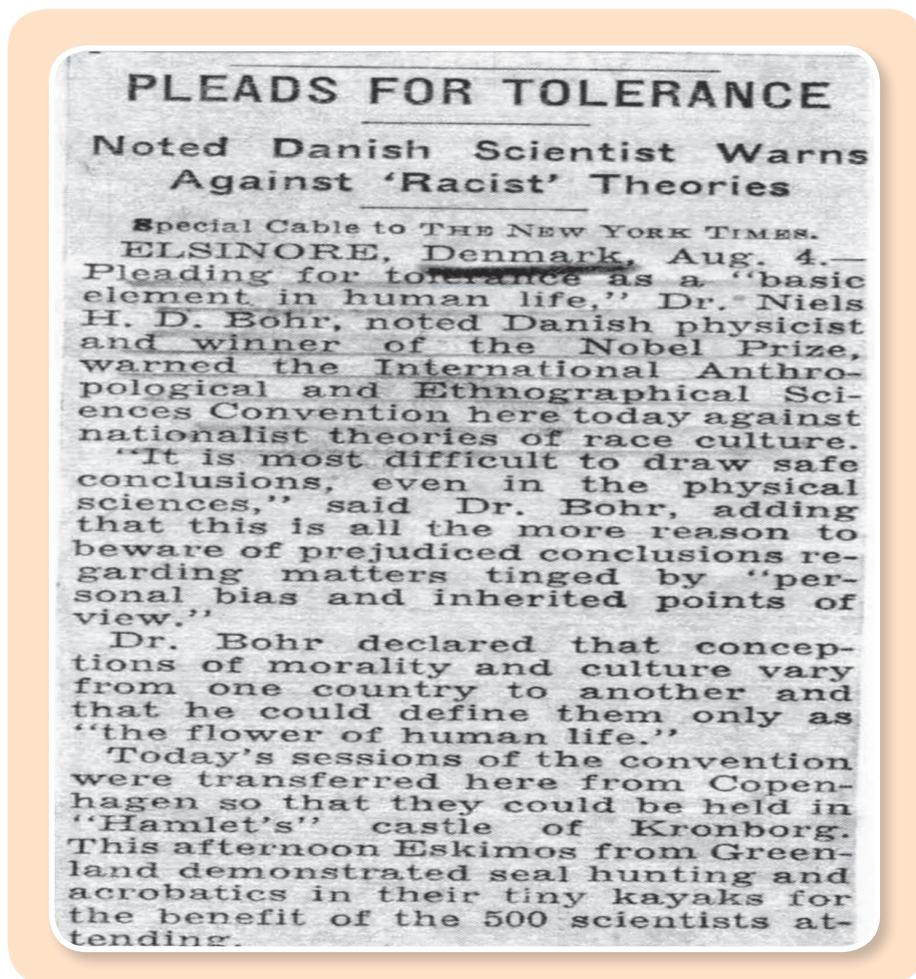
En cuanto al segundo, el interés inicial de Bohr como director pasó hasta comienzos de los años '30 por las investigaciones de espectros atómicos, intentando verificar si el átomo de hidrógeno y otras sustancias se comportaban de acuerdo a las predicciones del nuevo modelo cuántico.

Sin embargo, la llegada de Hitler al poder en Alemania en 1933 y su política racista y belicista frente a otras naciones europeas, que provocó en Bohr un muy duro rechazo, fue una razón de peso para que esta segunda línea de investigación teórica fuera reemplazada por otra línea prioritaria de investigación aplicada, vinculada al desarrollo de procesos de *fisión nuclear* y al diseño de aceleradores de partículas, en paralelo a los desarrollos que se llevaban a cabo en Estados Unidos y Gran Bretaña. En forma coherente con este pensamiento, el Instituto de Física Teórica de Copenhague recibiría como refugiados a muchos jóvenes físicos europeos de origen judío, perseguidos por el nazismo.

El 4 de agosto de 1938, a un mes apenas de la invasión del ejército alemán a Polonia que iba a motivar la declaración de guerra por parte de Inglaterra y Francia y el inicio de la Segunda Guerra Mundial, Niels Bohr realiza una declaración contra el racismo en una lectura del Congreso Internacional de Ciencias Antropológicas y Etnológicas.

Quizás como un símbolo de lo que iba a suceder, la conferencia tuvo lugar en Kronborg, el célebre castillo de Hamlet. Durante la misma, Bohr remarcó que las culturas son complementarias unas de otras; no habiendo por tanto culturas “superiores”, y que es la cultura y no la raza la que define el valor de lo humano.

La conferencia fue recogida al día siguiente en Estados Unidos por el *New York Times*, en una nota editorial intitulada “Pleads for tolerance” (Llamado a la tolerancia):



nota tomada del citado trabajo de Aaaserud (op. cit., 2003, pp. 303). Por cierto, es bueno recordar que la prédica pacifista de Bohr en los años previos a la Segunda Guerra fue compartida por Bohr con varios de los más notables científicos, físicos, químicos y matemáticos de la época. Entre ellos, destacamos los nombres de Albert Einstein, Linus Pauling y Bertrand Russell, protagonistas durante la posguerra de las actividades de las conferencias de desarme nuclear “Átomos Para la Paz”.

II. Segundo acto: En la Dinamarca ocupada. La entrevista de setiembre de 1941 entre Bohr y Heisenberg.

Dado que Inglaterra era desde el inicio de las hostilidades el principal enemigo para el régimen de Hitler, la situación geopolítica de Dinamarca resultaba clave para que el ejército y la aviación alemanas pudieran atacar territorio británico; por lo cual, Hitler decide invadir Dinamarca el 9 de abril de 1940.

Ante la notable disparidad de fuerzas, los reyes junto al gobierno danés, a fin de evitar un baño de sangre, declaran de inmediato la rendición del país.

A cambio de esta decisión, las autoridades de ocupación del Reich permiten la emigración de los ciudadanos de origen judío, y se respeta formalmente la autonomía del pequeño país. Sin embargo, a partir de julio de 1942, con el retroceso del ejército alemán en

el frente ruso y ante la creciente presión aliada, comienzan frecuentes actos de sabotaje contra objetivos militares alemanes. Esto endurece las condiciones de ocupación, y se intensifican las redadas y la persecución de la Gestapo, la policía política de Hitler, contra la resistencia.

El propio Niels Bohr estaba ya por entonces “bajo la mira” por haber asilado a ciudadanos de origen judío en su propia casa, y su enorme prestigio como figura pública lo había preservado de peores consecuencias.

El destacado físico nuclear alemán Werner Heisenberg (Premio Nobel de Física de 1932), había sido recibido por Bohr como profesor visitante en el Instituto de Física Teórica de Copenhague en varias ocasiones, antes del comienzo de la Segunda Guerra. Pero las circunstancias de la nueva visita de Heisenberg, por lo dicho antes, eran totalmente diferentes. Ya no se trataba, como en la primera visita de 1924 del joven Heisenberg, de una amable reunión académica en presencia de colaboradores, donde se alternaban las discusiones sobre Física teórica con temas de interés general, regadas por tazas de café, algunas *delikatessen* de pastelería tradicional o las típicas botellas de cerveza Carlsberg.

Ahora en cambio, Heisenberg visitaba el Instituto como director del proyecto nuclear alemán; su anfitrión era ya un reconocido pacifista, y procuraba mantener todo el secreto posible ante las autoridades de ocupación sobre su colaboración con la comunidad de físicos británicos que iban tras el desarrollo de la bomba atómica.

La caja negra del encuentro entre Bohr y Heisenberg



Werner Heisenberg (1901-1976)

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg

Poco es en verdad lo que sabemos hoy sobre lo que realmente se dijo en la entrevista de setiembre de 1941 entre Bohr y Heisenberg, en la que estuvo presente además Margrethe Norlund, la esposa de Bohr. Incluso a partir de la liberación de algunas cartas del archivo familiar, tal vez se puede decir que ahora mismo no sabemos mucho más que lo que dicen los personajes de la recordada obra de teatro *Copenhague*, de Michael Frayn, estrenada en Buenos Aires en el año 2002. De acuerdo a los datos históricos, el proyecto nuclear alemán habría comenzado a partir de la reunión en el *Uranverein* (Sociedad del Uranio) de un grupo de notables físicos alemanes -Heisenberg, von Weizsäcker, Hahn y Geiger entre otros- en setiembre de 1939. Su principal objetivo era inicialmente el desarrollo de procesos de separación de isótopos para alimentar un reactor nuclear a base de uranio-235. A

diferencia de los científicos del Proyecto Manhattan en Estados Unidos y de los físicos ingleses con los cuales Bohr estaba en contacto, no parecían sin embargo orientar sus investigaciones a la construcción de una bomba atómica.

Entre las especulaciones y conjeturas que podemos hacernos de un encuentro del que no ha quedado registro -y sobre el cual sus protagonistas dieron hasta su muerte muy escasa información-, cabe suponer que Heisenberg quisiera obtener información de parte de Bohr sobre el estado de avance del proyecto nuclear aliado. O tal vez hubiera querido consultar la opinión de Bohr acerca de la ruta alternativa del plutonio como combustible. De acuerdo al muy interesante libro de Miguel de Asúa (2004), tal parece que los historiadores tampoco se ponen de acuerdo en cuanto a las intenciones de Heisenberg. Así, en opinión de P. L. Rose, Heisenberg habría sido un nazi convencido y su equipo no habría logrado la bomba por un error de cálculo en la masa crítica del uranio; mientras que Powers en cambio, sostiene que Heisenberg no habría llevado “a fondo” el proyecto nuclear alemán para no entregar la bomba atómica en manos de Hitler.

Parte de la hipótesis de Rose es coherente con declaraciones de Heisenberg posteriores, hechas luego de su captura y detención en Farm Hall por las fuerzas británicas, en las que le comentaba a otro de sus colegas prisioneros, Otto Hahn, que “Honestamente, nunca lo hice [el cálculo de la masa crítica], pues nunca creí que hubiéramos podido conseguir suficiente U-235 puro... No se puede lograr una explosión con neutrones lentos, ni siquiera con la máquina de agua pesada [el reactor alemán].”.

Sin embargo, “mirando la película” desde el presente, debemos tener en cuenta el absoluto nivel de secreto en que se mantuvo el desarrollo de las investigaciones del Proyecto Manhattan en Estados Unidos, y los resultados iniciales obtenidos por Enrico Fermi y las plantas de separación de uranio en Oak Ridge. Todo esto habría sido, según parece bastante seguro, desconocido para los físicos alemanes. Por lo cual, no es improbable que Heisenberg y sus colegas, hasta el lanzamiento de la primera bomba atómica sobre Hiroshima, hubieran *ignorado el estado de avance real* del proyecto nuclear aliado. De ser así, tal vez podamos imaginar que Heisenberg se haya marchado con cierta confianza aquel verano del '41 de Copenhague, sin sospechar hasta qué punto el *Uranverein* estaba “perdiendo la carrera”.

En el año 1957, y cuando los ecos de aquella guerra se habían acallado, Heisenberg concede una entrevista al periodista Robert Jungk, en la que afirmaba que “los físicos alemanes no enfrentaron dilema moral alguno, pues se dieron cuenta que la bomba no era factible desde el punto de vista de la magnitud de la empresa de separación del U-235.”

El libro de Jungk sobre el bombardeo atómico a Hiroshima “Más brillante que diez mil soles” y la entrevista a Heisenberg circularon ampliamente en Dinamarca, y el archivo familiar de Bohr muestra una cantidad de borradores de cartas suyas en respuesta a Heisenberg...que sin embargo nunca fueron enviadas, y que no terminan de aclarar *qué* se habló entre ambos físicos en aquel encuentro del año '41.

Cabe suponer por ejemplo con cierto grado de certidumbre, según una serie de referencias cruzadas del citado ensayo de de Asúa, que Heisenberg haya intentado obtener de Bohr información para chequear si sus cálculos de masa crítica de uranio para la bomba estaban o no muy errados. Y en un juego de cajas chinas, esto lleva a preguntarse a público y a especialistas si esto, de ser así, fue resultado de incompetencia o por el contrario, un intento de demorar el proyecto para no dejarlo en manos de Hitler.

Una nueva mirada que arroja alguna luz adicional sobre la caja negra del encuentro es la publicada muchos años más tarde en un libro redactado por el hijo de Bohr (Bohr, 1967).

Parece que solamente, para resolver este enigma, nos queda esperar que tal vez la apertura oficial de los archivos autorizada por los herederos de Bohr en 2012, a los 50 años de su muerte, pueda arrojar nueva luz sobre los hechos.

Pero dejemos ahora a Heisenberg aquel año de regreso a Berlín, y volvamos a reencontrar al protagonista de nuestra historia, Niels Bohr, en los años siguientes.

Como en una película de espionaje

A dos años de aquel encuentro en Copenhague, ambos bandos en pugna –Alemania por un lado, y las potencias aliadas incluyendo a la URSS por otro-, seguían compitiendo por el liderazgo en descifrar el secreto del proceso de fisión nuclear del uranio, para utilizarlo como arma disuasiva y forzar las condiciones de un armisticio por una parte; y para aprovechar el liderazgo del desarrollo nuclear en la posguerra. Bohr, hasta ese momento, creía firmemente que el desarrollo de una bomba atómica a base de procesos de fisión nuclear *antes del fin de la guerra* era imposible. De hecho, por esta razón, en enero de 1943, había rechazado una invitación secreta de su colega británico James Chadwick para colaborar con el proyecto de la bomba.

La carta original de Chadwick, al mejor estilo de los films de espionaje, con un pedido oficial de colaboración del Gobierno británico, estaba escondida en dos llaves, en sendos microfilms, con instrucciones precisas para leer el mensaje. Una copia facsimilar de la carta puede verse en el citado artículo de Aaserud (op. cit., pp.304).

Eran tiempos turbulentos, y los hechos se precipitaban muy rápidamente. A un año del plan Heydrich, y de la proyectada “solución final” para los ciudadanos judíos por parte del Tercer Reich, habían comenzado ya en Dinamarca las redadas y deportaciones a los campos de exterminio, y las persecuciones de la Gestapo, la temible policía política del régimen nazi. Bohr, -cuyo origen era judío por línea materna-, logra huir a Suecia en la bodega de un barco pesquero, gracias al aviso de Georg Duckwitz, un funcionario de la Embajada alemana.

Ya en Estocolmo, Bohr da una conferencia en la que alude en términos inusualmente duros para su estilo, a la ocupación nazi de Dinamarca y expresa el deseo de que “la presente crisis que atraviesa la civilización deberá reforzar la comprensión de la unidad de la Hu-

manidad, sean cuales fueren los esfuerzos hechos y por hacer para conseguirlo” (Aaserud, op. cit, pp. 304, en traducción propia).

En setiembre de 1943, su condición de exiliado y la imposibilidad de retornar a su país, llevan a nuestro hombre a aceptar una segunda invitación del gobierno británico para colaborar en el proyecto de fabricación de la bomba de uranio, de cuya factibilidad en tiempo real ahora finalmente se convence.

Sin embargo, deja claro a sus colegas ya desde entonces que su compromiso como investigador tiene que ver esencialmente con las implicaciones de la bomba en la posguerra y con lo que “puede y debe ser hecho” con la misma.

En sus contactos y cartas de aquellos años a funcionarios, diplomáticos y colegas científicos ingleses y norteamericanos, Bohr va a insistir una y otra vez en su postura sobre el uso de la energía nuclear como una herramienta que debía ser compartida entre las naciones y que debía aportar para facilitar la cooperación internacional.

Los entretelones del encuentro de Bohr y Roosevelt: todos los hombres del presidente

Durante su estancia en Inglaterra -en la cual lo acompañaría su hijo Aage, que sería con el tiempo también un físico destacado-, Bohr entró en contacto no solamente con los científicos británicos involucrados en el proyecto de desarrollo nuclear, sino con diplomáticos ingleses y con funcionarios políticos a cargo de la dirección de las actividades del equipo científico nuclear británico.

Para la época, existían fuertes tensiones y desacuerdos sobre el futuro de la bomba atómica entre el gobierno inglés, al mando de Winston Churchill y el gobierno norteamericano, bajo la presidencia de Roosevelt. Y nuestro protagonista iba de hecho a cumplir la delicada y riesgosa labor de “Caballo de Troya” en Estados Unidos, en el marco de su participación desde 1944 en el Proyecto Manhattan. Luego de largas reuniones y un intenso intercambio epistolar con John Anderson -jefe político del equipo científico británico-; con el embajador Lord Halifax y con el mismo Winston Churchill, Bohr viaja a los Estados Unidos, con instrucciones precisas de no compartir ninguna clase de información política y confidencial con sus colegas norteamericanos.

De acuerdo al punto de vista de Bohr, que puede seguirse de la lectura de sus cartas de la época, el único objetivo específico que deberían perseguir los Aliados – Estados Unidos y Gran Bretaña-, en su carrera detrás del desarrollo de la bomba atómica, sería disponer de una carta decisiva en Naciones Unidas para negociar condiciones que aseguraran una paz permanente en la posguerra, una vez derrotada Alemania. Entre dos fuegos y obligado a moverse con mucha cautela en su contacto con el equipo de científicos de Los Álamos, en Nuevo México, Bohr fue sin embargo capaz de llevar adelante la ardua tarea de limitar sus actividades a la colaboración técnica, manteniendo sus gestiones diplomáticas “extraoficiales” totalmente fuera de conocimiento de sus colegas norteamericanos.

Todo esto apuntaba al ambicioso objetivo propuesto a Bohr por Lord Halifax y Winston Churchill, cual era conseguir una reunión al más alto nivel político del gobierno norteamericano, para negociar por su intermedio, un acuerdo sobre las condiciones de aplicación de la energía nuclear en la posguerra. Y por supuesto, el más alto nivel político que se proponían alcanzar era...el presidente Roosevelt.

Todos estos hechos, desde luego, nos hablan de la enorme consideración e influencia que revestían los puntos de vista de Bohr para los actores decisivos del escenario político de la época.

A fin de lograr este delicado y riesgoso objetivo -eludiendo además a los sabuesos de la CIA dentro de los Estados Unidos-, Bohr pudo contar con una colaboración inestimable: la de Felix Frankfurter, conocido suyo y a la vez amigo muy cercano y consejero del presidente Roosevelt, quien de hecho se entusiasmó considerablemente con el proyecto.

A fines de marzo de 1944, Frankfurter le informa a Bohr sobre la respuesta positiva del presidente ante sus ideas, y agrega que incluso Roosevelt deseaba conocer su punto de vista sobre las implicaciones posbélicas del diseño de la bomba.

Con esta información preciosa, Bohr retorna a Inglaterra, con reserva -eso sí- de pasaje de vuelta.

En vísperas del Día D

Mientras tenían lugar estas gestiones políticas secretas entre Gran Bretaña y Estados Unidos, por intermedio de Niels Bohr, la situación en el frente de guerra cambiaba rápidamente a favor de los Aliados, y los hechos se sucedían vertiginosamente: las fuerzas anglonorteamericanas conquistan África del Norte e ingresan a Italia a través de Sicilia. El 3 de setiembre de 1943, con Mussolini bajo custodia militar, Italia firma la rendición, y Alemania queda sola en el escenario europeo para contener el ataque aliado en todos los frentes. Desde el Este, las tropas soviéticas, que se habían sumado a las fuerzas aliadas, avanzaban.

Para intentar definir la contienda en el plazo más breve posible, el mando militar conjunto integrado por los comandantes en jefe de las fuerzas británicas, estadounidenses y francesas, el 6 de junio de 1944, iniciaba la operación Overlord: 250.000 soldados aliados y 50.000 tanques y blindados desembarcaron frente a las posiciones alemanas en Dunkerque, en la Francia ocupada. Los combates iban a ser sangrientos y la resistencia alemana se iba a prolongar hasta el 25 de agosto.

Apenas 3 semanas antes de la batalla de Dunkerque, el 16 de mayo, Bohr consigue -tras intensas y agotadoras gestiones-, una nueva entrevista con Churchill. Pero el resultado es decepcionante, y Bohr opta por proponer al primer Ministro británico exponerle en un reporte por escrito sus puntos de vista acerca del alcance del proyecto de la bomba atómica. Churchill, con su astucia típica, responde que "le sería muy grato recibir su informe, no referido solamente a temas políticos."

Bohr regresa el 9 de junio a Los Álamos, donde su contacto, Frankfurter, le encarga un memorando para el presidente Roosevelt, exponiendo sus puntos de vista.

Este documento iba a ser luego la base de su famosa Carta Abierta a las Naciones del año 1950, posiblemente una de sus mayores contribuciones a las políticas de desarme de la Guerra Fría-, al que más adelante nos referiremos.

Una vieja carta de Kapitza: comienza el tiempo de las traiciones

Antes de referirnos a la reunión clave de Bohr con Roosevelt -que iba a acarrearle luego más de un problema-, permítanos el lector volver un momento atrás en nuestro relato, para comentar un hecho muy relevante (citado en Aaserud, op. cit, pp. 307). A su regreso a Londres desde Estados Unidos, el 17 de abril de 1943, Niels Bohr se encuentra con una carta en la embajada soviética. La misma databa de 1942 y estaba firmada por un ex colega suyo de Manchester, Piotr Kapitza, e incluía una invitación al físico danés para trabajar en un proyecto de investigación en Física en Moscú. Es posible que su envío haya sido alentado por distintas expresiones públicas -posiblemente ingenuas en cuanto a sus consecuencias políticas- de Bohr en cuanto a que el proyecto de la bomba atómica "fuera compartido" también con la URSS.

Ante la sospecha de que dicha carta implicara su colaboración en un proyecto nuclear en curso en la URSS, Bohr responde con mucha cautela, aunque su respuesta es interceptada por los servicios de inteligencia británicos antes de ser emitida. Bohr, sin saberlo, se había convertido ya en un objetivo de cuidado para los servicios de inteligencia británicos.

Finalmente, Bohr y el presidente Roosevelt se reúnen, fuera de protocolo oficial, el 26 de agosto de 1944, un día después de la costosa victoria aliada en Dunkerque.

Roosevelt se presenta ante Bohr como un mediador entre Churchill y Stalin, y expresa su viva simpatía ante las ideas de Bohr, tomando el compromiso de discutir las mismas con Churchill en Quebec el 9 de julio. Sin embargo, las esperanzas depositadas por Bohr en el presidente norteamericano iban a resultar finalmente un fiasco.

Churchill y Roosevelt vuelven a reunirse en setiembre 19 en Hyde Park, en la residencia de verano del segundo, y redactan un memorando, uno de cuyos párrafos reza:

"Deben realizarse investigaciones respecto a las actividades del profesor Bohr y deben tomarse acciones para asegurar que él no sea responsable de la filtración de información, particularmente a los rusos." Incluso en otra carta a su asesor en temas científicos, Lord Cherwell, Churchill exige que..."Bohr debe ser arrestado [confined] o bien a la brevedad posible, se le debe hacer ver que (su comportamiento) está muy cerca de un crimen mortal." (Aaserud, op. cit., pp. 308, en traducción propia).

Durante el curso del mes siguiente, Bohr va a pasar días angustiosos a la espera de una segunda reunión con Roosevelt. Mientras tanto, para empeorar las cosas, es informado tardíamente de que la carta

de Kapitza lo ha vuelto sospechoso de ser un espía soviético; y que el haber compartido el secreto de la bomba con Frankfurter había sido considerado un acto de alta traición.

En los archivos de Bohr recuperados de sus papeles póstumos, éste calificaría este incidente como de "un malentendido". Pero este ingenuo punto de vista es más que generoso si consideramos, por ejemplo, que uno de los involucrados en este *affaire* fue el mismo presidente Roosevelt que, ignorando la carta abierta que le fuera dirigida por Albert Einstein el 2 de agosto de 1939, decidió continuar adelante con el Proyecto Manhattan que llevaría al lanzamiento de las dos bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki.

Y esta impresión se reafirmaría sin duda, si el lector descubre por ejemplo el contexto belicista e intolerante contra los intelectuales y científicos pacifistas en la Inglaterra de aquellos años en las memorias de Bertrand Russell (Russell, 1990). Pero volvamos a Bohr...

Un eminente historiador, Aaserud, se pregunta si Roosevelt habría cambiado su punto de vista por la influencia de Churchill, o si habría sido incluso deshonesto en sus declaraciones durante aquel encuentro con Bohr.

En forma harto significativa -continúa Aaserud- tres días luego del encuentro de Hyde Park, Churchill y Roosevelt declaran considerar la bomba atómica como una forma de control mundial para la posguerra. Frente a lo cual, James Conant y Vannevar Bush, directores civiles del programa científico nuclear americano, redactan memorándums contrarios, y afines a los puntos de vista de Bohr. Y las voces de otros colegas científicos fuera del programa se suman a ellos.

Sin embargo, ni ellos consiguen una reunión con Roosevelt, ni sus informes logran superar la barrera del Secretario de Estado, Henry Stimson. Desde Londres, Cherwell "aprovecha" la difícil situación de Bohr, informando a Churchill que a su criterio, Bohr habría perdido contacto no solamente con Roosevelt, sino con la dirección del proyecto atómico norteamericano.

Había comenzado el tiempo de las traiciones, y Bohr comprobaba en carne propia los riesgos de mezclar ciencia, ideales y política.

Cuenta regresiva para el bombardeo de Hiroshima

Estamos ahora en marzo de 1945, en Londres. Bohr, en un estado anímico bastante depresivo, había aducido ante su superior administrativo, Groves, "razones personales" para su regreso a Inglaterra.

Apenas llegado, comienza a redactar una addenda al memorándum escrito para el presidente Roosevelt, algunos de cuyos párrafos va a incluir en su Carta Abierta de 1950.

Mientras tanto, en medio de un juego de intrigas digno de una novela de Graham Greene, Bohr dudaba seriamente sobre a quién entregarle su informe.

John Anderson desconfiaba de Vannevar Bush, y por otro lado, Cherwell se negaba a mostrarle el documento a Frankfurter. En forma contradictoria, Lord

Halifax, canciller británico, le sugiere a Bohr que se reúna con Bush.

Para empeorar las cosas, el 12 de abril, ante la repentina muerte del presidente Roosevelt, Harry S. Truman, como vicepresidente en ejercicio, asume la presidencia de los Estados Unidos. No habiendo sido informado al parecer de las gestiones de inteligencia hechas por Roosevelt con Gran Bretaña y la URSS acerca de la bomba atómica, Truman va a tomar una decisión clave: derivar buena parte de las decisiones estratégicas en la materia a un militar "duro", ex comandante en jefe de la Operación Overlord: Dwight Eisenhower.

Viendo reducirse definitivamente su margen de maniobra, Bohr participa el 23 de abril en la primera de tres reuniones con Vannevar Bush. Para esta fecha, ya se había conformado un "Comité Interino" anglo-norteamericano, con el objetivo declarado de funcionar como Consejo internacional sobre las aplicaciones de la bomba atómica en la posguerra. Aunque Bohr no lo sabía, las decisiones sobre el uso final que se le pensaba asignar por parte de los gobiernos Aliados a la bomba atómica -cuyo diseño experimental estaba terminando en los Álamos, bajo el más imponente secreto-, se estaban tomando "al más alto nivel"...e iban a ser de hecho decisiones mucho más "políticas" que científicas. Dentro del Comité Interino, Bush hizo al parecer todo lo posible por mantener a Bohr a distancia y retacearle información estratégica.

Entretanto, en el frente de batalla, los resultados militares marcaban sin lugar a dudas el camino de la próxima rendición de Alemania, que tendría lugar el 7 de mayo de 1945. A partir de allí, solamente quedaría para los Aliados pendiente de asegurar la rendición de Japón, cuyas tropas resistían aun en el escenario del Pacífico.

Luego de la rendición de Alemania, Niels Bohr, con la intención de permanecer mayor tiempo en Estados Unidos, organiza el traslado de su esposa Margrethe desde Estocolmo. Pero su situación se iba a complicar, y de hecho, los planes sobre su estancia en Estados Unidos se habían decidido hacia tiempo ya a sus espaldas.

Finalmente, a partir de un informe de Bohr del 23 de junio de 1945, Roger Makins, nuevo Ministro a cargo de la Embajada británica en Estados Unidos, reporta a su gobierno que "los americanos sospechaban de los permanentes entrometimientos de Bohr." Y agrega que Bohr sigue manteniendo contacto con el "sospechoso" Frankfurter. Makins consideraba por lo demás, que a partir del nombramiento del Consejo Interino por la parte norteamericana "ya no era necesario contar con el punto de vista de Bohr." El resultado del informe de Makins fue inmediato y contundente: cuatro días después, Bohr se hallaba de nuevo en Inglaterra.

En los días que siguieron, todos los intentos de Bohr por conseguir un pasaje de regreso a los Estados Unidos -no obstante contar con el apoyo político de John Anderson- resultaron completamente inútiles.

En el fondo, aunque nuestro protagonista posiblemente no lo supiera por entonces, su brutal apartamiento del grupo que decidió finalmente lanzar las bombas atómicas sobre Japón iba a ser apenas una señal de los oscuros tiempos por venir: los de la Guerra

Fría contra la URSS y los tiempos de la Liga Anticomunista de Edgar Hoover al frente del FBI, con la más estricta vigilancia sobre las actividades de intelectuales y científicos comprometidos con el pacifismo.

Tercer Acto: frente al horror de Hiroshima

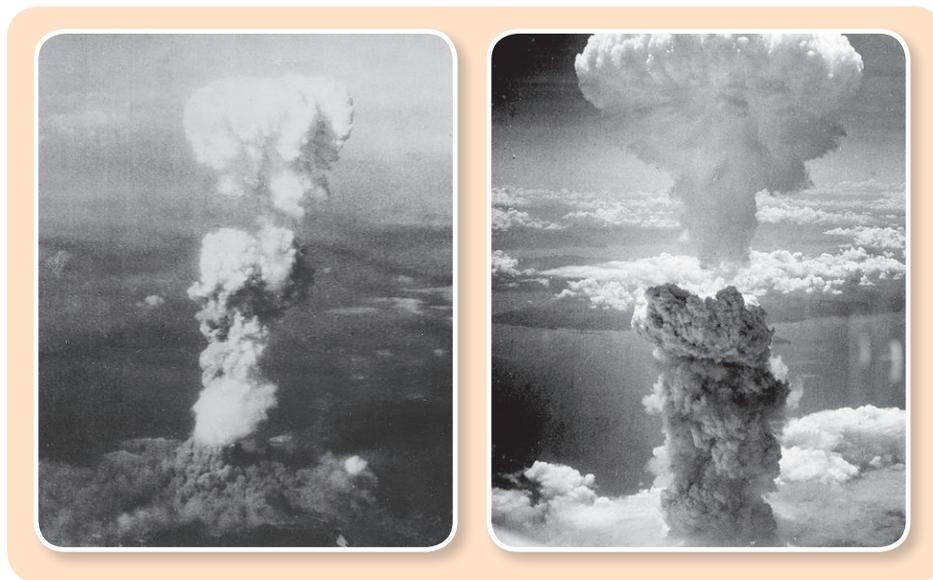


Figura 5: "Hongo" de las explosiones de las bombas atómicas sobre Hiroshima (izquierda) y Nagasaki (derecha)
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Bombarderos_at%C3%B3micos_sobre_Hiroshima_y_Nagasaki

Enfrentado a la impotencia de no poder intervenir de ninguna forma en el curso de los hechos, Bohr es informado el 16 de julio de 1945 del ensayo de la primera bomba atómica experimental en Alamogordo, por parte del equipo científico dirigido por Robert J. Oppenheimer.

Tres semanas después, el 6 de agosto a las 8.15 a.m. hora local, junto a una opinión pública azorada, recibe la noticia del lanzamiento de la primera atómica lanzada por el caza norteamericano Enola Gay sobre la ciudad japonesa de Hiroshima. Tres días después, otra bomba de uranio era arrojada sobre la ciudad de Nagasaki. El resultado total en los meses que siguieron fue de cerca de 250.000 personas muertas a consecuencia directa o indirecta de la enorme ola de radiación y de sus destructivos efectos térmicos. Para Bohr, ante el crudo y horroroso resultado de la política de hechos consumados, la única opción posible, con la que sería consecuente a lo largo de toda su vida, fue entonces expresar de inmediato públicamente sus opiniones acerca del uso futuro de la energía nuclear. Por recomendación de John Anderson, va a redactar a este fin, con la colaboración con su hijo Aage Bohr, su famoso artículo "Ciencia y Civilización".

El mismo iba a ser publicado en el periódico *The Times* el 11 agosto. Dos semanas después, junto a su mujer Margrethe y a su hijo Aage, regresaba a Copenhague, dispuesto, frente a todos los contratiempos, y

sinsabores, a proseguir con apasionamiento su trabajo en pro del desarme nuclear, en paralelo a su brillante carrera científica.

Epílogo: la Carta Abierta de Niels Bohr a la ONU de 1950

Los años de la posguerra fueron marcados para Niels Bohr, ya considerado entre los mayores científicos del siglo XX, un tiempo de afirmar su compromiso ético y moral frente al impacto social y humano del desarrollo nuclear y su aprovechamiento pacífico. Si bien había finalizado la Segunda Guerra Mundial, muchas heridas seguían abiertas, y las consecuencias de la Conferencia de Yalta, celebrada en Crimea en febrero de 1945 entre Churchill, Roosevelt y Stalin, iban definir nuevas fronteras internacionales y a dirimir en primera instancia las disputas de poder entre los Aliados.

Tras la rendición de Alemania, y de la de Japón unos días después de la bomba atómica sobre Nagasaki, los Aliados victoriosos organizaron "con sus propias reglas" el reparto de las regiones y países bajo su control: de este modo, Estados Unidos iba a ocupar Japón en estatuto de fideicomiso hasta 1955 y la URSS iba a extender su dominio hegemónico sobre el Este de Europa, e iba a tener lugar la división de Alemania en 4 zonas de ocupación; una de las cuales iba a quedar luego bajo control soviético desde la construcción del Muro de Berlín en 1953.

Comenzaban los tiempos de la Guerra Fría entre las dos grandes potencias emergentes de la posguerra, la URSS y los Estados Unidos.

Por otra parte, estaba ya redactado el borrador de la organización de las Naciones Unidas, con compromisos acerca de la composición del Consejo de Seguridad, organismo que en teoría debía abocarse a la resolución de potenciales nuevos conflictos internacionales y a mantener condiciones de paz a escala global. En paralelo a estas acciones impulsadas por Estados Unidos, la URSS y los gobiernos europeos, un grupo de científicos involucrado fuertemente con la causa del pacifismo iba a organizar una activa campaña de difusión pública en pro del uso pacífico de la energía nuclear. Dicho grupo de científicos, que incluyó a Bertrand Russell, Albert Einstein y Linus Pauling entre otros, fue responsable de la organización de los Foros internacionales "Átomos Para la Paz". Y la organización de la primera de estas conferencias en 1955, en Ginebra, Suiza, fue precisamente liderada por el protagonista de nuestro relato, Niels Bohr.

Dos años después, recibiría, como homenaje de la comunidad internacional al trabajo de su vida por la causa de la paz y el desarme, el premio "Átomos para la Paz."

Sin lugar a dudas, los fragmentos siguientes en traducción propia de la Carta Abierta de Niels Bohr a las Naciones Unidas, publicada el 9 de junio de 1950 (Bohr, 1950) -y en la que el gran físico danés retoma en parte el texto de sus informes a Roosevelt de los meses previos al lanzamiento de la bomba sobre Hiroshima-, resumen claramente el espíritu que entonces lo animaba, a pesar de todas las frustraciones, las decisiones políticas sobre problemas científicos y la aparente incompreensión de quienes debieron ayudarlo y no quisieron o no supieron.

Carta Abierta a las Naciones Unidas 9 de junio de 1950

Me dirijo a esta organización, fundada a los fines de una mayor cooperación entre las naciones sobre todos los problemas de interés común, con algunas consideraciones sobre el ajuste de las relaciones internacionales requerido por el desarrollo moderno de la ciencia y la tecnología. Al mismo tiempo, como este desarrollo sostiene grandes promesas para la mejora del bienestar humano, deja en manos del hombre formidables medios de destrucción, y enfrenta a nuestra civilización entera con un problema muy grave.

Mi asociación con el proyecto de energía atómica de Estados Unidos y el Reino Unido durante la guerra me dio la oportunidad de presentar las opiniones de los gobiernos interesados con respecto a las esperanzas y los peligros que podría implicar la realización del proyecto, como a las relaciones entre las naciones. En tanto existen posibilidades de resultados inmediatos de las negociaciones en Naciones Unidas sobre un acuerdo por la utilización de la energía atómica que garantizara la seguridad común, he sido reacio en participar en el debate público sobre esta cuestión.

Sin embargo, en la crítica situación actual, he sentido que dar cuenta de mis opiniones y experiencias quizá contribuyera a un renovado debate sobre estas cuestiones que influyen tan seriamente en las relaciones internacionales.

(...)

El objetivo de las consideraciones presentes es apuntar a dar oportunidades para promover la comprensión y la cooperación entre las naciones que han sido creadas por la revolución de los recursos humanos provocada por el avance de la ciencia y hacer hincapié en que, a pesar de las decepciones anteriores, estas oportunidades aun continúan, y todas las esperanzas y todos los esfuerzos deben centrarse sobre su realización.

Para el rápido desarrollo de la ciencia moderna y en particular para la aventura de la exploración de las propiedades y la estructura del átomo, la cooperación internacional, de extensión e intensidad sin precedentes, ha sido de una importancia decisiva. La fertilidad del intercambio de experiencias e ideas entre los científicos de todas partes del mundo ha sido una gran fuente de estímulo para todos los participantes y fortaleció la esperanza de que un contacto cada vez más estrecho entre las naciones permitiría trabajar juntos en el progreso de la civilización, en todos sus aspectos.

Sin embargo, nadie que se enfrenta a las tradicio-

nes culturales divergentes en la organización social de los distintos países podría dejar de quedar profundamente impresionado por las dificultades de hallar un enfoque común para muchos de los problemas humanos. La creciente tensión que precedió a la Segunda Guerra Mundial ha acentuado estas dificultades y ha creado muchas barreras para liberar a las relaciones entre las naciones. Sin embargo, la cooperación científica internacional continuó siendo un factor decisivo en el desarrollo previo al estallido de la guerra, que planteó la posibilidad de liberar energía atómica a gran escala.

El temor de “quedar fuera” era un fuerte incentivo en diversos países para explorar, en secreto, las posibilidades de usar esas fuentes de energía para fines militares. El proyecto conjunto de Estados Unidos y el Reino Unido era aun desconocido para mí hasta que, luego de mi huida de la Dinamarca ocupada en el otoño de 1943, llegara a Inglaterra por invitación del Gobierno británico. En ese momento, tenía confianza en que la gran empresa ya por entonces había alcanzado una etapa avanzada.

Todos los gobiernos asociados con el proyecto de energía atómica fueron, por supuesto, conscientes de los graves problemas que podría enfrentar la Humanidad una vez que se llevara a cabo la empresa [nuclear]. Aparte de la función que las armas atómicas podrían llegar a jugar en la guerra, estaba claro que permanentes y graves peligros para la seguridad mundial se producirían, a menos que las medidas para prevenir el abuso de los nuevos y formidables medios de destrucción fueran acordadas universalmente, y esto se hizo. (...)

A principios de 1944, tuve la oportunidad de exponer mis opiniones ante la atención de los gobiernos estadounidense y británico. [Lo hice] en interés de la comprensión internacional para dejar constancia de algunas de las ideas que, en ese momento, eran objeto de seria deliberación. Para ello, puedo citar un memorando que he presentado al Presidente Roosevelt como base para una larga conversación que se me concedió en agosto de 1944. Además de un estudio de los antecedentes científicos para el proyecto de energía atómica, que ahora es de conocimiento público, en este memorando, de fecha 3 de julio de 1944, figuran los siguientes pasajes con respecto a las consecuencias políticas que podría implicar la realización del proyecto:

“Sin duda, supera la imaginación de cualquier persona [la envergadura del] estudio de las consecuencias del proyecto [nuclear] en los próximos años, donde en el largo plazo las fuentes de energía enorme que estarán disponibles pueden esperarse que puedan revolucionar la industria y el transporte. Sin embargo, el hecho de preponderancia inmediata es que se está creando un arma de un poder sin precedentes que cambiará completamente todas las condiciones futuras de la guerra.

Aparte de la cuestión de que en breve plazo el armamento estará disponible para su uso y de qué papel puede desempeñar en la presente guerra, esta situación plantea una serie de problemas que requieren una atención más urgente. A menos que, de hecho,

pueda obtenerse algún tipo de acuerdo sobre el control de la utilización de los nuevos materiales activos en debido tiempo, cualquier ventaja temporal, puede ser superada por una amenaza permanente para la seguridad humana.

Nunca antes como hoy, en que estamos a las puertas de la posible liberación de la energía atómica a gran escala, se ha dedicado tanta reflexión a la cuestión del control; pero cuanto más avance la exploración de los problemas científicos de que hablamos, se deduce claramente que ningún tipo de medidas contingentes bastará para este propósito; y que especialmente la terrible perspectiva de una futura competición entre naciones por un arma de carácter tan formidable sólo puede evitarse a través de un acuerdo universal sobre una verdadera confianza mutua".

(...)

La prevención de una carrera [armamentista] que se ha preparado en secreto, por tanto, va a exigir concesiones sobre intercambio de información y transparencia sobre los esfuerzos industriales, incluidos los preparativos militares; y esto difícilmente sería concebible, a menos que al mismo tiempo se asegure a todos los socios una garantía compensatoria para la seguridad común contra un riesgo de gravedad sin precedentes. (...)

A modo de conclusión: La mirada sobre Niels Bohr, cincuenta años después

Nuestro breve relato acerca de algunos de los hitos en la carrera científica de Niels Bohr, y de los esfuerzos dedicados a lo largo de su vida a la causa de la paz, ha buscado proporcionar al lector un acercamiento a una de las grandes biografías científicas del siglo XX, y a la vez, mostrar algunos indicios del conflicto humano que se le presenta a un científico —a uno de nuestros contemporáneos— ante las implicaciones políticas y bélicas y ante las consecuencias de sus investigaciones, en este caso sobre física nuclear. Hemos procurado mostrar lo mejor de la dimensión humana de un destacado investigador. Mostrar a Bohr en el laboratorio pero también "ante las cámaras", y recorrer junto con el lector algunos tramos cruciales del camino que lo llevaría desde su adolescencia feliz y bastante despreocupada, hasta los inicios de su brillante trayectoria científica.

Hemos mostrado al Bohr involucrado en el gran secreto del proyecto Manhattan y a la vez, como otros colegas suyos implicados con la causa de la paz, lidiando con los servicios de inteligencia y quedando atrapado en la compleja y oscura red de intereses de los manejos políticos internacionales.

Y hemos buscado, asimismo, compartir una parte esencial del trabajo del historiador, en torno a las cartas que nos deja el archivo familiar de los herederos de nuestro protagonista, a fin de ir iluminando gradualmente, como en la apertura de una gran obra de teatro, el escenario del encuentro de 1941, entre Bohr y Heisenberg en Copenhague.

En términos de una reflexión necesaria sobre qué es la ciencia en el mundo globalizado y en el contexto de la sociedad de la información, no es ocioso tal vez

analizar en forma comparativa y valorar el compromiso de aquellos científicos con la causa del desarme nuclear. En esta época, cuando ha pasado no hace tanto la Guerra del Golfo; y ante la perspectiva de un posible conflicto bélico entre ambas Coreas; cuando resulta cada vez más difícil para los investigadores exponerse públicamente para expresar ante los medios sus puntos de vista acerca de las decisiones políticas de sus gobiernos.

Esperamos que este comienzo de viaje al apasionante país de la ciencia que hemos iniciado, pueda verse motivado a continuarlo por su cuenta cada lector.

Referencias bibliográficas

Aaserud, F. (1999). "The scientist and the statesmen: Niels Bohr's political crusade during World War II." *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 30 (1). <http://mmf.ruc.dk/~booss/mathwar/BookFiles/Booss299-311.pdf>

Bohr, A. (1967). "The War Years and the Prospects Raised by the Atomic Weapons", en: Niels Bohr: His Life and Work As Seen by His Friends and Colleagues. Rozental, S. (Ed.). Amsterdam, North-Holland Publishing Company.

Bohr, N. (1950). Open Letter to The United Nations. Copenhagen, J. H. Schultz Ed.

De Asúa, M. (2004). Ciencia y literatura: un relato histórico. Buenos Aires, EUDEBA.

Gamow, G. (1971). Treinta años que conmovieron la Física. Buenos Aires, EUDEBA.

Marco Stiefel, B. (1996). "Aproximación didáctica a textos científicos originales.". *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Barcelona, Graó, 1996, (8), pp. 53-62"

Russell, B. (1990). Autobiografía (vols. I y II). Barcelona, EDHASA.

12

LA AVENTURA DE LA CORTISONA:
QUÍMICA, MEDICINA Y GUERRA**Dra. María Joselevich**

Asociación Civil Expedición Ciencia

Email: maria@expedicionciencia.org.ar

En la historia de la ciencia pocas cosas se dan por casualidad. Los descubrimientos, grandes y pequeños, suelen ser fruto de un largo camino recorrido por generaciones de investigadores que aportan sus granos de arena a ese producto dinámico que es el conocimiento humano. En algunas paradas de ese camino hay mentes brillantes que pueden condensar ese conocimiento y distinguir formas maravillosas donde los demás sólo adivinan bultos. Pero ese recorrido no es ajeno a los avatares de la especie humana. Las pasiones, deseos, ambiciones personales y caprichos de los actores de esta obra y los contextos políticos y sociales en los que están inmersos lo marcan de forma inevitable.

En el contexto particular de los alrededores de la Segunda Guerra Mundial, transcurre esta historia, la del descubrimiento de la cortisona y de su uso como medicamento. La cortisona es un compuesto químico. Hoy se sabe que su administración produce un gran efecto antiinflamatorio e inmunosupresor y por eso se la utiliza en el tratamiento de procesos inflamatorios agudos y crónicos, tales como las alergias severas. También se usa para suprimir deliberadamente la respuesta inmune en personas con enfermedades autoinmunes o como tratamiento posterior a los trasplantes de órganos para evitar que el cuerpo rechace al nuevo órgano.

¿A qué se deben esos extraños síntomas?

Nuestra historia comienza en Inglaterra, en 1849, cuando Thomas Addison,¹ un médico inglés, describió la que posteriormente se llamaría Enfermedad de Addison. Este médico tenía una fascinación: las enfermedades de la piel.

Addison notó que ciertos síntomas que presentaban algunos pacientes parecían estar asociados entre sí. Estos presentaban "un estado general de languidez y debilidad, desfallecimiento de la acción del corazón, irritabilidad del estómago y un cambio peculiar en el color de la piel".

Además, los pacientes con Addison mostraban cam-

bios en la presión arterial o en la frecuencia cardíaca, diarrea crónica, palidez, debilidad extrema, fatiga, inapetencia, lesiones en la boca, náuseas y vómitos, deseo vehemente por el consumo de sal, movimiento corporal lento y pesado y pérdida involuntaria de peso (Addison, 1855). Los síntomas de estos pacientes se agravaban hasta que morían. Addison practicó autopsias a varios pacientes que habían padecido estos síntomas y observó que, la mayoría de ellos presentaban, al menos, el 50% de sus glándulas suprarrenales destruidas.



Figura 1. Thomas Addison (<http://www.medarus.org/Medecins/MedecinsTextes/addison.htm>)



Figura 2: Pigmentación de una persona con Addison en contraste con una persona sana. Nótese el color oscuro y las pecas negras, especialmente en la cara (Hartman, 1937).

La coexistencia entre los síntomas de la enfermedad de Addison y la destrucción de las glándulas suprarrenales intrigó a un investigador contemporáneo de Addison llamado Charles Edouard Brown-Sequard².

1. Thomas Addison (1793 - 1860) nació en Longbenton, Northumberland. Es célebre, entre otras cosas, por haber descrito, al mismo tiempo que Brown-Sequard, la relación entre la enfermedad que lleva su nombre y la disfunción de las glándulas suprarrenales.

2. Edouard Brown-Sequard (1817-1894). Además de sus trabajos en endocrinología, realizó importantes estudios acerca de los movimientos reflejos y su relación con la médula espinal. También estudió el control que ejerce el Sistema Nervioso Simpático de los mecanismos vasomotores. (Rouch, 1945)

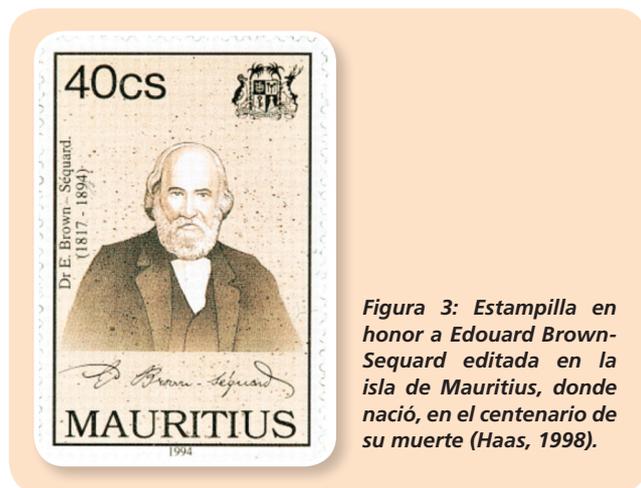


Figura 3: Estampilla en honor a Edouard Brown-Sequard editada en la isla de Mauritius, donde nació, en el centenario de su muerte (Haas, 1998).

Brown-Sequard se preguntó si éste último era uno más de los síntomas de la enfermedad o si era la causa. Para intentar responder esta pregunta, tomó animales de experimentación sanos (conejos, cobayas, perros y gatos) y les quitó las glándulas suprarrenales (GS) (fueron adrenalectomizados). Como esperaba, observó que los animales desarrollaban los síntomas de la enfermedad de Addison. Luego inyectó una especie de licuado de GS a esos animales adrenalectomizados y observó que los síntomas remitían. ¡Había logrado recrear la patología en los animales de experimentación! y con eso encontró un punto de ataque para buscar la causa e intentar la cura de la enfermedad.

¿Qué son las glándulas suprarrenales?

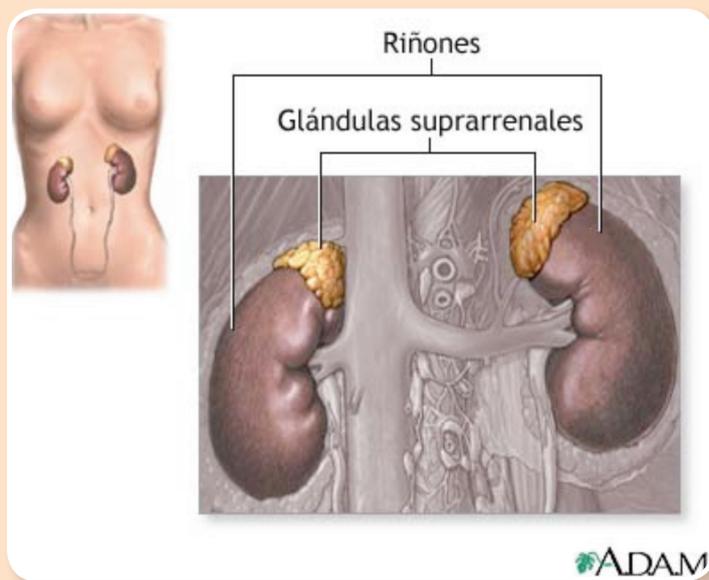


Figura 4: Ubicación de las glándulas suprarrenales (Enciclopedia ilustrada de salud, http://www.msd.com.mx/msdmexico/patients/enciclopedia/adam_sp.html).

En 1563, el anatomista italiano Bartolomeo Eustachius³ (Catholic Encyclopedia, 1913) describió dos estructuras con forma de triángulo que están situadas sobre los riñones. Están formadas por una médula blanda y una corteza más dura. Tres siglos pasaron hasta que Addison, con sus investigaciones, diera una pista firme sobre sus funciones.

Ahora que se sabía que la destrucción de las GS producía la enfermedad de Addison, surgió una nueva pregunta: ¿qué producen las GS cuya ausencia lleva a la enfermedad de Addison? En busca de la respuesta a esta incógnita, en 1894 Oliver y Shafer (Hill, 1970) descubrieron que los extractos de GS producían un marcado aumento de la presión arterial y en 1901, Aldrich, Abel y Takamine (Aldrich, 1901; Takamine, 1901-02; Hill, 1970) aislaron un compuesto de la parte central o médula de la glándula que resultó ser el que producía este efecto. El compuesto fue llamado epinefrina por algunos científicos y adrenalina por otros.

¿Será la "cortina"?

Como decíamos antes, Brown-Sequard halló una correlación entre la destrucción de las GS y los síntomas de la enfermedad que estaba estudiando. Sabía que preparados crudos de GS contenían adrenalina y también que hacían remitir los síntomas de Addison. ¿Por qué no probar cómo funcionaba la adrenalina pura en los pacientes, sin restos de tejidos que pudieran interferir en los efectos? Fue una buena idea, pero no funcionó. Los síntomas de los pacientes no remitieron. Sin embargo, la respuesta al problema tenía que estar en las GS. ¿No sería que las GS producían algo más aparte de la adrenalina? Si en la médula de la CS encontraban sólo adrenalina, el compuesto que buscaban debía estar en otra parte: la corteza.

Pasaron tres décadas antes de que se publicaran las primeras evidencias convincentes de la existencia de una sustancia de vital importancia en la corteza suprarrenal (CS). Varios grupos de investigación decían haberlo logrado, pero el primero en publicar evidencias estadísticamente relevantes fue, en 1927, el de Frank Hartman de la Universidad de Buffalo (Hartman, 1927). En ese año, el grupo de Hartman y el de Stewart (Rogoff, 1927), en Cleveland, lograron purificar preparados de corteza suprarrenal de ganado vacuno y obtener unos cristales. Suministraron ese extracto cristalino a animales a los cuales habían quitado completamente las GS y... ¡lograron mantenerlos con vida! El extracto también reanimaba a los animales en crisis adrenal y, lo más importante, su suministro hacía remitir los síntomas de pacientes

3. Bartolomeo Eustachius fue un anatomista del renacimiento italiano. Nació alrededor de 1514 en San Severino y murió en 1574 en Roma. Amplió el conocimiento del oído interno redescubriendo y describiendo correctamente el canal que lleva su nombre. Fue el primero en estudiar la anatomía de los dientes y en describir los fenómenos de dentición. Eustachius fue el primero en describir las glándulas suprarrenales (Catholic Encyclopedia, 1913).

4. Leonard George Rowntree (1883-1959) fue un médico canadiense que en 1914 publicó junto con Dr. Abel and Dr. J.J. Turner (Abel, 1914) un artículo histórico donde describía experimentos de diálisis en perros, usando el primer riñón artificial. Pasó 11 años en la Clínica Mayo. Allí presentó la simpatectomía lumbar como tratamiento para la hipertensión maligna y descubrió el principio de la urografía de contraste intravenoso. Fue jefe del Servicio Médico del Sistema de Servicio Selectivo y ayudó a fundar la Facultad de Medicina de la Universidad de Miami.



Figura 5: Leonard Rowntree (<http://www.lib.uwo.ca/archives/virtualexhibits/historyofmedicine/Notables/notables.html>)

con la enfermedad de Addison. Suponiendo que habían hallado la hormona esencial para la vida, el grupo de Cleveland la llamó "internalina" y el de Buffalo "cortina", por provenir de la corteza de la glándula. A principios de 1930, los métodos de purificación fueron mejorados por Wilbur Swingle y Joseph Pfiffner de Princeton y Hartman y Brownell (Swingle, 1930, a, b; Hartman, 1930 a, b).

Aquí nos topamos con un aspecto social fundamental de la ciencia: los científicos se necesitan unos a otros. Los químicos que purificaban los extractos de CS necesitaban médicos que probaran la eficacia de sus extractos en pacientes con Addison. Por eso, Joseph Pfiffner se contactó el Dr. Leonard G. Rowntree,⁴ un médico canadiense que trabajaba en la Clínica Mayo.⁵ Así llegó el extracto de CS a manos de Rowntree y por su intermedio al mundo de la Clínica Mayo.

Rowntree probó los extractos en algunos pacientes y, cuando observó los resultados de sus ensayos, se dio cuenta de que estaba frente a un descubrimiento trascendente. Acudió a su colega, el químico Edward Kendall, también de la Clínica Mayo, para pedirle que produjera más extracto de CS. Kendall aceptó el desafío pero...

¿Quién era Kendall?

Leonard Kendall era un químico norteamericano. Sus colegas lo describen como hombre muy religioso, puritano y conservador. A pesar de tener título de químico había tenido un escaso entrenamiento práctico y tenía serios baches en el conocimiento práctico del laboratorio (Ingle, 1975).

Era un hombre terco quien toda la vida consideró que sus intuiciones eran una fuente de verdad y las solía sostener por encima de evidencias experimentales. Entre sus logros más importantes están el aislamiento de la hormona tiroidea y su participación en la cristalización y determinación de su estructura química del glutatión. El relato del aislamiento de la tiroxina, en el cual Kendall hace un experimento, se duerme en el medio y al despertar encuentra un compuesto parcialmente purificado, muestra claramente la manera

poco sistemática de su trabajo (Ingle, 1975). Kendall propuso una estructura incorrecta para la tiroxina que sostuvo frente a sus colegas hasta que las evidencias en su contra fueron irrisoriamente incontrovertibles.

Sin duda su vida académica se caracterizó por una fe ciega en sus ideas y una gran resistencia las sugerencias de los demás.

Aunque por otra parte, como veremos más adelante, la tenacidad que lo caracterizaba le ayudó a lograr descubrimientos que cambiaron la historia. En definitiva Kendall, quien de ninguna manera fue un gran químico, resultó ser un extraordinario científico (Ingle, 1975).

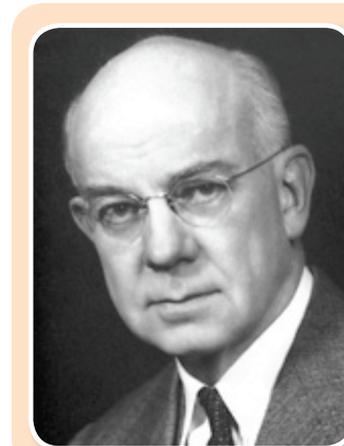


Figura 6: Leonard Kendall (<http://nobelprize.org>)

Este era el hombre al que acudió Leonard Rowntree para que preparara extractos de CS. Kendall comprendió inmediatamente la importancia del tema y puso a su equipo de gente a trabajar en él. En diciembre de 1933 creyeron haber llegado a su objetivo y lo publicaron rápidamente: habían purificado la "cortina" a partir de CS vacuna (Mc Kenzie, 1933). Pero cuando comenzaron los ensayos con animales los resultados fueron contradictorios y decepcionantes: su "cortina" mantenía con vida a las ratas adrenalectomizadas pero su administración no hacía cambiar los resultados del test de respuesta muscular.⁶ El compuesto que habían purificado no producía los efectos esperados. ¡No era "cortina"! Kendall, fiel a su temperamento, nunca se desdijo y aun hoy este artículo es a veces citado erróneamente como aquel en el cual se habla por primera vez de la cortisona.

La situación se complica para Kendall. ¿Quién puede ordenar las investigaciones?

Mientras Kendall tropezaba con su apuro, sus competidores publicaban constantemente artículos con protocolos de purificación de distintos compuestos provenientes de la CS, algunos de los cuales parecían tener la misma actividad biológica que la "cortina" de Kendall pero distintas propiedades químicas.

El ambiente estaba enrarecido en la Clínica Mayo. En los comienzos de su trabajo en la Clínica, Kendall recibió un fuerte apoyo de los hermanos Mayo. Charlie

5. La Clínica Mayo es una entidad sin fines de lucro dedicada a la práctica médica. Posee hospitales y clínicas en Jacksonville (Florida) y Scottsdale y Phoenix (Arizona). www.mayoclinic.org

6. El test de respuesta muscular consistía en anestesiarse a una rata con fenobarbital sódico, colocar una pesa de 100 g sobre el músculo gastrocnemio y estimular al músculo con descargas eléctricas para que levante el peso tres veces en un segundo. Las ratas normales podían continuar usando el músculo estimulado por más de 14 días. En cambio, cuando se extirpaban las glándulas suprarrenales, el trabajo muscular comenzaba a decaer dentro de las dos horas y la respuesta muscular se perdía a lo largo del día.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

Mayo solía, incluso, interesarse personalmente por las investigaciones de Kendall. Acostumbraba tener charlas técnicas con Kendall y sus colaboradores y participar del diseño de experimentos y de la discusión de los resultados. Pero a mediados de los años '30, los hermanos Mayo comenzaron a delegar las decisiones operativas a comités formados por miembros del personal de la Clínica y la Junta de Directivos. Buena parte del Directorio miraba con malos ojos el trabajo que realizaba Kendall. Opinaban que la investigación básica era una actividad muy costosa y que sus resultados eran imprevisibles y estaban disgustados por los grandes costos y escasos beneficios económicos que dejaba. Pero, afortunadamente, el Dr. Frank Mann,⁷ administrador de la Clínica, tenía otra opinión. Si bien su relación con Kendall era mala y sus caracteres chocaban frecuentemente, estaba convencido de que la investigación básica era necesaria para el desarrollo de la medicina y que, a pesar de necesitar tiempo, dinero y esfuerzo, los resultados promisorios llegarían al fin (Ingle, 1975).

¡Pero Kendall ofrecía armas a sus enemigos! Se había precipitado en la publicación de resultados (su "cortina" no tenía los efectos esperados) e iba rezagado respecto a los demás grupos en relación a la obtención de los compuestos de la CS y su publicación. Mann atribuyó los problemas del grupo de Kendall a su manera intuitiva, autoritaria y poco sistemática de trabajar y, junto con el Directorio de la Clínica, le ordenó a Kendall que derivara la purificación de los compuestos de CS a uno de sus colaboradores, el Dr. Harold L. Mason.

Harold Mason era un químico orgánico muy bien entrenado. Conocía muy bien un método fundamental de caracterización de estructuras químicas que se acababa de inventar: el microanálisis.⁸ Era un perfeccionista que hacía un talentoso trabajo en la mesada. ¡El complemento perfecto para Kendall! Kendall no era gran conocedor los principios de la investigación ni en los métodos que se necesitaban para que esta historia llegara a un buen final y, como nos podemos imaginar, sus caminos intuitivos eran una fuente de frustración permanente para sus colaboradores más jóvenes.

En un principio, Kendall se resistió a la imposición del Directorio, pero cedió luego de una reunión a puertas cerradas con Harold Mason y otro miembro del grupo, el Dr. Charles S. Myers. Nunca sabremos lo que ocurrió dentro de esa oficina pero a partir de

ese momento, Mason y Myers tomaron en sus manos la purificación del extracto de CS. ¡Y no sólo eso! Se instauró una reunión semanal de grupo. Ahora sí los avances fueron enormes.

En 1936, Mason, Myers y Kendall (Mason, 1936) publicaron un protocolo para la purificación de cinco compuestos cristalinos activos derivados del extracto de CS.

¿Cómo purificaron?

El método de purificación que desarrollaron Mason y Myers comprendía los siguientes pasos:

1. Tomaron cortezas de GS, las licuaron y maceraron en acetona.

2. Filtraron el macerado y evaporaron la acetona en frío y a presión reducida quedándose con una fase acuosa (el agua provenía de la CS) que contenía una mezcla de compuestos parcialmente disueltos.

3. Separaron esos compuestos en tres grupos usando una técnica que se llama extracción con solventes⁹, utilizando benceno.¹⁰ Las fracciones que resultaron fueron las siguientes:

I. compuestos que se disolvían preferentemente en benceno que en agua.

II. compuestos más solubles en agua que en benceno.

III. compuestos con solubilidad similar en ambos solventes.

Al comenzar a evaporar los solventes de las fracciones anteriores (agua o benceno) los investigadores observaron que se formaban cristales. Pero esos cristales no eran todos iguales. En la fracción I, por ejemplo, parecía haber cristales de dos tipos: unos tenían forma de agujas que flotaban en la superficie del solvente y se ordenaban formando rosetas. Otros, más densos, formaban prismas que precipitaban al fondo del recipiente. Pudieron separar los dos grupos de cristales en forma mecánica pero todavía no estaban del todo puros. Situaciones similares ocurrían en las tres fracciones así que tuvieron que seguir purificando. Usando la técnica de recristalización,¹¹ lograron purificar 5 compuestos: llamaron A y B a los obtenidos en la fracción I de la extracción, C y D a los obtenidos en la II y E al obtenido en la fracción III.

7. El Dr. Frank Mann (1887-1962) fue Director de Medicina Experimental de la Clínica Mayo entre los años 1914 y 1948. Se destacó por sus investigaciones acerca del shock traumático, la fisiología del hígado, la cirugía gastrointestinal y la cirugía de los riñones y los vasos sanguíneos.

8. El microanálisis es una técnica que permite determinar la fórmula molecular de los compuestos, es decir, cuántos átomos tiene y cuáles son sus identidades.

9. La extracción con solventes es un técnica de purificación que aprovecha que cada sustancia tiene distinta solubilidad en distintos solventes. Se colocan dos solventes inmiscibles entre sí (como agua y benceno) y se agrega una mezcla de solutos. Si algunos solutos son más solubles en agua que en benceno y otros se comportan de manera inversa, al separar las fases se ha separado la mezcla en dos grupos: los que son más solubles en agua y los más solubles en benceno.

10. El benceno dejó de utilizarse como solvente habitual de experiencias de laboratorio y de uso industrial, por encontrarse que es tóxico. La exposición permanente a este solvente genera un tipo de cáncer llamado anemia plástica.

11. La recristalización es una técnica de purificación de sólidos que se basa en que las sustancias tienen distinta solubilidad en solventes fríos que en calientes. Todos sabemos que si preparamos un té con agua caliente va a quedar mucho más fuerte que con agua fría. De la misma manera, en general es posible encontrar un solvente tal que los cristales de un compuesto se disuelvan al calentar y se vuelvan a formar al enfriar. Podemos elegir el solvente con una restricción más: que las impurezas que contiene el sólido original queden siempre disueltas en el solvente o no se disuelvan nunca. El sólido que se va a purificar se disuelve en el solvente caliente, y la mezcla caliente se filtra para eliminar todas las impurezas insolubles. Se deja enfriar la solución para que se produzca la cristalización. Se filtra nuevamente para eliminar ahora las impurezas que están disueltas y el sólido que se obtiene se deja secar. Si con una recristalización sencilla no se llega a una sustancia pura, el proceso puede repetirse empleando el mismo u otro solvente.

¿Cuál era la estructura química de los compuestos?

Entre todos los grupos de investigación que trabajaban en el tema llegaron a aislar 29 compuestos de la CS. De estos, sólo tres eran conocidos con anterioridad por estar presentes en otras fuentes naturales. Los otros 26 eran nuevos para el conocimiento humano. Nunca nadie los había tenido en sus manos (más bien en sus tubos de ensayo). No se podían identificar ... ¡porque no eran idénticos a nada conocido!

Los científicos deducen la estructura de moléculas desconocidas usando sus características físicas y químicas como si estuvieran armando un rompecabezas. Comparan con datos medidos en moléculas de estructura conocida, y hacen inferencias respecto a la nueva estructura que quieren determinar. Por ejemplo, haciendo incidir luz sobre muestras de distintos alcoholes (etanol, metanol, propanol, etc) se observa que absorben intensamente luz de longitud de onda entre 3000 y 3700 cm^{-1} . Así, si una sustancia desconocida absorbe muy fuertemente luz de 3000-3700 cm^{-1} , es muy probable se trate de una molécula con un grupo alcohol.

Los investigadores de nuestra historia contaban con muchos menos métodos de análisis que los que tenemos en la actualidad pero se las arreglaban muy bien (Mason, 1937; Mason, 1938; Wintersteiner, 1936; Reichstein, 1936). Usando el método de Rast (Smith, 1927), inventado pocos años antes, determinaron los pesos moleculares de los compuestos. Hicieron microanálisis para deducir qué tipos de átomos (carbono, oxígeno, hidrógeno, etc) y cuántos átomos de cada tipo formaban cada compuesto. Estudiando cómo era la absorción de luz ultravioleta, dedujeron cómo estaban enlazados algunos de esos átomos entre sí (qué grupos funcionales¹² estaban presentes en las estructuras). Y usando métodos químicos determinaron la presencia de algunos otros grupos de átomos que tienen comportamientos característicos (por ejemplo, cuando se agrega permanganato de potasio a determinados alcoholes, se forma un precipitado marrón). También hicieron ensayos de degradación; es decir, "rompieron" los compuestos en condiciones controladas. Luego se dedicaron a determinar de qué estaban hechos los "pedazos" que se formaban y de ahí dedujeron de qué estructura original podían provenir¹³.

Juntando la información que habían recabado (peso molecular, átomos, grupos funcionales, etc),

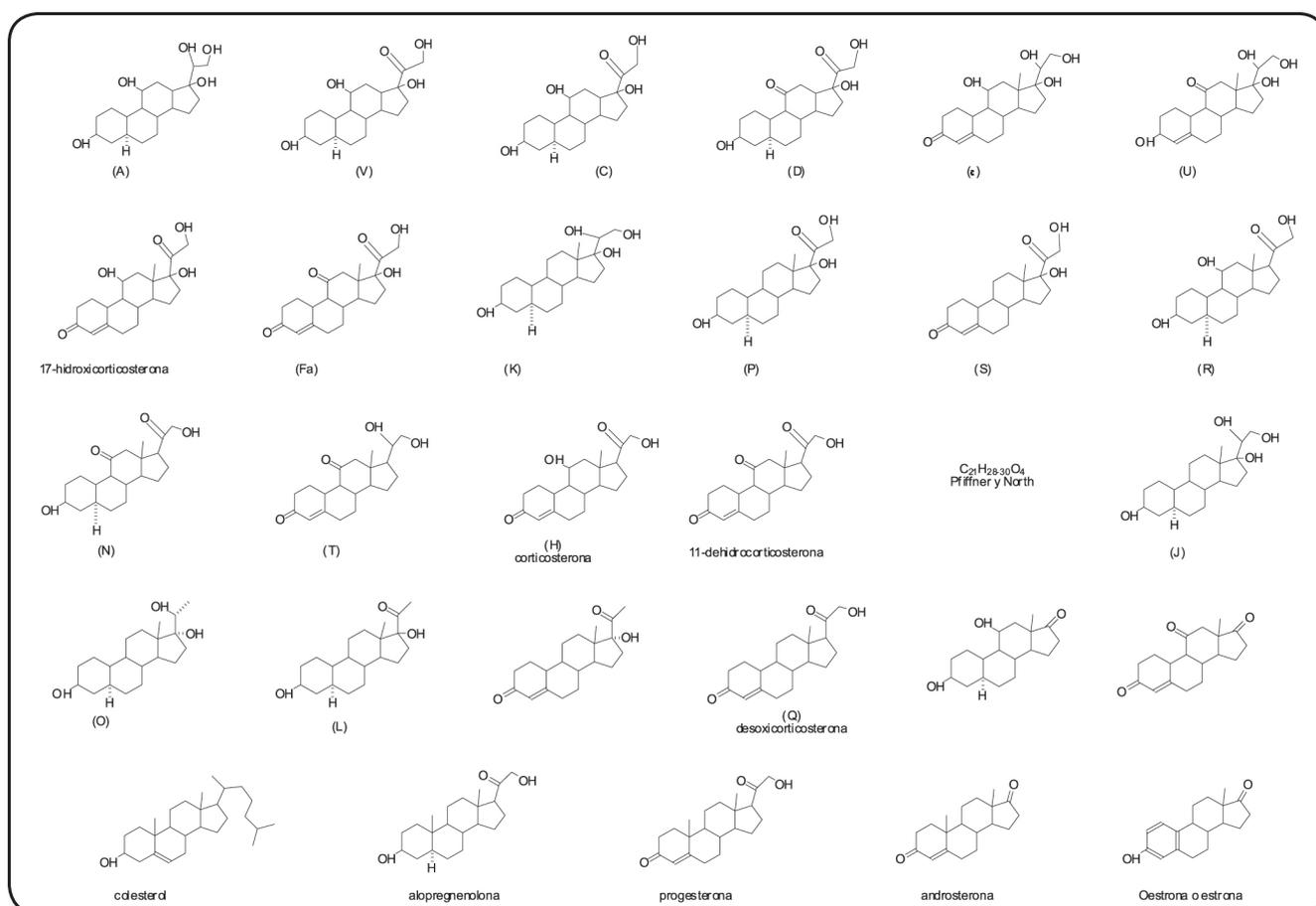


Figura 7: Esteroides aislados de la corteza suprarrenal (adaptado de Reichstein, 1950).

12. Los grupos funcionales son átomos o grupos de átomos que forman parte de moléculas y les confieren a éstas propiedades químicas determinadas. Por ejemplo, el grupo funcional "amina primaria" (formada por un átomo de nitrógeno, dos de hidrógeno, y un resto carbonado denominado "alquilo") hace que la molécula tenga propiedades básicas y el grupo funcional "alcohol" (formado por un átomo de oxígeno, uno de hidrógeno, y un resto carbonado denominado "alquilo") hace que la molécula pueda interactuar con el agua formando puentes de hidrógeno. En general las moléculas tienen más de un grupo funcional y por eso sus propiedades son características.

13. Estos esquemas degradativos eran un tipo de trabajo muy frecuente dentro de la Química Orgánica; ver, por ejemplo, el relato del Dr. Barrale (Barrale, 2011).

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

creyeron reconocer una estructura básica en sus compuestos, un ordenamiento estructural de los átomos, que era muy particular. Esa estructura es característica de una familia de hormonas que ya conocían: los esteroides.¹⁴ Pero sus pruebas no eran concluyentes. Veamos, por ejemplo, cómo resolvieron esto en el grupo de Kendall para el compuesto E (Mason, 1936a). Hicieron un ensayo biológico para ver si E tenía una actividad similar a la de androsterona, un esteroide ya conocido en esa época. Encargaron el estudio a un experto, el Dr. Koch, de la Universidad de Chicago, que estudió el efecto de E en el crecimiento del pelo,¹⁵ pero el ensayo resultó negativo. Se fijaron entonces si una modificación química controlada sobre E, pero que no cambiara su estructura básica, les daba un compuesto que sí tuviera actividad. Trataron al compuesto E con ácido crómico y ácido sulfúrico en condiciones en las que sabían que algunos esteroides se oxidan pero su esqueleto carbonado no cambia. Obtuvieron un producto distinto a E (¡E se había oxidado!) y lo analizaron para determinar su composición. Luego hicieron sobre E-oxidado el mismo ensayo biológico que habían hecho sobre E. ¡El ensayo dio positivo! E-oxidado se comportaba como andrógeno, un tipo de esteroide, y por lo tanto debía tener una estructura esteroidal. Y si esto era así para E-oxidado, ¡también lo era para E porque su estructura básica no había cambiado con la oxidación! Los grupos que competían con el de Kendall llegaron independientemente a la misma conclusión que fue confirmada tiempo después por técnicas más poderosas: los 29 compuestos finalmente aislados del

extracto de CS son esteroides, según se muestra en la Figura 7.

¿Nos ponemos de acuerdo? Hablemos el mismo idioma.

Eran tiempos difíciles para el grupo de Kendall pues sus dos grupos rivales avanzaban rápidamente. J. Pfiffner se había trasladado desde Princeton a trabajar con el Dr. Oskar Wintersteiner, un excelente químico orgánico experto en microanálisis. Con la llegada de Pfiffner, su grupo de la Universidad de Columbia empezó a aislar compuestos cristalinos del extracto de CS a la par del de Kendall. En Suiza, Tadeus Reichstein y su grupo también hacía progresos enormes en el mismo sentido.

Antes de poder asignar las estructuras químicas de los compuestos, cada grupo de investigación tenía su propia forma de nombrar los compuestos que iba purificando. Así, el compuesto "F" de Wintersteiner tenía las mismas características que el compuesto "Fa" de Reichstein y el "E" de Kendall. ¡Y la misma letra era a veces asignada a distintos compuestos! Era una verdadera ensalada. Cuando se comenzaron a asignar las estructuras, se pudo nombrar a los compuestos según un sistema de reglas. Así, "F" de Wintersteiner, "Fa" de Reichstein y el "E" de Kendall se pasó a llamar 4-pregnen-17 α , 21-diol-3,11,20-trione para el mundo académico y, posteriormente, cortisona para el pú-

TABLE I
Comparison of Labels Applied to Steroid Substances of Adrenal Gland

Our compounds	Reichstein	Wintersteiner and Pfiffner
Compound A	Dehydrocorticosterone*	Compound D " A " F
" B	Substance H (corticosterone)	
" C	" C	
" D	" A	
" E	" Fa	
" F	" M	
" G	" D	
" H		
Ketone 4†	Substance G (adrenosterone)	Compound G
	" E	
	" J	
	" L	

* Not isolated from the extract but prepared from corticosterone.
† Prepared by degradation of Compound E but not isolated from cortical extracts.

Figura 8. Comparación entre los nombres dados a los compuestos extraídos de CS (Mason, 1938).

14. Los esteroides son un grupo de moléculas que tienen una base estructural similar: el ciclopentanoperhidrofenantreno. Entre los más conocidos están el colesterol, las hormonas sexuales, y los ácidos biliares.

15. El profesor F. C. Koch, contactado por Kendall, ensayó el efecto de los compuestos en el crecimiento del pelo. Koch encontró que, si bien E era inactivo, E-oxidado tenía una actividad de un 15 a un 25% en relación a la de androsterona.

blico. El nombre sistemático, si bien es largo, contiene un montón de información que hace que no haya confusión acerca de cuál es el compuesto al que nos estamos refiriendo. No importa el idioma en el que habla o piensa el lector. Ahora estamos hablando un lenguaje común: el de la química.

La Figura 8 da cuenta de este proceso de ponerse de acuerdo en la compatibilización de nombres y estructuras de los nuevos compuestos obtenidos. La IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) es la organización internacional que resolvió las cuestiones de nomenclatura, estableciendo reglas claras y unívocas, para todos los compuestos químicos. Este procedimiento de llegar a acuerdos es permanente.

Primer abandono del proyecto

La extracción y purificación de los compuestos derivados de la CS era fascinante para los científicos que trabajaban en el tema. ¡Estaban descubriendo hormonas que actuaban en el cuerpo humano! Pero eran procedimientos muy caros y complicados que dejaban muy bajos rendimientos. Por ejemplo, para obtener 83 mg de extracto cristalino crudo de corteza suprarrenal (que luego había que purificar), se necesitaban 4 kg de corteza (Pfiffner, 1934). Por eso, la poca masa que se obtenía se usaba para la investigación en animales pequeños y no se llegaban a hacer ensayos clínicos. Hacia diciembre de 1942, ningún laboratorio había conseguido resultados alentadores en relación a la actividad de los compuestos y la mayoría de los grupos abandonó la búsqueda. El laboratorio de Leonard Kendall abandonó los ensayos con animales en 1942.

Mientras tanto, del otro lado del mar...

Mientras todo esto pasaba en los Estados Unidos, el mundo estaba convulsionado: Europa estaba en guerra.

Mientras en Europa se multiplicaban los campos de exterminio y ahí y en los campos de batalla millones de personas eran masacradas, la situación en Norteamérica era tensa e inestable. Mientras se percibían vientos de guerra, estaban en la época de la Ley Seca y la mafia y se empezaba a generar el macartismo que se desplegaría al terminar la guerra. Hasta que en diciembre de 1941 Japón invadió Pearl Harbor y EEUU entró también en la guerra. Los recursos económicos e intelectuales del país (incluidos, por supuesto, los científicos y tecnológicos), se subordinaron a las necesidades de las Fuerzas Armadas.

Comenzaron a circular rumores de que los alemanes estaban comprando en Sudamérica glándulas suprarrenales de ganado vacuno para hacer extractos de corteza que administraban a los tripulantes de sus bombarderos. Los alemanes estaban particularmente interesados en uno de los síntomas que desarrollan los

pacientes con la enfermedad de Addison: una particular sensibilidad al estrés. Esto también se observa en los animales adrenalectomizados, y en ambos casos, este síntoma revertía al administrar extracto de CS (Inge, 1975). Los alemanes suponían que la administración de extracto de CS a personas sanas haría que éstas desarrollaran una especial resistencia al estrés y en particular a la hipoxia, con lo que los pilotos podrían volar a mayores alturas y se fatigarían menos. Se rumoreaba que los pilotos y artilleros alemanes que participaron en los bombarderos nocturnos sobre las ciudades inglesas habían recibido dosis del extracto para bajar su nivel de cansancio... y sensibilidad emocional.

Las Fuerzas Armadas norteamericanas no quisieron quedarse atrás y formaron un comité de notables que decidió que un grupo de laboratorios, tanto académicos como farmacéuticos, se dedicaría a buscar la forma de sintetizar los compuestos obtenidos del extracto de CS. Este comité, liderado por Leonard Kendall, decidió comenzar a trabajar en la síntesis del compuesto A de Kendall, por ser el de mayor simplicidad estructural de los purificados hasta ese momento. En 1943, investigadores de Merck and Co. en colaboración con el laboratorio de Kendall lograron sintetizar unos miligramos de A con muy bajo rendimiento. Inmediatamente comenzaron a realizar pruebas biológicas que resultaron negativas en relación a la hipoxia y el estrés traumático y quirúrgico.

Segundo abandono

Este fracaso hizo que la mayoría de los grupos colaboradores, excepto los grupos de Mayo y Merck, abandonaron el programa a mediados de 1944. A finales de 1945, Merck logró sintetizar 100 g de compuesto A. Los ensayos clínicos que realizaron con pacientes que tuvieran la enfermedad de Addison pero fueron nuevamente decepcionantes.

¡La tercera es la vencida!

Paralelamente, el grupo de Kendall y la empresa Merck se dedicaron a la síntesis del compuesto E. En diciembre de 1944, lograron producir unos miligramos y a finales de 1948 Merck produjo la primera síntesis a gran escala. En este momento, la mayoría de los endocrinólogos había perdido el interés en los derivados de corteza suprarrenal.

El Dr. Philip Showalter Hench entra en escena

En la Clínica Mayo, sede del grupo de Kendall, trabajaba el Dr. Philip Hench,¹⁶ un médico especializado en reumatología. En 1926, mientras dirigía el departamento de Enfermedades Reumáticas de la Clínica Mayo, observó con gran interés que pacientes con ar-

16. Philip S. Hench (1896-1965) Doctor en Medicina estadounidense. http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1950/hench.html



Figura 9: Dr. Philip Showalter Hench (<http://nobelprize.org>)

tritis reumatoidea experimentaban remisión de los síntomas en situaciones muy particulares.

¿Qué es la artritis reumatoidea?

Tanto la identidad anatómica de la artritis reumatoidea (AR) como la clínica, claramente fueron establecidas a mediados del siglo XIX. Sin embargo su origen era un misterio y no se conocía remedio. En los siguientes 75 años, las crónicas médicas enfatizaban la penosa cronicidad de la enfermedad. Según los dichos de Lane y Griffiths, (Hench, 1950) era la enfermedad *“más inatacable, obstinada e incapacitante que puede agredir al cuerpo humano”*. El médico inglés Spender decía que *“la enorme debilidad que produce la enfermedad causa la ruina y la desesperación y es, en ese sentido, más maligna que el cáncer.”* Aun hoy el conocimiento que se tiene de esta enfermedad es muy pobre. Se sabe que es una enfermedad sistémica autoinmune pero no se sabe fehacientemente su origen. Provoca inflamaciones crónicas principalmente en las articulaciones, las cuales destruye progresivamente llevando a distintos grados de deformidad e incapacidad funcional. En ocasiones, su comportamiento es extraarticular: puede causar daños en cartílagos, huesos, tendones y ligamentos de las articulaciones, pudiendo afectar a diversos órganos y sistemas, como ojos, pulmones y pleura, corazón y pericardio, piel o vasos sanguíneos (Alvárez Lario, 2003). Aunque el trastorno es de causa desconocida, la autoinmunidad juega un papel primordial en que sea una enfermedad crónica y en la forma como la enfermedad progresa.

En 1929 Philip Hench tuvo un encuentro afortunado. Un paciente con artritis reumatoidea le contó asombrado cómo sus síntomas remitieron durante unos días mientras padecía una enfermedad que le provocó ictericia.¹⁷ Hench comenzó a observar pacientes con AR, hombres y mujeres, que presentaban ictericia debido a alguna otra enfermedad y encontró una clara correlación. Observó otra correlación: la AR también remitía en mujeres enfermas cuando éstas estaban embarazadas.

Siguiendo la pista de la ictericia, Hench comenzó a buscar lo que llamó el *“formidable antídoto natural”* que hacía remitir los síntomas de la AR. Comenzó ensayos con voluntarios que incluyeron: administración de sales biliares y derivados de ácido biliar por vía oral e intravenosa, administración de extractos de hígado

por vía parenteral, aplicación de grandes cantidades de bilis humana a través de tubos gástricos, bilirrubina intravenosa y transfusiones de sangre de dadores con ictericia. ¡Nada funcionaba! Las sustancias más obviamente relacionadas con la ictericia no producían ningún efecto sobre la artritis reumatoidea. Por otro lado, tampoco parecían tener que ver exclusivamente con el embarazo, pues la remisión se producía también en hombres y mujeres no embarazadas.

Hench concluyó de sus investigaciones lo siguiente:

1. La AR no es una enfermedad inexorablemente progresiva sino potencialmente reversible.
2. Durante la ictericia y el embarazo (y posiblemente también en reacciones adversas a la vacuna contra la tifoidea, la inanición y la anestesia) se produce una *“sustancia antirreumática X”*.
3. Dado que esta sustancia actúa tanto en mujeres embarazadas que no presentan ictericia como en hombres y mujeres que sí la presentan, la sustancia X no es una hormona femenina ni un producto de un hígado dañado.
4. La *“sustancia X”* es probablemente un compuesto biológico normal en el organismo que tiene funciones y naturaleza específicas.
5. Dado el efecto que produce tanto en el embarazo como en la ictericia, la sustancia X podría ser una hormona, pero no una hormona sexual.

Gran parte de las sustancias hormonales que se conocían en ese momento pasaron a formar parte de una larga lista de candidatos a ser la *“sustancia antirreumática X”*. Philip Hench y Leonard Kendall, discutieron varias veces acerca de este tema. Hubo un comentario de Kendall que fue crítico. En una reunión que tuvieron en enero de 1941, remarcó un resultado que había obtenido en sus animales de laboratorio: el suministro del compuesto E aumentaba la resistencia a la reacción a la vacuna contra la tifoidea. Acordaron probar el compuesto E cuando hubiera una cantidad adecuada disponible y rebautizaron a la sustancia: a partir de ese momento se llamó cortisona.

Pasaron casi ocho años hasta que, en septiembre de 1948, Merck produjo el primer lote de compuesto E. Hench recibió el compuesto y comenzó a administrarlo. La primera en recibirlo fue una paciente en la que ningún tratamiento había conseguido hacer remitir los síntomas de la artritis reumatoide. La mujer le rogó que ensayara con ella cualquier cosa que pudiera mitigarle el dolor. Hench comenzó a suministrarle 100 mg de cortisona diarios por vía intramuscular y los progresos de la paciente fueron espectaculares. Una gran excitación se desató y todos los pacientes artríticos de la clínica Mayo comenzaron a ser tratados con cortisona. El estudio fue mantenido en forma confidencial durante unos meses. Hasta que, finalmente, la noticia se publicó (Hench, 1949).

El 26 de octubre de 1950 fue anunciado oficialmente el otorgamiento a Hench, Kendall y Reichstein del

17. La ictericia es una coloración amarillenta que aparece en la piel y mucosas cuando se acumula bilirrubina. Excepto en el caso de los recién nacidos, este síntoma indica que se está frente a un daño o sobrecarga hepática, o a la incapacidad de transportar la bilirrubina hacia el intestino a través del conducto biliar.

premio Nobel de Medicina y Fisiología por sus estudios acerca de la corteza suprarrenal.

Addendum

La cortisona resultó ser un medicamento de gran utilidad en el tratamiento de enfermedades inflamatorias. Con el tiempo, se logró desarrollar un método de síntesis de cortisona a partir de un compuesto extraído de la soja. Esto hizo que el costo de su preparación bajara abruptamente. En la actualidad, la síntesis de cortisona se hace por procedimientos mucho más baratos y se producen 800 toneladas por año de los cuatro corticoides principales: cortisona, hidrocortisona, prednisona y prednisolona. Este mercado movilizó 192 millones de dólares en el año 2008 (Quatrx, 2010).

Para otro día queda contar el desarrollo de la síntesis de cortisona que tuvo dos grandes hitos: el descubrimiento de una materia prima adecuada (aceite de soja) (Julian, 1956) y el desarrollo de una ruta sintética que contenía algunos pasos mediados por microorganismos (Pederson, 1956).

¿Qué pasó con la enfermedad de Addison? En la actualidad, la enfermedad de Addison se trata con una mezcla de corticoides. Estos esteroides suplen, en parte, los compuestos que deberían generar las glándulas suprarrenales. El tratamiento controla los síntomas, pero no cura la enfermedad y generalmente es necesario seguirlo de por vida. A menudo, las personas reciben una combinación de glucocorticoides (cortisona o hidrocortisona) y mineralocorticoides (fludrocortisona).

Referencias Bibliográficas

- Addison T. (1855) On the Constitutional and Local Effects of Diseases of The Supra-Renal Capsules. Warren and Son, London.
- Aldrich, T. B. (1901) A preliminary report on the active principle of the suprarenal gland. *Am. J. Physiol.*, Vol. 5, p. 457.
- Álvarez Lario, Bonifacio (2003). El libro de la artritis reumatoide. Ediciones Díaz de Santos. ISBN 8479785810.
- Baralle, A (2011). De la Química a la Medicina Molecular: En viaje con las Macromoléculas de la vida, en Galagovsky (Dir.) *La Química en la Argentina*, Asociación Química Argentina.
- "Bartolomeo Eustachius". *Catholic Encyclopedia*. New York: Robert Appleton Company. (1913). Enciclopedia ilustrada de salud. Glándulas suprarrenales. http://www.edward.org/Blank.cfm?xyzpdqabc=0&id=553&action=detail&AEArticleID=8720&AEProductID=Adam2004_102&AEProjectTypeIDURL=APT_6
- Essex, H. (1963) Dr. Frank C. Mann. *The Physiologist* 6 (1): 66.
- Hartman, F. A., C. G. Mac Arthur and W. E. Hartman. (1927) A substance which prolongs the life of adrenalectomized cats. *Proc. Soc. Exper. Biol. and Med.*, Vol. 25, p. 69.
- Hartman, F. A., and K. A. Brownell. (1930) The hormone of the adrenal cortex. *Proc. Soc. Exper. Biol. and Med.*, Vol. 27, p. 938.
- Hartman, F. A. and K. A. Brownell. (1930) The hormone of the adrenal cortex. *Science* 18 July 1930: 76.
- Hartman, F. Hormones of the Adrenal Gland. (1937) *The Ohio Journal of Science*. Vol. 37 N° 6 pp 427-445.
- Haas, L (1998) Charles Edouard Brown-Séquard (1818-94) *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. January; 64(1): 89.
- Hench, P. S.; Kendall, E. C.; Slocumb, C. H. and Polley, H. F. (1949) The effect of a hormone of the adrenal cortex (17-hydroxy-11-dehydrocorticosterone: compound E) and of pituitary adrenocorticotrophic hormone on rheumatoid arthritis. *Ann Rheum Dis*. 8: 97-104.
- Hench, P. S. (1950). Nobel lecture.
- Hill, R. (1970). *The Chemistry of life: eight lectures on the history of biochemistry*. Edited by J. Needham. Gonville and Caius College, Cambridge, England. University Press. Cambridge, England
- Ingle, D. and E. C. Kendall. (1975). 1886—1972. A Biographical Memoir. *National Academy of Sciences. Washington D. C.*
- Julian, P. (1956). Preparation of cortisone. US Patent #2752339.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

Mason, H. L., Myers, C. S. and E. C. Kendall, (1936a). Chemical studies of the suprarenal cortex. II. The identification of a substance which possesses the qualitative action of cortin; its conversion into a diketone closely related to androstenedione. *J. Biol. Chem.*, 116, 267-276.

Mason, H. L., Myers, C. S., and Kendall, E. C., (1936b). The chemistry of crystalline substances isolated from the suprarenal gland. *J. Biol. Chem.*, 114, 613-631.

Mason, H. L., Hoehn, W. M. McKenzie, B. F. and E. C. Kendall (1937) Chemical studies of the suprarenal cortex. III. The structures of compounds A, B and H, *J. Biol. Chem.*, 120 719-741.

Mason, H. L., Hoehn, W. M. and E. C. Kendall (1938) Chemical studies of the suprarenal cortex. IV. Structures of compounds C, D, E, F, and G, *J. Biol. Chem.*, 124, 459-474.

McKenzie, B. F. and Kendall L.. Separation of the active principle essential to life from the suprarenal gland. *Proc. Staff Meet, Mayo Clin.*, 8: 90-92.

Pederson, J. A. Campbell, J. C. Babcock, S. H. Eppstein, H. C. Murray, A. Weintraub, R. C. Meeks, P. D. Meister, L. M. Reineke, D. H. Peterson (1956). Microbiological transformations of steroids. XIV. The preparation of a tertiary hydroxyl-steroid, 10 ξ -hydroxy-19-nortestosterone *J. Am. Chem. Soc.*, 78 (7), pp 1512-1513.

Pfiffner, J. J.; Vars, H. R. and A. R. Taylor (1934). Extraction studies on the adrenal cortical hormone I. Methods of preparation. *J. Biol. Chem.*, 106, 625-638

Quatrax council, (2010) Estudio de mercado: Cortisona, hidrocortisona, prednisona dehidrocortisona y prednisona dehidrocortisona <http://www.smartexport.com/>

Reichstein, T. (1936) Über Bestandteile der Nebennieren-Rinde. VI. Trennungsmethoden sowie Isolierung der Substanzen Fa, H und J, *Helv. Chim. Acta*, 19, 1107-1126.

Reichstein, T (1950) Chemistry of the adrenal cortex hormones. Nobel lecture.

Rogoff, J. M., and G. N. Stewart. (1927). The influence of adrenal extracts on the survival period of adrenalectomized dogs. *Science*, Vol. 66, p. 327.

Rouch, T. C.; (1945). Charles Edouard Brown-Sequard (1817-1894). *Yale Journal of Biology and Medicine*, Vol. 18, No. 4.227-238.

Rowntree, A; Turner (1914). On the Removal of Diffusible Substances from the Circulating Blood of Living Animals by Dialysis. *J. Pharmacol. & Exper. Therap.* v, 275-316.

Smith J. H. C. and W. G. Young. (1927) Modifications of Rsat's micro method for molecular weight determinations. *J. Biol. Chem.*, 75 (1927) 289-298.

Swingle W. W. and J. J. Pfiffner (1930) The revival of comatose adrenalectomized cats with an extract of the suprarenal cortex. *Science* Vol. 71, p. 75-76.

Swingle, W. W. and J. J. Pfiffner. An aqueous extract of the suprarenal cortex which maintains the life of bilaterally adrenalectomized cats. *Science*, Vol. 71, p. 321.

Tattersall R. and B. Turner (2000) *Lancet* 356: 61-63.

Wintersteiner O. and J. J. Pfiffner. (1936) Chemical studies on the adrenal cortex. III. Isolation of two new physiologically inactive compounds, *J. Biol. Chem.*, 116 291-305.

***RELATOS SOBRE QUÍMICAS,
SUS CIRCUNSTANCIAS
Y CONTEXTOS***

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

13

MUJERES EN LA CIENCIA: MARIE-ANNE PIERRETTE PAULZE LAVOISIER

Dr. Miguel Katz

Profesor Titular de Mecánica Cuántica
Instituto Superior del Profesorado "Dr. Joaquín V. González"
Email: muon_k@yahoo.com.ar

Introducción

Dicen que "detrás de un gran hombre siempre hay una gran mujer". Nunca este dicho fue tan adecuado como para Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794). Con méritos suficientes para ser considerado el "padre de la Química Moderna", a lo largo de un cuarto de siglo refutó la llamada "teoría del flogisto", estableció una teoría acerca de la combustión y la respiración puntualizando la necesidad de la existencia de oxígeno para que esos procesos ocurran, dio una definición operacional de "elemento" clasificando 33 sustancias elementales, desarrolló una teoría acerca de la naturaleza de los ácidos, del "calórico" y otras contribuciones científicas que ocupan más de 60 volúmenes en la Biblioteca Nacional de Francia. Todo esta obra la realizó sin descuidar su trabajo como recaudador de impuestos para el Reino, Director del Arsenal de la Pólvera, Tesorero de la *Académie des Sciences* ni sus actividades privadas como desarrollos de cultivos en sus campos, que sólo le permitían hacer investigación científica dos horas a la mañana y otras dos a la tarde, y no todos los días. La gigantesca tarea científica de Lavoisier no habría sido posible sin la colaboración de su esposa, Marie-Anne quien no sólo lo acompañaba durante sus experimentos sino que se hacía cargo del laboratorio cuando él no estaba, armando los aparatos, perfeccionando las técnicas, registrando e ilustrando gráficamente los resultados, oficiando tanto de traductora como de intérprete, ayudando a redactar las memorias, etc. Es por ello, que, hoy en día, muchos investigadores en historia de la Ciencia la consideran la "madre de la Química Moderna".

Una breve biografía

Marie-Anne Pierrette Paulze, nació en Montbrison, un distrito en el valle del Loire, Francia, el 20 de enero de 1758. Era hija de Jacques Paulze de Chasteignolles (1723 – 1794) y Claudine Catherine Thoyner de Rozières (1735 – 1761), la que era sobrina del Abate Terray, quien luego sería Controlador General de Finanzas del Reino. Jacques Paulze era abogado, parlamentario y trabajaba en la *Fermé Générale*, una compañía contratada

por la monarquía francesa para cobrar impuestos, odiada por la mayor parte de la población debido a la presión fiscal que ejercía y, particularmente, porque cobraba los impuestos al tabaco y a la entrada o salida de París. Claudine falleció cuando Marie-Anne tenía tres años y las obligaciones de Jacques Paulze lo obligaron a encerrarla en un convento, donde fue educada por las monjas.

Cuando Marie-Anne tenía trece años, fue pedida en matrimonio por Gabriel François Conde de Amerval. Este era un cincuentón, hermano de la Baronesa La Garde que tenía mucha influencia sobre el Abate Terray, en ese tiempo funcionario superior de Jacques Paulze. Amerval tenía aprietos económicos y el matrimonio con la hija de un funcionario adinerado podría aliviar sus problemas. Paulze no quería que su hija se casase con Amerval¹ y le sugirió a un colega de la *Fermé Generale* que considerase contraer enlace con su hija. Ese colega era Antoine Laurent Lavoisier, quien visitaba con frecuencia la casa de Paulze y que tenía buena relación con Marie – Anne. Paulze y Lavoisier arreglaron los detalles financieros de la boda². Los jóvenes se casaron el 16 de diciembre de 1771. Él tenía 28 años y ella estaba próxima a cumplir los 14.

Si bien la actividad principal de Lavoisier era la de recaudar impuestos y perseguir a los evasores, era un apasionado de la ciencia. Había montado un laboratorio en su casa, dotado con los materiales e instrumentos más modernos de su época. Muchos de los aparatos del laboratorio fueron diseñados por él y fabricados para él. Luego de su matrimonio, comenzó a instruir a la esposa en los conocimientos de Física y de Química así como en el manejo de los recursos del laboratorio. De esta manera, ella se fue convirtiendo en ayudante de laboratorio y, al cabo de un par de años fue adquiriendo conocimientos científicos y habilidad práctica que le permitieron pasar de ser una simple ayudante a la encargada de la parte experimental. Con frecuencia, Lavoisier presentaba trabajos en la Academia de Ciencias de París, pero en ninguno de ellos mencionaba como colaboradora a su esposa.

Alrededor de 1770, Francia tenía graves problemas

1. En la Sección "Lavoisier" de la Biblioteca de la Universidad de Cornell, se encuentra la carta que Paulze le envió a Amerval, declinando diplomáticamente la propuesta matrimonial.

2. Paulze aportó una dote 80.000 libras, 21.000 en el acto de firmar el contrato matrimonial y el resto en los seis años siguientes. Lavoisier aportó la mayor parte. El regalo de bodas de su madre fue de 170.000 libras y su padre le adelantó otras 250.000 libras a cuenta de su herencia. (Donovan, A. (1993): *Antoine Lavoisier, Science, Administration and Revolution*, Chapter 5. "The Company of Tax Farmers"; Cambridge University Press, New York; pp. 110 y ss.



Figura 1: Autorretrato de Marie-Anne Pierrette Paulze, circa 1775



Figura 2: Lavoisier y su esposa. Óleo sobre tela 447,4 x 531,8 cm. The Metropolitan Museum of Art in New York

en la producción de pólvora, altamente necesaria para sus guerras con los ingleses. La producción de salitre (el componente activo de la pólvora) era bastante mediocre. Por eso, el gobierno francés creó la Administración de la Pólvora y nombró como su director a Antoine Lavoisier.

En 1775, Antoine y Marie - Anne se mudaron al Arsenal de la Pólvora. Durante su estancia allí Marie Anne estuvo al tanto de todos los trabajos de su marido a toda hora. La vivienda era muy confortable y tenían un laboratorio muy bien equipado donde podían hacer los más sofisticados experimentos de la época.

La rutina de la vida conyugal era la siguiente: Se levantaban a las 6 de la mañana y a las 7 iban al laboratorio. A las 9, Lavoisier partía a cumplir sus obligaciones dejándola a cargo de la tarea experimental. Él regresaba a las 7 y trabajaban en conjunto hasta las 10 de la noche, hora en que iban a cenar.

En el tiempo que su esposo no estaba, Marie-Anne trabajaba en el laboratorio, diseñando nuevas técnicas experimentales, ajustando las existentes y anotando meticulosamente todos los resultados, los que discutía con Lavoisier cuando él regresaba.

En los ratos libres que le quedaban, fue perfeccionando su inglés. A Lavoisier le costaba mucho manejarse en ese idioma y cuando llegaban visitantes angloparlantes, como Benjamín Franklin, Joseph Priestley, Charles Bladgen y otros, ella oficiaba de intérprete.

También estudiaba dibujo y pintura con Jacques-Louis David (1748 – 1825) un artista de estilo neoclásico. Fruto de su aprendizaje es el autorretrato (Figura 1) que data de alrededor de 1775. David fue quien, en 1788,

pintaría el cuadro más famoso (¡y enorme!) del matrimonio Lavoisier (Figura 2).

Sin descuidar su trabajo en el laboratorio, Marie-Anne era la encargada de preparar todos los detalles de las recepciones que, con frecuencia, brindaban los Lavoisier a los amigos, colegas de la Academia de Ciencias, funcionarios de la *Fermé Générale* y visitantes extranjeros. Múltiples comentarios de esos visitantes la describen como una excelente anfitriona. En algunos casos, como cuando los visitó Benjamín Franklin, hasta tuvo tiempo para regalarle un retrato (Figura 3) que lo hizo por duplicado — y qué Franklin tardó 5 años en agradecer (Figura 4). El escritor inglés, Arthur Young, describió su visita a la casa de Lavoisier y refiriéndose a la esposa escribió que ella era una señora “vivaz, sensible y científica” que no sólo sabía preparar el té a la inglesa sino que “su conversación sobre el libro de Kirwan ‘*An Essay on Phlogiston*’ que ella estaba traduciendo del inglés y otros temas que una mujer con gran entendimiento que trabaja con su esposo en el laboratorio sabe cómo explicar, fueron el mejor ágape” (Young, 1792).

La producción científica de Lavoisier fue más que abundante. Sus trabajos abarcaron tantos aspectos de la Física y de la Química que resulta imposible imaginar que él sólo hubiese podido completarlos, especialmente si se tiene en cuenta su trabajo —a partir de 1778 fue nombrado *Fermier Général*— que le insumía buena parte del día, y su actuación como miembro de la *Académie des Sciences* que lo obligaba a asistir a las reuniones y a las lecturas de los trabajos que presentaban los asociados. Entre sus principales logros pueden mencionarse: (a) el de haber “comandado” un grupo de investigadores franceses que refutó la llamada “teoría del flogisto” —que sostenía que al que-



Figura 3: Uno de los dos retratos de Benjamin Franklin por Marie-Anne Lavoisier (1775)

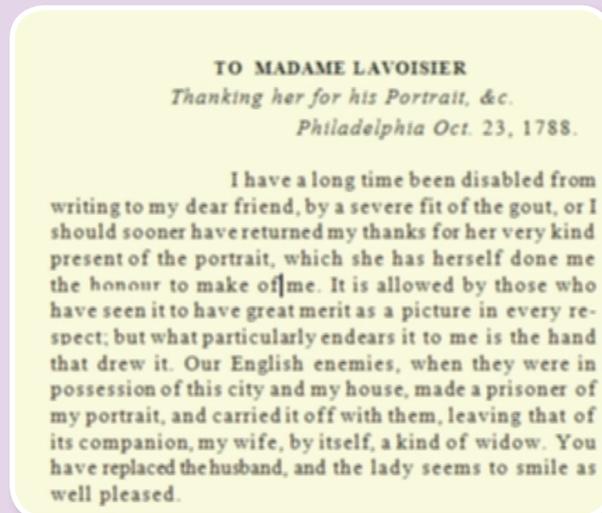


Figura 4: Fragmento de la carta de Franklin a Mme. Lavoisier. Temple Franklin, W.; (1817): *The private Correspondence of Benjamin Franklin. Vol. 1; Colburns; London: p. 246.*

mar combustibles y metales, se liberaba una sustancia volátil llamada "flogisto" (que nunca se pudo aislar) y demostrar experimentalmente que en las combustiones, el material que se "quema" se combina con el oxígeno; (b) enunciar el concepto de "elemento" como "aquellas sustancias a las que podemos reducir los cuerpos por descomposición", definición que tuvo vigencia en la Química hasta bien entrado en el siglo XX; (c) publicar una lista con 33 de esas sustancias "elementales", la mayoría de las cuales son correctas; (d) haber desarrollado una teoría acerca de la naturaleza de los ácidos; (e) proponer un sistema de nomenclatura claro, que no diese lugar a interpretaciones equívocas; (f) publicar una obra, *Traité élémentaire de Chemie*, en 2 volúmenes, que fue el texto de Química más usado en las escuelas durante un siglo; (g) haber desarrollado una teoría, que luego se demostraría errónea, acerca del calor como una sustancia elemental (*calórico*) presente en todos los cuerpos. Por estas contribuciones científicas, a Lavoisier se lo llamó "el padre de la Química Moderna". Toda esa contribución a la Ciencia no hubiese sido posible sin la colaboración de su esposa. Por ello, no es desdeñable que a Marie-Anne Pierrette Lavoisier se la llame, hoy en día, "la madre de la Química".

Hay innumerables testimonios del trabajo silencioso y anónimo de Marie-Anne. En sus memorias, Joseph Priestley cuenta que en una cena en casa de Lavoisier al informarle que había descubierto que el aire no es una sustancia simple sino que está formada por dos componentes — que hoy llamamos nitrógeno y oxígeno: "Todos los presentes, el Sr. Lavoisier y la Sra. Lavoisier, más que ninguno, expresaron gran sorpresa" (Priestley, 1800). Interrumpieron la cena y fueron a laboratorio de Lavoisier a repetir el experimento que Priestley había comentado.

Marie-Anne Lavoisier, contribuyó haciendo exquisitos grabados sobre bronce para la impresión del *Traité*, que permitieron a los lectores tener una visión clara de los aparatos y dispositivos que se usaban en los laboratorios. (Figuras 5, 6 y 7) La Figura 8 reproduce un dibujo en el que muestra cómo era el laboratorio de su casa.

En 1787, Richard Kirwan, un prestigioso químico irlandés, intentó refutar la teoría de la combustión de Lavoisier y con tal fin publicó un trabajo al que tituló "*An Essay on Phlogiston and the Composition of Acids*". En este libro, mantuvo la opinión de que el flogisto es la misma entidad que el llamado "aire inflamable" y encaró la tarea de probar que cada sustancia combustible y cada metal contienen hidrógeno como constituyente y que este hidrógeno se libera en todos los casos de combustión y calcinación. Por otro lado, intentó demostrar que en la reducción de una cal a

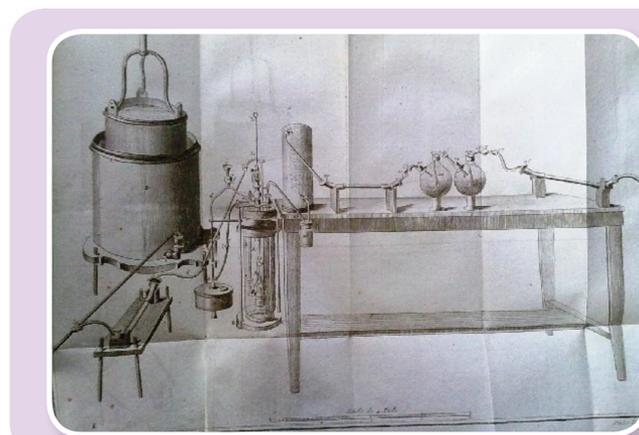


Figura 5: Aparato para la combustión del alcohol. *Traité élémentaire de Chemie*

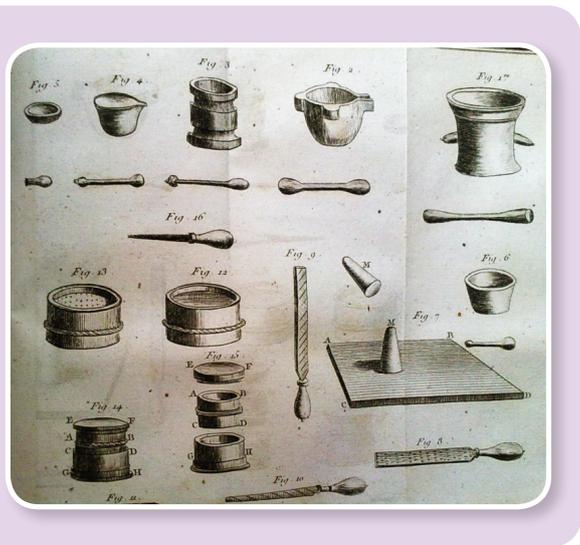


Figura 6: Traité élémentaire de Chemie
T. II. P. 657 T. II, p. 681

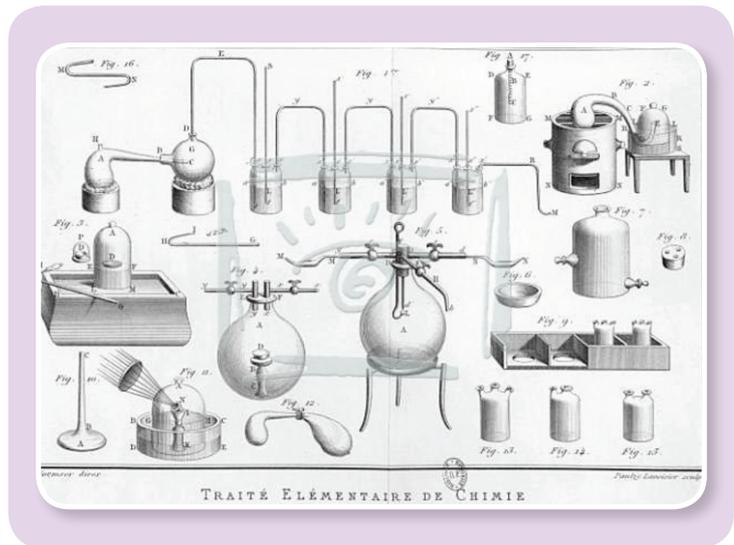


Figura 7: Dispositivo para descomponer agua.
Traité élémentaire de Chemie TII, p. 662.

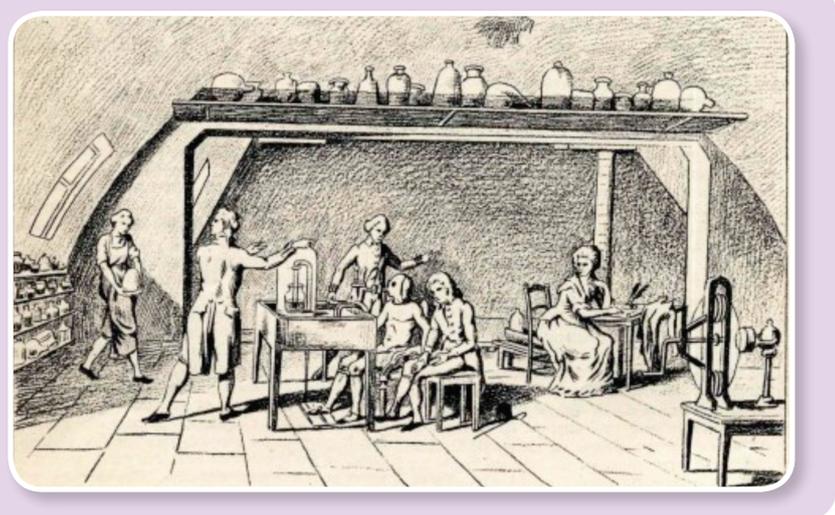
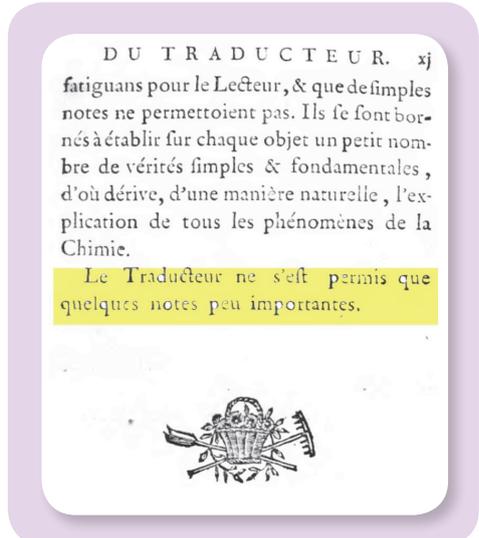


Figura 8: Detalle del laboratorio de Lavoisier, donde se observa a la esposa tomando nota de los resultados de experimentos sobre respiración. Dibujo de Marie-Anne Lavoisier.



DU TRADUCTEUR. xj
fatiguans pour le Lecteur, & que desimples notes ne permettoient pas. Ils se font bornés à établir sur chaque objet un petit nombre de vérités simples & fondamentales, d'où dérive, d'une manière naturelle, l'explication de tous les phénomènes de la Chimie.

Le Traducteur ne s'est permis que quelques notes peu importantes.



Figura 9: "El traductor se permitió agregar algunas notas poco importantes".

metal se produce la absorción de hidrógeno.

Lavoisier le encargó a su esposa la traducción del libro (Kirwan, 1788) y con un grupo de químicos franceses se hizo cargo de la refutación de los argumentos de Kirwan mostrando la superioridad de su propia teoría. Lavoisier no permitió que el nombre de su esposa figurase como traductora y no quiso que ella agregase "notas del traductor", pero ella misma se encargó de agregarlas (Figura 9).

En las ediciones de *Essai sur le Phlogistique*, posteriores a la muerte de Lavoisier, Marie-Anne Lavoisier figura como traductora del libro.

El amigo Dupont de Nemours

Por su trabajo en la *Fermé Générale* Lavoisier solía viajar a distintas localidades del interior de Francia. Como consideraba que Marie - Anne era jovencita y bastante inexperta en cuestiones mundanas, cuando

debía viajar le encomendaba a Paul Samuel Dupont de Nemours (1739 – 1817), un amigo de Jacques Paulze el cuidado de su esposa. Dupont era un economista, mundano, que fascinaba a Marie-Anne con su conversación. Richard Morris, escribió que ellos comenzaron un romance en 1781, durante una de las habituales ausencias de Lavoisier (Morris, 2003). Esto también está indicado por Jean Pierre Poirier y Rebecca Balinski en la biografía de Lavoisier. Según estos autores, la fecha de 1781 está confirmada por varias cartas de Dupont a Marie-Anne. En una carta, escrita el 23 de octubre de 1798, él le recuerda "diecisiete años de intimidad" y en otra carta de abril de 1815, escribió: "el afecto inviolable y tierno que te he prometido durante treinta y cuatro años" (Poirier, 1998). Arthur Donovan, también comentó el *affaire* de la Sra. Lavoisier con Dupont, sosteniendo que podría ser visto como una característica de la clase alta de esa época y que en "el siglo XIX sería glorificado en numerosas óperas románticas" (Donovan, 1993).

Lo cierto es que Marie-Anne, le prestó dinero a Dupont sin el conocimiento de Lavoisier. Cuando a éste lo encerraron en prisión le confiscaron todos los bienes y ella se quedó sin recursos. Su padre también estaba preso y con todos sus bienes embargados. Ella le reclamó a Dupont la devolución, en términos muy duros, pero también él había sido embargado. Esa deuda los distanció durante un tiempo. En 1800, el hijo de Dupont, Élèuthère Irenée (1771 – 1834), viajó a los Estados Unidos, alquiló un terreno en Delaware y comenzó a fabricar pólvora para el ejército norteamericano. Dos años más tarde, constituyó la empresa Dupont de Nemours con la que hizo una gran fortuna y pagó la deuda de su padre.

La muerte de Lavoisier

Con la Revolución de 1789, la situación de la nobleza y la clase alta francesa comenzó a tornarse sumamente peligrosa. Lavoisier era *fermier général* y la institución que presidía era blanco de todo el odio de la población. Entre sus ingresos se contaban los impuestos a la importación y comercialización del tabaco. Hacían inspecciones periódicas para detectar el contrabando o la adulteración del tabaco, que tenía alícuotas distintas según fuera para fumar, para mascar o en polvo para aspirar. También cobraba impuesto a la entrada o salida de París, lo que afectaba a las clases más humildes.

Durante el Reino del Terror, Lavoisier fue echado del Arsenal de la Pólvora y el matrimonio volvió a París. Un año más tarde se fue cerrando el cerco sobre los recaudadores y en noviembre de 1793 el Tribunal Revolucionario ordenó la detención de todos los *fermiers*. Cuando llegó la orden de detención, Lavoisier no estaba en su casa. Pero se presentó voluntariamente en la prisión.

El 8 de mayo de 1794, el Tribunal revolucionario juzgó a 32 *fermiers* bajo los cargos de apropiación de fondos, ganancias excesivas, distribución abusiva de honorarios, demoras injustificadas en los pagos al Tesoro Público y, especialmente, “por incrementar las ganancias agregándole agua al tabaco y haber usado esas ganancias para complotar contra el pueblo de Francia favoreciendo con todos los medios posibles el éxito de los enemigos de Francia” (*Archives Nationales*, W362, N° 785). Veintiocho *fermiers* fueron guillotinado ese mismo día, entre ellos, Lavoisier y su suegro Jacques Paulze.

Dictada la sentencia, Lavoisier pidió unos días para terminar unos experimentos químicos. Fue entonces que el Presidente del Tribunal Revolucionario, Jean Baptiste Coffinhal,³ (1762 – 1794) pronunció la famosa frase:

*“La République n’a pas besoin de savants ni de chimistes; le cours de la justice ne peut être suspendu”*⁴

El día de la ejecución, Joseph Louis Lagrange quien fue uno de los más importantes matemáticos franceses del siglo XVIII dijo acongojado:

*«Il a fallu un instant pour couper sa tête, et un siècle ne suffira pas pour en produire une si bien faite.»*⁵

Marie-Anne fue detenida el 14 de junio de 1794 y estuvo presa durante 65 días. Cuando recuperó la libertad inició las gestiones para recuperar los bienes de Lavoisier y de su padre. Al cabo de unos años consiguió que le restituyeran una parte.

Cuando pudo recuperar parte de los bienes, se dedicó a recolectar y editar todos los trabajos de Lavoisier en 8 volúmenes bajo el título de *Mémoires de la Chemie*.

A principios de 1800 se instaló en París y organizó un Salón donde todos los lunes y viernes se reunían políticos, escritores y científicos, para intercambiar conocimientos. La crónica de estos eventos ocupaba siempre un lugar importante en los diarios parisinos.

El Conde Rumford

Benjamin Thompson, (1753 – 1814) Conde de Rumford, fue un mercenario norteamericano que alquilaba sus servicios a distintos gobiernos europeos para el manejo de tropas y el mantenimiento de arsenales.

En 1798, Thompson observó que en el taladrado de los cañones en Baviera se disipaba mucho calor. En esa época estaba vigente la “teoría del calórico” de Lavoisier según la cual el calor es un fluido muy tenue, prácticamente imponderable que se encuentra presente en todos los cuerpos y que puede transmitirse a otros si la diferencia de temperaturas es adecuada. Intuyendo que un cuerpo no puede contener ni disipar una cantidad infinita de esa “sustancia”, Thompson diseñó un experimento destinado a medir cuantitativamente el “calórico” generado por la fricción continua de una baqueta sobre un bloque de bronce. Encontró que, al cabo de tres horas, la fricción permitía hervir dieciocho libras de agua. En ese experimento (Rumford, 1798) no se quemaba ningún combustible ni había cuerpos calientes que le pudiesen suministrar “calórico” al agua. Por lo tanto, estimó que el calor debería ser una vibración producida e intensificada por la fricción mecánica. Su experimento daba por tierra la teoría del calórico. Un año más tarde, Humphry Davy diseñó otro experimento en el cual, la fricción permitía fundir dos trozos de hielo sin el suministro de “calórico”, corroborando la hipótesis de Thompson.

A principios del siglo XIX, Rumford dirigió la Royal Institution y, en sus frecuentes viajes a París tuvo oportunidad de frecuentar el Salón de Marie-Anne.

3. Su verdadero nombre era Pierre André Coffinhal. Falleció el 6 de agosto de 1794..

4. La República no necesita sabios, ni químicos. El curso de la justicia no puede ser suspendido.

5. Se tomó un instante para cortar su cabeza y un siglo no será suficiente para producir una tan bien hecha.

En 1804 le propuso matrimonio y al año siguiente se casaron. Se dio así la curiosidad de que Marie-Anne estuvo casada con el autor de la teoría del calórico y luego se casó con quien había refutado esa teoría. Ella puso como condición seguir usando el apellido Lavoisier, por lo que pasó a llamarse Marie-Anne Lavoisier Condesa de Rumford. Si bien pasaron casi un año por Europa antes de la boda y tuvieron oportunidad de conocerse, el matrimonio no funcionó, tanto porque Rumford — a diferencia de Lavoisier —, no permitía que ella se involucrara en sus trabajos experimentales como porque le daba indicaciones y críticas a cuestiones domésticas, como las vinculadas a la cocina o al orden en la casa. En 1809 se separaron, aunque quedaron en buenos términos.

Para tener una idea de la concepción de la viudez imperante en el siglo XIX, merece reproducirse un párrafo del libro *La Revolution Chimique, Lavoisier*, de Marcelin Berthelot (Figura 10):

Madame Lavoisier n'eut pas d'enfants. Dépouillée de tout, au moment de la mort sanglante de son mari, elle poursuivit après la chute des terroristes la revision du jugement injuste qui l'avait condamné et obtint la restitution de ses biens. Elle publia après sa mort le Recueil de ses Mémoires. Quelques années après, elle avait rouvert ses salons aux hommes de science. Mais elle ne resta pas fidèle jusqu'au bout à la mémoire du grand homme dont elle avait été l'épouse; elle se remaria en 1805, à l'âge de quarante-sept ans, à cet aventurier de génie qui s'appelait Rumford; mariage malheureux, terminé quatre ans après par une séparation à l'amiable (1809).

Figura 10: Fragmento de *La Revolution Chimique, Lavoisier*, de M. Berthelot, p. 22.

“Después de su muerte ella publicó la colección de sus Memorias. Unos años después, reabrió sus salones para los hombres de ciencia. Ella no permaneció fiel hasta el final a la memoria del gran hombre de quien fue esposa: se volvió a casar en 1805 a la edad de cuarenta y siete años, con ese aventurero de genio llamado Rumford: matrimonio lamentable, que terminó cuatro años más tarde con una separación amistosa (1809)” (Berthelot, 1890).

Aún después de su separación siguió siendo “Marie-Anne Lavoisier Comtesse de Rumford” para la sociedad parisina. Gracias a los consejos de Dupont —cuya propuesta matrimonial ella rechazó en 1804— y otros amigos expertos en cuestiones financieras, vivió sus últimos años en una posición económica holgada que le permitió mantener su “Salón” y realizar gran cantidad de obras filantrópicas. Resulta curioso que, estando en contacto con científicos e intelectuales, no haya escrito nada referido a su colaboración con Lavoisier. M. Guizot publicó un interesante libro con detalles de la vida social de la Condesa de Rumford durante el siglo XIX (Guizot, 1841).

Quizás, pensando en reencontrarse con Lavoisier, falleció en su casa de París el 10 de febrero de 1836.

Consideraciones finales

En estas notas, hemos hecho una breve reseña de la vida de Marie-Anne Pierrette Paulze, esposa de uno de los más brillantes químicos del siglo XVIII, en la que tratamos de poner en evidencia el papel que ella cumplió en la producción científica de Antoine Laurent Lavoisier como colaboradora, ayudante de laboratorio, secretaria, dibujante y traductora, sin la cual, la obra del científico no habría podido llevarse a cabo. El carácter de Lavoisier y las convenciones de la época —según las cuales el rol de la mujer era el hogar y no la investigación científica— confluyeron para que su nombre no figure en ninguno de los trabajos en los que colaboró. Ella sólo se rebeló al “agregar algunas notas poco importantes” a su traducción del libro de Kirwan y lograr que su nombre figure como traductora en la segunda edición de ese libro. A pesar de organizar, durante más de treinta años, reuniones científicas en su “Salón” nunca publicó nada acerca de sus trabajos con Lavoisier. Quizás tuvo en cuenta la concepción imperante en el siglo XIX acerca del rol de la mujer, del cual la nota de Berthelot en su libro de 1890 sirve como botón de muestra. En los últimos años varios autores se encargaron de investigar y analizar la importancia que tuvo Marie-Anne en la producción científica de A. L. Lavoisier.

Referencias bibliográficas

Berthelot, M. (1890) : *La Revolution Chimique, Lavoisier*, Félix Alcan, Éditeur. Paris, p. 22

Donovan, A., (1993) : *Antoine Lavoisier: science, administration, and revolution*, Cambridge University Press. Cambridge ; p. 301.

Guizot, M. (1841): *Madame de Rumford (1752 – 1836)*; Imprimerie de Crapelet. Paris.

Kirwan, R. (1788): *Essai sur le phlogistique, et sur la constitution des acides. Traduit de l'Anglois de M. Kirwan. Avec des notes de M.M. de Morveau, Lavoisier, de la Place, Monge, Berthollet & de Fourcroy*. Paris.

Morris, R., (2003): *The Last Sorcerers. The path from Alchemy to the Periodic Table*, Joseph Henry Press, Washington D.C.; p.124.

Poirier, J.P. – Balinski, R. (1998): *Lavoisier, chemist, biologist, economist*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia; p. 126.

Priestley, J.; (1800): *The Doctrine of Phlogiston Established*, p. 88.

Thompson, B. Count Rumford (1798) “Heat is a Form of Motion: An Experiment in Boring Cannon”. *Philosophical Transactions vol. 88*.

Young, A (1792): *Travels in France during the years 1787, 1788 and 1789*. George Bell & sons. London.

14

LA "QUÍMICA" EN EL SIGLO XXI...

Dra. Norma Sbarbati Nudelman

Investigador Superior CONICET, miembro Titular Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Email nudelman@qo.fcen.uba.ar

El título que elegí para este capítulo intenta un juego de palabras....No voy a describir lo que pienso que serán los logros y descubrimientos más significativos de la Química del siglo XXI... sino intentar presentar el panorama de la química (mujer) en esta nueva centuria.

Si bien en la Argentina no podemos hablar de discriminación por género, de hecho ya desde que era estudiante en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, el porcentaje de estudiantes mujeres y el de varones era muy similar, y esto se mantiene en la actualidad. Pero no es así en otros países de Latinoamérica, ni tampoco en países desarrollados del hemisferio norte. Por esta razón, en la actualidad existen numerosos movimientos para mejorar esta situación y muchas publicaciones recientes se dedican a estimular a las jóvenes para que sigan la carrera de Química y a aumentar la "visibilidad" de las químicas. *"La historia y la construcción de la ciencia moderna se ha elaborado sobre la base del olvido, la infravaloración y la discriminación de un gran número de mujeres científicas"*.¹

Modificar la imagen del científico es esencial para estimular a las jóvenes. Usualmente, al científico se lo dibuja varón, poco agraciado, aislado de la sociedad y con expresiones casi de "loco" en su rostro. Cuando los



libros de ciencia, tanto para la Universidad como para el nivel secundario, y aún primario, muestran fotos de científicos sobresalientes, éstos en la gran mayoría son varones, a pesar de las grandes contribuciones de la mujer a la ciencia. Hagamos un pequeño ejercicio preguntando (y preguntándonos...) nombres de cinco mujeres que se hayan destacado en ciencia. Inmediatamente surge el nombre de Mme. Curie...y luego... (silencio de radio...). Más adelante veremos cuánta contribución femenina existe, pero es poco conocida. Por eso es importante incrementar la "visibilidad" de la mujer científica en la sociedad.

El Consejo Inter-Académico (IAC) compuesto por los presidentes de las más prestigiosas academias de ciencia del mundo, ha reconocido recientemente la no-inclusión equitativa de las mujeres científicas en los puestos de liderazgo, y declarado que sin el apoyo expreso del sistema científico-tecnológico, las mujeres solo pueden progresar hasta un punto. Las academias pueden desempeñar un rol importante, ya que representan la élite de científicos e ingenieros; además, muchos de sus miembros son líderes en universidades y otros institutos de investigación, y en muchos países son consejeros de confianza del gobierno. Con ese espíritu, el IAC estableció en el 2005 un panel integrado por hombres y mujeres de ciencia de cuatro continentes con el mandato de proponer qué pueden hacer las academias de ciencia para remediar la generalizada y persistente poca representación de las mujeres en Ciencia y Técnica (C&T). El Panel propuso de implementación inmediata que cada academia designe un comité- preferentemente equitativo en cuanto al género- para ser responsable de los asuntos de género y que se amplíen las nominaciones de mujeres científicas e ingenieras. Los resultados completos fueron publicados en un extenso documento del IAC.²

En cumplimiento de ese específico mandato para las Academias de Ciencia, IANAS (Inter-American Network of Academies of Science) estableció en junio del 2010 el Programa "Women for Science". IANAS nuclea a 16 academias de ciencia de los principales países del continente americano, quien esto escribe ha sido designada Punto Focal por Argentina y por este medio invito a todas las interesada/os a formar parte del capítulo argentino.

1. T. Claramunt <http://endrino.pntic.mec.es/hotp0054/teresaclaramunt/index.htm>
2. "Women for Science" Inter Academic Council report, 2006

La química y los Premios Nobel

Habida cuenta que la UNESCO y la IUPAC (Internacional Union of Pure and Applied Chemistry) ha designado al Año 2011, el Año Internacional de la Química, precisamente en homenaje a una química: la Dra. Mme. Marie Curie, resulta interesante examinar brevemente cómo ha sido la evolución de los aportes de la mujer en esta disciplina y, fundamentalmente, también cómo ha evolucionado *la visión de la sociedad* en este aspecto. Para resumirla brevemente, debemos abarcar no solamente la Química, dado que en los inicios de las ciencias experimentales no existía la división en disciplinas.



En Alejandría vivieron las dos mujeres más conocidas del mundo antiguo.³ Miriam la Judía (año 100) e Hipatia (370-415).⁴ Miriam⁵, hermana de Moisés, junto con Cleopatra de Copta son las primeras mujeres de las que guarda registro la historia de la alquimia. Por su lado, Hipatia es todo un símbolo del conoci-

miento y de la ciencia: había recibido una excelente educación que completó en Atenas e Italia, y a su regreso a Alejandría fue profesora en la academia neoplatónica. Experta en física, química, medicina, filosofía, matemáticas y astronomía, diseñó el astrolabio, un hidrómetro, etc. Mujer de extraordinaria belleza, nunca se casó y por no renegar de sus creencias paganas sufrió un terrible martirio, muriendo apedreada

En los siglos siguientes hubo muchas más mujeres científicas que también sufrieron dificultades, a veces tildadas de hechiceras, brujas, y hasta de "armas del demonio", como consta en un decreto del claustro de la Universidad de Bolonia de 1377 que prohibía la incorporación de mujeres. Esta marginación de las universidades se mantuvo por muchos siglos, y recién a fines del siglo XIX en París, Gran Bretaña y Estados Unidos comenzaron algunas Universidades a abrir sus doctorados, Alemania lo hizo en 1908 (Rayner-Canham, 1998). La mujer interesada en ciencias debía buscar temas especiales donde desarrollarse, y como consecuencia de los trabajos de investigación realizados por ellas, aparecen subdisciplinas como cristalografía, nutrición, química agrícola, bioquímica, cromatografía, en las que fueron (y son) muy activas.

En los laboratorios de muchos premios Nobel otorgados a hombres en el siglo XX, había eficaces colaboradoras: Agnes Pockels (1862-1935), por ejemplo, fue fundadora de la química de superficies; sus trabajos fueron reconocidos por Rayleigh y Langmuir. Éste último científico recibió el premio Nobel en 1932 por su trabajo en monocapas, una mejora y desarrollo del trabajo pionero de Pockels. Maude Menten (1879-1960) que estudió en la Universidad de Toronto, es co-responsable de la famosa ecuación de Michaelis-Menten, sobre la actividad cinética de las enzimas. Gertrude B. Elion (1918-1999), química orgánica y farmacóloga, recibió el premio Nobel de Medicina en 1988 por sus trabajos en quimioterapia (tratamiento de la leucemia, inmunosupresores como la azatioprina para trasplante de órganos) y metabolismos de los fármacos (tratamiento del ácido úrico)⁶.

Lise Meitner fue propuesta en 1924 y 1925 para serle concedido el premio Nobel en Física y en 1936 para el de Química, por el descubrimiento del elemento químico protactinio. "La eterna colaboradora de Otto Hahn" tal como ella tristemente se quejaba, fue reconocida con el premio Max Planck, con el premio O. Hahn de físico-química, y con el premio Enrico Fermi, pero el premio Nobel de Química se le concedió a O. Hahn, en 1944. Hahn trabajaba en el Instituto de Química Emil Fischer, y éste sentía una profunda aversión por las mujeres, por lo que rechazó la incorporación de Lise al laboratorio. Posteriormente, Fischer aceptó una "solución de compromiso": a Lise se le asignó una pequeña habitación en el sótano, debía entrar al instituto por una puerta diferente a la de sus compañeros varones, no debía entrar en los laboratorios en los que ellos trabajaban y no podía utilizar el baño. En 1994, la IUPAC aprobó el nombre de un nuevo elemento químico recién descubierto: el elemento 109, se llamó Meitnerio, en honor de Lise Meitner.⁷

La cristalografía nace en la segunda década del siglo XX, y por ser un área relativamente joven, la incorporación de la mujer nace prácticamente en igualdad de condiciones que el hombre, y libre de prejuicios tradicionales. Muy conocida es la historia de Rosalind Franklin (1920-1958), una de las más y mejor conocidas entre las mujeres científicas, fundamentalmente desde que fue víctima de una gran injusticia y murió joven.

La historia de Dorothy Crowfoot Hodgkin⁸ (1910-1994), la segunda mujer que ha logrado el premio Nobel de Química, es quizás menos conocida. Trabajó en la dilucidación de estructuras de medicamentos muy importantes, como la penicilina, vitamina B₁₂, pepsina, insulina, lisozima, las escogió por ser científicamente interesantes y, *a priori*, resolubles con los métodos de

3. *Mujeres y Ciencia: techo de cristal*" ECCOS, 2008, Brasil

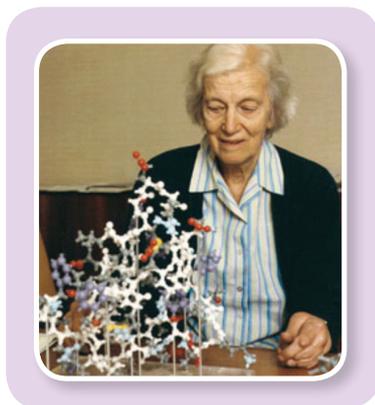
4. www.primeroscristianos.com

5. Miriam o María, fue la inventora de la técnica de calentar en "Baño de María", que consiste en calentar el material deseado dentro de un recipiente que está rodeado por un baño de agua a ebullición. De esta forma, el calentamiento es parejo y se mantiene constante a 100°C.

6. Ver capítulo de Coto, C, *La formación en química permite el acceso a múltiples disciplinas especializadas. Una esencia que va cambiando a la civilización*, en este libro *Química y Civilización*.

7. Ver capítulo de Pliego, O, *Marja Sklodowska y Lise Meitner: sus vicisitudes y logros en la Química Nuclear*, en este libro *Química y Civilización*.

8. <http://perso.wanadoo.es/oslema/nobel/quimica.htm>



que disponía. Fue su entusiasta búsqueda de soluciones bellas y exactas a problemas difíciles (tardó 35 años en resolver la estructura de la insulina), lo que ayudó a Dorothy a superar las dificultades que conllevan el trabajo experimental, el matrimonio, la maternidad e incluso el dolor

físico (padecía artritis reumatoide desde los 28 años), para convertirse en una de las mayores científicas del siglo XX.

En la historia del Premio Nobel las científicas han sido poco reconocidas: de las 29 mujeres galardonadas, solamente 10 lo son de ciencia. De los once premios Nobel concedidos (Marie Curie lo recibió dos veces) solo tres fueron exclusivos para una mujer: (además de Marie Curie y Dorothy Crowfoot Hodgkin, Barbara McClintock recibió el Nobel en Medicina, en 1983).

La mujer en la ciencia en el contexto latinoamericano

Es interesante analizar sintéticamente los resultados de un Proyecto Iberoamericano de Ciencia y Tecnología, referido al tema del género.⁹ El documento expresa que: *"La distribución del trabajo femenino en las diversas disciplinas científicas muestra claros sesgos: menos presencia femenina en la investigación en ciencias exactas, particularmente las ciencias físicas y matemáticas; aún menor participación en la ingeniería y otras ciencias tecnológicas. En agronomía, mientras es baja, en algunos países se observan altas participaciones. Las ciencias sociales, las humanidades, las ciencias médicas y ciencias naturales como la química y la biología, tienen en general altas preferencias femeninas. Estas tendencias se corresponden con lo encontrado en los indicadores sobre la mujer en los estudios universitarios e indican la existencia de segmentaciones horizontales en las disciplinas, hay claras definiciones de campos del conocimiento masculinizados y feminizados."*

¿Cómo se relaciona esta presencia femenina con el contexto socioeconómico de inserción? *"Al comparar la participación de la mujer en el mundo del trabajo científico, surge que en tres países que registran los mayores porcentajes de participación femenina entre el total de investigadores (Argentina, Paraguay y Venezuela), la mujer también tiene una mayor presencia relativa en el mundo laboral de la ciencia con respecto al total del mercado de trabajo."* Es interesante el cuadro que muestra los datos de porcentaje de PBI

destinado a ciencia de los países latinoamericanos más significativos (incluye también a España) discriminado por género (Figura 1).

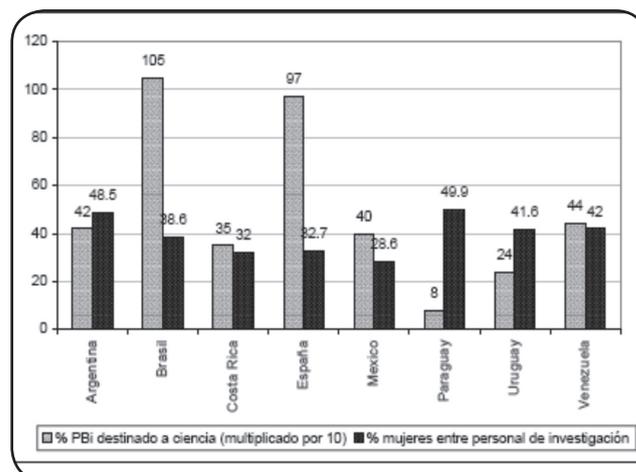


Figura 1: Distribución del PBI destinado a ciencia en varios países, discriminado por género

Es también dable analizar cómo se discrimina por género las cifras en ciencia y cómo se presenta la participación femenina, según los distintos niveles jerárquicos.¹⁰ Cuando se discuten estos temas es usual hablar del efecto "tijeras", i.e. la forma de figura que resulta cuando se grafican los porcentajes hombre-mujer desde los niveles de estudiantes hasta los cargos más altos. En Argentina, este efecto se observa recién al pasar a la categoría de Investigador Superior (Figura 2). Sin embargo, en todos los otros países, el cruce se da ya al pasar a la primera categoría de Investigador y los dos brazos de la "tijera" se abren mucho desde el punto de cruce, indicando altos porcentajes de varones en los niveles más altos.

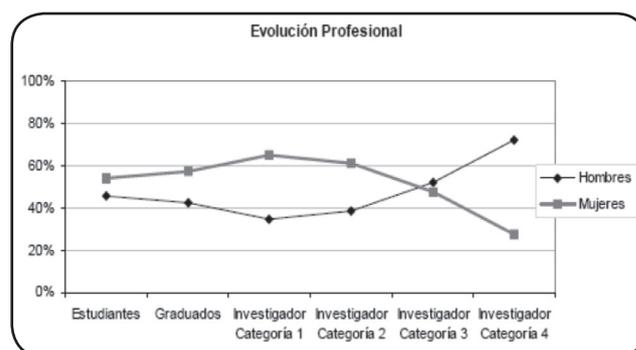


Figura 2: Distribución de población en ciencia en Argentina, discriminada por categoría y género.¹

Biografías y producción científica

¿Está asociada la mayor o menor productividad científica con el sexo de los investigadores o con la calificación profesional? ¿Son más productivos los jóvenes? ¿Cómo repercute el entorno familiar en la producción individual? En dirección a identificar los facto-

9. OEIA (Organización de Estados Iberoamericanos) "Proyecto Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Género" 2004.

10. Una publicación más reciente, describe los diversos aportes de mujeres latinoamericanas en las Ciencias Exactas y de la Vida. Está lejos de los alcances de este artículo describir, aún someramente sus múltiples aportes, y la simple enumeración de los mismos, haría poca justicia a la excelencia y diversidad de las ciencias abordadas, pero recomendamos fuertemente su consulta o lectura completa (Montes y otros, 2008).

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

res que pueden incidir en la producción de hombres y mujeres, en el Proyecto Género de la OIEA ⁶ se trabajó sobre la base de una muestra reducida (290 casos) de investigadores y sus publicaciones, principalmente provenientes de las ciencias llamadas "duras" -donde se concentran los mayores procesos de exclusión de las mujeres en las actividades científicas. (Tabla 1)

Edad	Hombre			Mujer		
	Total Encues	Con Public	% Con Pub.	Total Encues	Con Public.	% con Public
hasta 39	46	29	63,04	86	47	54,65
40 - 49	26	19	73,08	56	38	67,86
50 - 59	18	12	66,67	35	27	77,14
60 o más	8	4	50,00	15	10	66,67
Total	98	64	65,31	192	122	63,54

Tabla 1. Distribución de producción en revistas internacionales por edad

Al analizar la producción de los investigadores en revistas internacionales y la relación de estos valores con la edad (Tabla 1) se puede observar que son notorias las diferencias porcentuales según género, en las diferentes franjas etarias.

En los últimos años, se han realizado numerosos estudios tendientes a examinar cómo incide el hecho de la maternidad en la producción científica femenina. Las conclusiones coinciden globalmente con los datos de la Tabla 1: en franjas etarias donde puede darse la presencia de hijos menores, la producción femenina es relativamente menor. A medida que aumenta la edad, también lo hace la producción femenina, llegando a revertirse el orden, en algunos casos. En base a estos considerandos algunos países conceden 3-4 años más de gracia a las mujeres en el rango 35-45, tanto para su entrada al sistema científico, como para su promoción a niveles más altos.

En la Argentina no son tan notables estas diferencias, muy probablemente porque el sistema socio-económico (al menos desde la mitad del siglo pasado) ha permitido a la mujer organizar su vida laboral y familiar de tal manera que, con gran esfuerzo y dedicación por su parte, puede atender las necesidades de su núcleo familiar a medida que el mismo va creciendo y desarrollándose, conjuntamente con las exigencias de su desarrollo profesional. En mi opinión, creo que ésta es la mejor manera de estimular a las jóvenes, para emprender sus estudios en carreras de ciencias exactas y tecnológicas. Apoyando desde la sociedad toda, su continuidad en el campo profesional, cuando comien-

za a formar una familia, aceptando exigencias que su doble función como científica y madre le exigen y favoreciendo sistemas para el cuidado seguro de bebés y niños, que permitan el alejamiento temporario de la madre profesional en determinados horarios.

Es relativamente reciente la incorporación de la mujer en todos los aspectos de la vida, tanto a nivel público como legislativo, etc., no solamente en el ámbito académico. En este siglo hay ya presidentas, rectoras universitarias, ministras, la sociedad está acompañando lentamente esta mayor ingerencia femenina, se van cubriendo las vacantes con más mujeres, se las respeta en su formación, en su quehacer y en su actividad profesional. Eso es algo que se lo ha ganado la mujer, con ayuda de algunos hombres, que han sabido reconocer sus aptitudes y merecimientos científicos...

En algunos lugares hay también pautas culturales que lentamente se van modificando, no se puede separar lo académico de lo cultural o de lo social. En Argentina, muchas mujeres han llegado a situaciones de mucho prestigio, con esfuerzos personales, casi siempre acompañadas por el apoyo de sus esposos y familias.

En los países desarrollados del hemisferio norte, hace tiempo que se viene reconociendo la necesidad de estimular a las adolescentes para que sigan carreras de ciencias, especialmente en las llamadas STEM (Science, Technology, Engineering & Mathematics), donde solo un 7-10% son mujeres. Este problema (y la preocupación por revertirlo) se reconocía ya desde la segunda mitad del siglo XX.¹¹ Esta situación, si bien ha mejorado levemente sigue siendo bastante despareja... Los múltiples esfuerzos que se hacen para estimular a las jóvenes (por ej., entre otras movidas, se ha establecido recientemente una muestra itinerante con más de sesenta paneles mostrando la contribución femenina en muchos aportes científicos y tecnológicos de la actualidad)¹² deberían ir acompañados por un mayor reconocimiento y una mayor visibilidad de las científicas en el sistema CyT y en los puestos de liderazgo.

Hombres y mujeres somos diferentes y es importante que ambas capacidades y habilidades se reconozcan y complementen. Con este espíritu quiero destacar que aunque solo los méritos científicos de Dorothy

CARRERA	Asistente		Asociado		Independiente		Principal		Superior		Total
Química	40	47	77	62	51	44	16	43	3	12	395

*Para cada categoría se consigna primero el porcentaje correspondiente a mujeres, y luego el correspondiente a hombres.

Tabla 2. CONICET Carrera del Investigador. 1 Distribución por Género y Categoría Datos 2011*

11. Fuente: CONICET Carrera del Investigador Científico y Tecnológico, 2011.

12. Recuerdo que cuando fui a hacer mi Post-doctorado al MIT (Inst. Tecnológico de Massachussets, USA), en el laboratorio trabajábamos 20 investigadores, solo 2 éramos mujeres. Allí, y también cuando fui de "Visiting professor" a la Univ. of East Anglia (U.K.) supe que nunca invitaban a una mujer a dar Conferencias Plenarias en Congresos Científicos (!)...

13. Her Lab in your Life: Women in Chemistry. Chemical Heritage Foundation (USA) 2011.

Crowfoot justifican su fama, ella como mujer trabajó activamente por la paz y promocionó colaboraciones científicas entre los diferentes polos geográficos, con la idea de lograr un mayor y mejor conocimiento y comprensión internacional. Desde el punto de vista de las reivindicaciones sociales para las mujeres, cabe mencionar que fue la primera mujer que recibió del Somerville College donde trabajaba, un salario de 100 libras por trimestre, durante su ausencia por maternidad a raíz del nacimiento de su primer hijo en 1939. La propia universidad de Oxford no estableció una política de maternidad hasta 1971, que la ley británica no aprobó hasta 1975. Si, hombres y mujeres somos diferentes y para el desarrollo sustentable de la sociedad el camino en CyT, como en otros aspectos de la vida, hay que hacerlo en conjunto, no separado. Las primeras nociones de ciencia que recibe un niño provienen de su madre: el cuidado personal, el respeto por el otro, la solidaridad, el amor por la diversidad, el trabajo en equipo, la protección de la salud, las implicancias de la ciencia en la vida doméstica, los valores estéticos y morales: bondad, belleza, justicia, verdad.

Es, pues, muy importante la contribución de la mujer en la construcción social sobre la imagen de la ciencia y sobre los aportes que ésta provee para la mejora de la calidad de vida. Por lo tanto, debemos considerar en este nuevo siglo, el rol de la mujer frente a la ciencia, desde su condición de formadora de conciencia en los niños, por su participación como ciudadana responsable, así como por su potente posibilidad de ser agente de investigación científica y de asumir liderazgos en C&T.

Otras referencias bibliográficas

Montes, L. M.; Martínez, Cazares, B. X.;
Perez-Armendariz, E. M. (2008) "Latinoamericanas en las Ciencias Exactas y de la Vida. Vol. 1 y 2, UNAM.

Rayner-Canham, M; Rayner-Canham, G (1998) *Women in Chemistry: Their Changing Roles from Alchemical Times to the Mid-Twentieth Century*. Chemical Heritage Society and American Chemical Society, Washington D.C.

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

15

WATSON Y SU DESCUBRIMIENTO

Dra. Laura Matkovic

Departamento de Química Biológica Laboratorio de Esteroides QB 67, 4to.
Piso Pab 2 Ciudad Universitaria. Intendente Guiraldes 2160 (1428) Ciudad
Universitaria. CABA Argentina
e-mail: lmat@qb.fcen.uba.ar

Desde siempre me han interesado las novelas policiales, poseía una avidez desmesurada por la lectura que con los años se fue complementando con las series televisivas. Es cierto que cuando uno más profundiza en el tema, menos poder de asombro tiene frente al descubrimiento del verdadero asesino. Hace unos días me senté plácidamente a ver uno de estos episodios esperando encontrar alguna resolución sorprendente de un nuevo caso policial. Una vez descubierto el asesinado, la brigada especial de investigaciones de la policía de alguna ciudad de EE.UU., haciendo alarde de una gran cantidad de información científica, y luego de interrogar a muchos sospechosos y obtener el ADN de cada uno de ellos, llegó finalmente a la conclusión de que el asesino era "el mayordomo". En fin, ya en las novelas de Agatha Christie lo hubiesen hallado, sin el tan famoso ADN. Me levanté y decidí no ver más novelas policiales por un tiempo. Cambié entonces mi diversión por series de televisión relacionadas con emergencias médicas, doctores que resuelven casos de escasa incidencia en la población, mediante la utilización de infinidad de información médica. El tema ahora era un pequeño que necesitaba un donante por una enfermedad rara que tenía y debía ser, sí o sí, un familiar directo. Para ello contaban con la presencia del padre y de la madre. Pero al realizar los exámenes clínicos correspondientes (entre ellos ADN) resultó que ellos no eran los padres biológicos. Preocupada por la tremenda noticia para el pequeño, sumado al impedimento del trasplante, apagué el televisor. Pero otra vez el ADN se mostraba en escena y parecería el verdadero actor principal en ambos casos. Fue entonces que me propuse investigar qué es, cómo se descubrió y el por qué de su importancia.

La primera consigna de mi investigación fue fácil, averiguar qué es el ADN. Esta sigla se utiliza para definir una molécula biológica: el ácido desoxiribonucleico. Bien, esto todavía no me aclara nada. Ahondo un poco más y encuentro que es el responsable de portar, codificar y transmitir la información genética que lleva una célula, que es una molécula clave para entender las leyes experimentales de la herencia en los seres vivos.¹ Sin el ADN nada vivo podría existir.²

Parecía entonces importante buscar como se logró descubrir esta molécula y como se llegó a determinar su estructura.

Se conocía, por medio de varios experimentos, que la información genética se encontraba en el interior del núcleo de las células, en una serie de estructuras denominadas cromosomas, pero nadie sabía cómo estaba "escrito" ese libro de la vida.

El bioquímico suizo Friedrich Miescher (Basilea, 1844-Davos, 1895) descubrió, en 1870, los ácidos nucleicos en los núcleos celulares, y consideró que estos estaban involucrados en los fenómenos de transmisión de la herencia. Fue el organizador del **Primer Congreso Internacional de Fisiología**, que se llevó a cabo en Basilea en 1889. Basó su investigación en células obtenidas a partir del pus de los vendajes desechados en las operaciones quirúrgicas. Estas células eran, en su mayoría, leucocitos (glóbulos blancos). Con paciencia infinita, propia de la época, -y sin televisión que lo distrajera- se dedicó a aislar esas células sin dañarlas. Probó lavar y filtrar los componentes celulares, obtuvo así un sedimento bastante puro que le permitió seguir con el análisis. La paciencia era una de las grandes virtudes que poseía el joven Friedrich. Probó muchas fórmulas diferentes para separar los núcleos: con alcohol eliminó las grasas, con una sustancia extraída del estómago de un cerdo "digirió" las proteínas, y logró como resultado un residuo oscuro, compuesto sólo por los núcleos de las células, los cuales purificó. De esta manera llegó a obtener una sustancia nueva que nunca nadie había observado antes. Decidió darle el nombre de nucleína. Miescher nunca imaginó que acababa de encontrar la molécula más importante de la historia: el ADN.

Esta sustancia se encontraba presente en la formación de los órganos, en el funcionamiento celular, en la transmisión de enfermedades, en... todas partes de los seres vivos. Quedó claro que para cualquier proceso en el que la vida fuera protagonista, allí se encontraba el ADN, portando el código genético. Solo restaba leer ese código, y conociendo su estructura, se lograría conocer el secreto de la vida.

1. En 1865 Mendel concluyó que mediante el cruzamiento de razas que difieren al menos en dos caracteres, pueden crearse nuevas razas estables (combinaciones nuevas homocigóticas). Los seres vivos heredan sus características a partir genes, que se hallan presentes en las células germinales. Pese a que remitió sus trabajos con guisantes a la máxima autoridad de su época en temas de biología, W. von Nägeli, sus investigaciones no fueron reconocidas y fue ignorado durante décadas. Las leyes de la herencia fueron redescubiertas por de H. de Vries, C. E. Correns y E. Tschernack von Seysenegg, quienes, con más de treinta años de retraso, y después de haber revisado la mayor parte de la literatura existente sobre el particular, atribuyeron a Johan G. Mendel la prioridad del descubrimiento

2. Existen dos clases principales de ácidos nucleicos, el desoxirribonucleico (ADN) y el ribonucleico (ARN).

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

En abril de 1953, el mundo conoció uno de los descubrimientos científicos más impactantes de la historia. El artículo que anunció la resolución de la estructura del enigmático ADN abrió las puertas a un nuevo mundo, habían develado el secreto de la vida. Los protagonistas de esta historia recibieron el premio Nobel de Medicina en 1962.

Aquella histórica publicación, firmada por James Watson y Francis Crick, exponía la estructura de la molécula química encargada de transmitir la información genética con la que todos estamos contruidos. A partir de ese momento, el enigma sobre el desarrollo y funcionamiento de los seres vivos pasó de manos divinas al control de los imprevisibles humanos. Hacía muchos años que se sabía de la importancia del ADN en la transmisión de la herencia biológica, pero, a pesar de los esfuerzos de muchos científicos, nadie había logrado ningún avance importante en el conocimiento de tan vital molécula. El histórico artículo de abril de 1953 abrió el mundo de la fama a los descubridores y se constituyó en su pase a la inmortalidad.

Antes del hallazgo, ya se sabía que el ADN era el portador de la información genética, aunque no se tenía ni la más remota idea de cómo se transmitía esta información de una célula a sus hijas y mucho menos, cómo a partir de los genes, se podría ordenar la fabricación de las proteínas.

La historia de los sucesos que llevaron a descubrir la estructura de la "molécula de la vida" es poco conocida, y sin embargo muy interesante, con intrigas, robos...o al menos, omisiones de reconocimientos de autorías (o paternidad) de descubrimientos, descalificaciones y egoísmo.

En 1962, Francis Crick, James Watson y Maurice Wilkins, colega de Rosalind Franklin, recibieron el premio Nobel de Medicina y Fisiología por el descubrimiento de la estructura del ADN. Para ese entonces la Doctora Rosalind Franklin había fallecido y a ninguno se le ocurrió mencionarla (salvo un pequeño agradecimiento por su apoyo e ideas, mencionado en el artículo de *Nature* donde fue publicado). El galardón no se entrega con carácter póstumo y no se comparte entre más de tres personas. ¿Qué hubiera pasado si la científica hubiera estado aún viva en el momento del premio?

La realidad es que Watson y Crick armaron el rompecabezas del ADN, lo cual no deja de tener mérito, pero se basaron en la foto tomada por Rosalind Franklin. Es una vergüenza que Franklin no recibiera el crédito que le correspondía, siendo la experta en cristalografía y la que podía interpretar mejor los resultados obtenidos. Su aporte fue esencial en este descubrimiento y lamentablemente poco recordado.

ADN CalTech-EEUU

Veamos ahora cómo se fue pergeñando tan importante descubrimiento, teniendo en cuenta la historia

y sus protagonistas.

Podríamos empezar entonces con: había una vez... un científico llamado Linus C. Pauling, hijo mayor de un droguero de Portland, Oregón, quien había nacido en febrero de 1902. Tras una carrera brillante se graduó en 1922 en Ingeniería Química y se doctoró tres años más tarde, siempre sumamente interesado en las estructuras de las moléculas en el espacio. Desde 1919 su interés en este tema se inspiraba en trabajos publicados por Irving Langmuir sobre la aplicación de la Teoría de Lewis, acerca de la distribución de los pares de electrones entre átomos de muchas sustancias.

Por entonces trabajaba en el Instituto Tecnológico de California (más conocido como CalTech) y durante 1927 fue nombrado profesor.

Su tesis doctoral se basó en el estudio de estructuras cristalinas a través de la cristalografía de rayos X, un nuevo procedimiento para la época, descubierto en 1912 por el físico alemán Max von Laue. Esta técnica de difracción de rayos X le permitió analizar el empaquetamiento de las moléculas en los cristales.

En 1931, Pauling revolucionó la teoría atómica con su análisis de los enlaces químicos, aquellos que participan en la unión de los átomos para formar moléculas. Este análisis, contenido en un artículo publicado en el *Journal of the American Chemical Society*, introdujo el concepto de tratar a los electrones como formas de onda en lugar de partículas. Explicaba el enlace químico uniendo parejas de electrones de átomos individuales. En 1939 resumió sus ideas en un libro titulado *La naturaleza del enlace químico*, el texto de química que se convirtió en el libro de cabecera de todo químico del siglo XX. En 1954 le fue otorgado el Premio Nobel de Química. En 1962 fue la segunda persona, tras Marie Curie, en ganar dos premios Nobel, cuando recibió el de la Paz por su lucha en pro del desarme nuclear.

Conociendo entonces la naturaleza del enlace químico Linus Pauling y sus colegas, en la década de 1940, centraron su atención en las grandes moléculas biológicas, como por ejemplo, las proteínas. Las proteínas, tanto en plantas como en animales, proporcionan la estructura de células y tejidos, promueven los procesos químicos, transportan y almacenan pequeñas moléculas. Los aminoácidos son la materia prima con la que están compuestas estas macromoléculas. Las proteínas pueden tener funciones estructurales --como por ejemplo son fundamentales en las estructuras de las uñas y los músculos--, o ser catalizadores de procesos biológicos --por ejemplo, la enzima amilasa salival convierte el almidón en moléculas de hidratos de carbono más pequeños--, o ser transportadores --como los receptores de membrana, o proteínas de conjugación de metabolitos en sangre--. En general, las proteínas son moléculas enormes y complejas, que llegan a pesar miles de veces más que una molécula de agua. Los animales (heterótrofos) tienen que digerir y descomponer las proteínas que ingieren plantas y/u otros animales, para poder reutilizar los aminoácidos

que éstas contienen y formar los compuestos necesarios para su propia vida.

En mayo de 1951, el equipo de CalTech se hizo conocido al publicar siete trabajos describiendo la estructura de las proteínas en la seda, las plumas, el pelo y otros materiales orgánicos. Pero en la carrera por el premio más fascinante -la decodificación de la estructura del ADN- sería derrotado por un grupo de investigadores de las universidades inglesas de Londres y Cambridge.

El Cavendish, Cambridge-Inglaterra

James Dewey (Jim) Watson nació en Chicago, en 1928, era considerado un niño prodigio. Entró en la *Universidad de Chicago* a los quince años y se graduó a los diecinueve (en 1947) de Licenciado en Zoología; tres años después obtuvo un doctorado en la Universidad de Indiana, donde estudió las mutaciones inducidas por los rayos X en los bacteriófagos y posteriormente en Nueva York realizó un proyecto de investigación sobre los efectos de éstos sobre los fagocitos. En mayo de 1950, a los 22 años, Watson completó su doctorado y partió hacia Europa.

Watson fue a realizar sus investigaciones de posdoctorado a Copenhague con una beca otorgada para trabajar junto al bioquímico Herman Kalckar.

Recién en otoño de 1951 James Watson llegó al Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge, en Inglaterra. Este no era cualquier laboratorio, se erige posiblemente como la institución científica más prestigiosa del mundo. Desde su fundación, a finales del siglo XIX, el laboratorio ha sido responsable de algunos de los avances más innovadores y trascendentales de todos los tiempos: el descubrimiento del electrón (1897), el descubrimiento de los isótopos de los elementos ligeros de la tabla periódica (1919), la división del átomo (1919). Watson no lo había elegido al azar. Por ese entonces, el laboratorio se dedicaba a trabajar con estructuras tridimensionales de proteínas. El director del laboratorio era Max Perutz químico investigador de origen austriaco, quien trabajaba en difracción de rayos X en cristales de hemoglobina, desde hacía varios años. Lo ayudaba en la parte teórica el premio Nobel Sir Lawrence Bragg, Director del Cavendish, experto en cristalografía.

Francis Crick era el nexo entre ambos. Exponía sus teorías con gran dramatismo. Solía hablar en tono fuerte y sus risas se oían en todo el laboratorio. Esto alteraba a Sir Lawrence (de pura cepa inglesa) quien se trasladaba a otro laboratorio más tranquilo para no escucharlo. Crick había nacido en Northampton, Inglaterra, en 1916. Estudió física en la Universidad de Londres, y trabajó con radares durante la Segunda Guerra Mundial. En 1946 asistió a una conferencia de Linus Pauling, que le abrió los ojos a las posibilidades de un descubrimiento original en biología molecular. Esto lo llevó a realizar investigaciones de biología en Cambridge; en 1949, cuando tenía treinta y tres años,

se sumó al Consejo de Investigaciones Médicas del Laboratorio Cavendish en la universidad.

Crick se había apartado de la física y acercado a la biología después de leer el libro del físico austriaco Edwin Schrödinger, *¿Qué es la vida?* (1944), que sugería que los genes eran los componentes claves de las células vivas. La idea generalmente aceptada en esos años era que los genes estaban constituidos por moléculas proteínicas. Pero casi en esa misma época, O.T. Avery, trabajando en el *Rockefeller Institute* de Nueva York, demostraba que los caracteres hereditarios podían ser transmitidos de una célula bacteriana a otra por moléculas purificadas de ADN. Crick pensaba entonces que las proteínas no eran el camino a seguir para describir el verdadero secreto de la vida, sino que el que suministraría la información, sería el ADN. ¿Porqué entonces no investigar sobre este tema? Crick llevaba poco tiempo trabajando en proteínas (aproximadamente dos años) y apenas estaba empezando a dominar sus principios.

King's College, Londres-Inglaterra

Había en Inglaterra otro grupo investigando el ADN, a cargo de Maurice Wilkins (*King's College*, Londres). Maurice, un físico neozelandés de treinta y tres años nacido en las Islas Británicas, había trabajado con la bomba atómica en Estados Unidos, pero se había alejado de la física nuclear, horrorizado por las consecuencias de ese trabajo. Al haber cambiado entonces el tema de investigación, utilizaba como herramienta usual de trabajo la difracción de Rayos X. Estaría mal visto que Crick comenzara a trabajar en un tema en el que Wilkins llevaba ya varios años. Debe destacarse que en esa época, en Inglaterra el *fair play* se aplicaba no sólo al deporte sino también al trabajo científico. En otros países como Francia y Estados Unidos (¡y la Argentina!), este hecho no hubiese impedido que alguien aborde un tema por el solo hecho de que otro lo hubiese empezado primero. Este comportamiento leal y sincero además de correcto en la investigación se sumaba al hecho de que ambos se conocían y compartían muchas veces reuniones familiares.

Junto a Wilkins trabajaba Rosalind Franklin, experta cristalógrafa especializada en química física, quien le ayudaba en sus investigaciones. Rosalind Franklin había nacido en Inglaterra y se graduó de la Universidad de Cambridge, a pesar de la oposición paterna. Realizó estudios fundamentales de microestructuras del carbón y del grafito, como base de su doctorado en Química Física. Había trabajado tres años en París, en el Laboratorio Central de Servicios Químicos del Estado, hasta que el jefe de la Unidad de Investigación en Biofísica en el *King's College* de Londres, Sir John Randall, la invitó a trabajar con él como investigadora asociada.

Rosalind tuvo oportunidad de aplicar sus conocimientos en el laboratorio de Randall, el cual se encontraba en el mejor nivel de desarrollo en investigaciones y habían realizado ya, algunos análisis de

difracción del ADN. Rosalind era una mujer brillante, analítica e independiente, que tuvo que sufrir la pesada atmósfera de club masculino del *King's College*.

Francis Crick, en su libro *¡Qué loco propósito!*, da cuenta que en el *King's College* había restricciones irritantes para las mujeres. Por ejemplo, no se les permitía tomar café en una de las salas, ya que estaba reservada sólo para los hombres. Esto, para la época, era visto como un asunto trivial (lógicamente desde la posición masculina).

En el laboratorio, Rosalind, nunca congenió con Maurice Wilkins, ya que él se empeñaba en tratarla como un asistente más y no como colega. Al científico le molestaba la presencia de Rosalind Franklin, quien a los 32 años era considerada como la mejor cristalógrafa del mundo. Wilkins sentía que Franklin pretendía trabajar en "su" proyecto. Lamentablemente, la misoginia y la competencia llevaron la relación entre ambos a un conflicto permanente y a que Wilkins pensase en encontrar alguna excusa decente para despedirla. Ambos terminaron enfrascados en una lucha interminable de personalidades.

La cristalografía es una tecnología exigente, basada en la técnica de difracción de los rayos X, esencial en la investigación de la estructura de las moléculas grandes. Se suponía que los trabajos del *King's* eran un esfuerzo común. Sin embargo, Rosalind consideraba que el tema del ADN le pertenecía. Wilkins tenía varios problemas en mente que le preocupaban, uno era las inquietudes de su amigo Crick respecto del ADN y otro, Linus Pauling, el famoso químico del CalTech quien en cualquier momento se daría cuenta de que el ADN era la más importante de todas las moléculas. Además, Linus ya le había escrito pidiéndole unas copias de las fotografías de rayos X del ADN cristalino, a lo que Wilkins había contestado que debía estudiar más detenidamente los datos antes de enviárselas (un pequeño truco para demorar la información, que en manos de Linus podría llevar a un gran descubrimiento).

El encuentro en Nápoles

En 1951, en Nápoles, Watson se encuentra por primera vez con Wilkins. Watson, como se indicó anteriormente, estaba trabajando en Copenhague con una beca posdoctoral junto al bioquímico Herman Kalckar. Pero al poco tiempo y como consecuencia de su mente inquieta comenzó a trabajar en bacteriófagos, violando literalmente las condiciones de la ayuda económica obtenida para investigar. Sin embargo, logró conseguir que le extiendan el plazo por un año más y así continuar con la investigación. Por sugerencia de Herman Kalckar, viaja junto a él a Nápoles para trabajar en la estación zoológica. No sólo recibió la aceptación de este viaje por parte de los encargados de la beca, sino que también le fueron otorgados doscientos dólares adicionales para viáticos.

El viaje de Maurice Wilkins a Italia fue inesperado ya que, quien debía acudir al evento era John Randall, pero no pudo hacerlo, debido a numerosos com-

promisos. Si no hubiera acudido nadie del laboratorio hubiese sido muy mal visto, sobre todo porque el laboratorio recibía numerosos subsidios y tenían, por lo tanto, que mostrar efectividad en sus trabajos. Fue así como la casualidad hizo que ambos científicos se encontrasen en la ciudad italiana. Watson esperaba sacar algún provecho de la reunión sobre estructuras de las macromoléculas biológicas y se lamentaba de que ninguno de sus profesores hubiese considerado la posibilidad de realizar la investigación posdoctoral con un cristalógrafo de rayos X.

Al final de su conferencia, Wilkins presentó una fotografía del ADN realizada por difracción de rayos X. Esta acotación alentó a Watson, ya que si el ADN se podía cristalizar, significaba que debía presentar una estructura regular que podría ser resuelta de una manera directa. Watson, entusiasmado, pensó en la posibilidad de trabajar con Wilkins. La llegada a Nápoles de su hermana Elizabeth favoreció el encuentro. Wilkins parecía atraído por la belleza de ella y, al día siguiente de la conferencia, Watson, Wilkins y Elizabeth almorzaron juntos. Lamentablemente, una vez llegados al hotel, cada uno siguió su camino y Watson emprendió el viaje de regreso a Copenhague con la desazón de seguir con la investigación, la cual por el momento, evidentemente no era lo que más le interesaba.

Para esa misma época, Linus Pauling, con su habitual entusiasmo, había presentado en una conferencia un modelo de proteínas en el espacio, que mantuvo oculto tras una cortina hasta casi el final de la misma. El modelo de α hélice fue publicado de inmediato. El número siguiente de la misma revista contenía siete artículos más de Pauling. Uno de ellos comenzaba así: "El colágeno es una proteína muy interesante". Esto le dio la idea a Watson de que si escribiese un artículo sobre el ADN, comenzaría con una frase que fuese: "los genes son interesantes para los genetistas" y así se distinguiría de la forma de pensar de Pauling.

Vuelta a la rutina y cambio de planes

Watson estaba interesado en aprender a resolver las fotografías hechas mediante difracción de rayos X, trabajo bastante engorroso y dificultoso. Linus era demasiado importante para prestarle atención y Wilkins lo había evitado en el congreso. Quedaba Cambridge, donde trabajaba Max Perutz, quien estaba interesado en las estructuras de las macromoléculas biológicas, en particular la hemoglobina. El laboratorio de Cambridge se hallaba escaso de personal y estaban buscando a un investigador que se acoplara al estudio de esa macromolécula, por lo tanto Watson fue el elegido y fue admitido apenas terminó el segundo año de su beca en Copenhague.

Fue entonces que Watson debió comunicar al centro de concesión de becas sobre su cambio de planes, el cual le fue denegado. Tras varias cartas enviadas y recibidas, y sin una respuesta acorde a sus expectativas Watson decidió comunicar a Washington la noticia de que se encontraba en Cambridge y que permanecería allí hasta que se tomase una decisión.

Poco después de cumplir veintitrés años, Watson llegó a Cambridge, y estableció inmediatamente una buena relación con Crick, que por entonces tenía treinta y cinco años. Fue una verdadera suerte encontrar a alguien que pensase que el ADN era más importante que las proteínas.

De las charlas cotidianas, teorizando sobre estructuras de grandes moléculas, lograron entender que el descubrimiento de Pauling era el producto del sentido común y no el resultado de complicados razonamientos matemáticos. Pauling confiaba en las leyes de la química estructural. En el modelo de la α hélice, el procedimiento esencial era preguntarse qué átomos estaban unidos entre sí. Un conjunto de modelos moleculares les servían de instrumentos de trabajo. Habría entonces que construir un conjunto de modelos moleculares que, con un poco de suerte, formarían una estructura de α hélice. Hasta el momento se sabía que el ADN estaba compuesto por unidades, llamadas nucleótidos, que contenían una base nitrogenada, un azúcar y un grupo fosfato, como se muestra en la Figura 1 (Avery 1944, Todd, 1951).

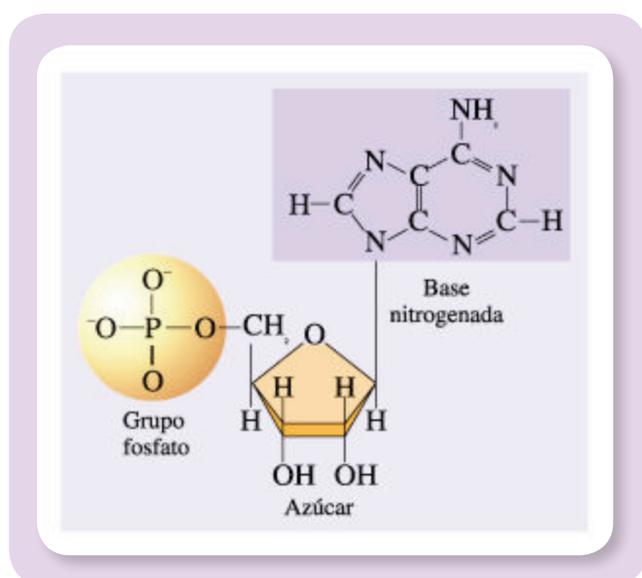


Figura 1: Un nucleótido, unidad repetitiva de la conformación del ADN

La primera suposición fue pensar que la molécula de ADN contenía un gran número de nucleótidos enlazados linealmente, en forma regular. La solución debería ser un poco más complicada. Maurice le había comentado a Francis que el diámetro de la molécula de ADN era más grueso de lo que debería ser si sólo estuviese formado por una única cadena polinucleotídica, lo cual les hacía pensar en una hélice compleja. Esta conformación podría contener varias cadenas polinucleotídicas enrolladas una en torno a la otra, como en una hebra de lana. Había además otra complicación para determinar la estructura y era que existían cuatro nucleótidos diferentes, por lo tanto el ADN no sería una molécula regular, sino que resultaría sumamente irregular. Esto se contradecía con las radiografías que habían sido mostradas por Wilkins en el congreso. Como punto de partida para la parte teórica, utilizaron una fotografía que ya había sido publicada unos años antes por un cristaló-

grafo inglés, W.T. Astbury. Maurice Wilkins tenía fotografías mejoradas que les podría ahorrar de seis meses a un año de trabajo pero... al no haber sido publicadas aun, era difícil que Wilkins se las cediera. No quedaba otra que hablar con él. Francis entonces invitó a Maurice a Cambridge y mientras platicaban sobre estructuras, Maurice contó que ya había expuesto en una conferencia que la probable estructura del ADN era una hélice. Maurice sospechaba que la hélice estaba construida por tres cadenas polinucleotídicas. Mientras tanto, Rosalind Franklin seguía teniendo problemas de convivencia en el laboratorio. La situación había llegado a un punto en que Rosalind no quería que Maurice saque fotografías con rayos X del ADN. Para llegar a un acuerdo Maurice le cedió el ADN cristalino utilizado en su trabajo original y accedió a limitar sus estudios a otro ADN, el cual lamentablemente descubrió (tarde) que no cristalizaba. Rosalind había decidido no comunicar sus resultados más recientes a Maurice y para noviembre de ese año ella se dispuso a dar una conferencia sobre sus trabajos de los últimos seis meses. Maurice, invitó a Watson quien aceptó muy complacido.

Comienza la carrera

Para ese entonces, un hecho inesperado alteró la casi tranquilidad del laboratorio. Max Perutz había entregado a Francis Crick un manuscrito firmado por él y Sir Lawrence Bragg sobre la conformación de la molécula de hemoglobina. Francis reaccionó de muy mal modo ya que parte de la argumentación se apoyaba en una teoría que él había expuesto unos meses antes, frente a los integrantes del laboratorio. Había proclamado con entusiasmo su argumento y en ese momento nadie pareció darle importancia. El ambiente de trabajo se tornó insostenible, hasta que Max Perutz y John Kendrew intercedieron ante Bragg. John apoyó a Francis y Bragg reconoció que la misma idea se les había ocurrido independientemente de lo expuesto por Crick. A partir de este momento a Bragg se le hizo difícil la convivencia con Crick en el laboratorio, sostenía que cuando lo escuchaba le zumbaban los oídos y además no estaba convencido de que Francis Crick fuese necesario, pero tampoco podía despedirlo ya que estaba realizando la investigación para su tesis doctoral.

Francis decidió encontrar una explicación a los nuevos modelos y para ello recurrió a Bill Cochran (profesor de cristalografía en el Cavendish). Bill no trabajaba con moléculas biológicas, pero siempre suministraba una mirada sagaz para las frecuentes teorías de Francis. Cada uno, por su lado, trabajó laboriosamente en desarrollos y deducciones matemáticas y, ante el asombro de ambos, descubrieron que mediante dos caminos totalmente diferentes habían llegado a la misma solución. La coincidencia con la inspección visual de los diagramas de rayos X era tan buena como el modelo de Linus. Por lo tanto, suponían que la teoría de ellos debería ser correcta. A los pocos días enviaron un manuscrito a la revista *Nature* con copia a Linus Pauling. Este acontecimiento fue una verdadera señal de triunfo para Francis.

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

Finalmente, a mediados de noviembre, Rosalind Franklin dio su charla sobre el ADN. No ahondó en muchos más detalles de los ya conocidos por Watson. Pero presentó unas fotos un poco más nítidas que las obtenidas por Francis Crick. Rosalind pensaba que la única forma de establecer la estructura del ADN era mediante métodos cristalográficos. La idea de utilizar modelos atómicos no tenía ningún atractivo para ella. Es por eso que evitó hablar del modelo de Pauling sobre la α hélice. Aunque la charla no fue muy fructífera para Watson, sí lo fue el posterior acercamiento a Wilkins, donde pudieron compartir una larga charla con posibilidad de coordinar esfuerzos. Pero Rosalind volvió a ser el tema recurrente de la conversación y esto dejó trancas las posibilidades del trabajo conjunto.

Cuando Francis se encontró con Watson, quiso saber lo que había escuchado en la conferencia. Fue allí donde quedó expuesta la mala costumbre de Watson de confiar en su memoria y no tomar notas en un papel. Como casi desconocía la jerga cristalográfica, Watson no podía reproducir y explicar demasiado de lo escuchado y no recordaba el contenido exacto de moléculas de agua que Rosalind había medido en las muestras de ADN. Era imperioso leer el libro de Pauling, *The Nature of the Chemical Bond*, para lograr descifrar y llegar a deducir una disposición inteligente de los iones inorgánicos y los grupos fosfatos en la estructura del ADN.

Watson pensaba que, quizás, si se concentraban en la mejor forma en que podría enrollarse una cadena polinucleotídica, podrían resolver el problema. Francis, mientras tanto, continuaba pensando en el significado de los diagramas de rayos X. Ambos estaban convencidos de que llegar a la estructura era cuestión de muy corto tiempo.

Examinaron los pros y los contras de los modelos de una, dos, tres y cuatro cadenas. El de una hélice fue desechado rápidamente, por ser incompatible con las pruebas de que disponían. El problema era la disposición de los grupos fosfato (de carga negativa) donde había que encontrar una conformación en el espacio, de manera tal que no se repelieran. Lo podían llegar a explicar suponiendo que cationes divalentes como el Mg^{++} se unían a dichos grupos, pero no existían pruebas de que las muestras de Rosalind tuviesen estos cationes. Los primeros modelos fueron rápidamente desechados. Sin embargo, hubo uno de ellos (tres cadenas enrolladas una en torno a la otra), que daba una repetición constante a lo largo del eje central. Algunos de los enlaces entre moléculas eran demasiados próximos. Pero después de todo, esto les había llevado relativamente poco tiempo y el juego recién comenzaba.

Al día siguiente, Francis realizó unas pequeñas modificaciones al último modelo propuesto y ahora lo que les faltaba era cotejar lo encontrado con las pautas de difracción de rayos X que había revelado Rosalind en su conferencia. Para esto debían hablar con Maurice o con Rosalind.

Llamaron a Maurice, quien en un primer momento no pareció muy interesado en el descubrimiento. Sin embargo, esa misma tarde, una llamada telefónica del *King's* los sacudió. A la mañana siguiente Maurice y su colaborador Willy Seeds llegarían de Londres y lo que fue más sorprendente aún, es que con ellos vendrían Rosalind con su alumno R.G. Gosling.

La reunión fue decepcionante. Maurice aseguró que el modelo se ajustaba a un modelo propuesto anteriormente por su colega Stokes, quien lo había desarrollado sin tanto alboroto. Para Rosalind no existía ninguna prueba de que el modelo fuese una hélice, por lo tanto no entendía bien por qué tanta algarabía. Según los expertos deberían realizar más trabajos de difracción con rayos X. Perturbados y molestos por lo infructuoso de la reunión, los cuatro terminaron tomando el autobús que los llevaría nuevamente a su tranquilo laboratorio de Londres.

Como consecuencia de la desafortunada reunión, Sir Lawrence Bragg dio la orden a Max Perutz para que comunique a Francis Crick y James Watson que debían abandonar el ADN, ya que parecía sin sentido que Crick y el americano duplicaran la fuerte inversión que el *King's* había realizado para el proyecto del ADN.

Esto no desalentó al dúo. Empezaron a pensar que la cadena azúcar-fosfato en el centro de una hélice obligaba a los átomos a estar a distancias incompatibles con lo que se sabía hasta ese momento. Watson y Crick dedicaban su tiempo a la realización de modelos teóricos de hojalata. En esos años no existían las potentes computadoras de hoy en día para calcular y visualizar la estructura de grandes moléculas, como la del ácido desoxirribonucleico. A principios de los cincuenta, la única tecnología disponible era la difracción de rayos X, algo así como una radiografía, y la imaginación de los investigadores. Con estos dos componentes, Watson y Crick se lanzaron a la tarea. A falta de medios más sofisticados, los jóvenes científicos tomaron trozos de cartón, metal y varillas, y comenzaron a probar las mil y una maneras de dar forma al ácido nucleico.

Navidad se acercaba y con ello probablemente las investigaciones se tornarían más lentas.

Pasó enero y recién en febrero comenzaron a tomar fotografías con rayos X del virus del mosaico del tabaco (VMT), las cuales, a decir verdad, distaban mucho de ser más claras que las ya publicadas y además no eran demasiado buenas como para detectar una hélice. Linus Pauling viajaría a Londres para asistir a un congreso en mayo, este acontecimiento los tenía expectantes. Sin embargo, Linus no pudo asistir ya que el Departamento de Estado norteamericano le retuvo el pasaporte. El gobierno norteamericano consideraba que no era bueno que agitadores como Pauling, anduvieran por el mundo exponiendo los principios de una coexistencia pacífica.

Gracias a que le fue otorgado a Watson el permiso para utilizar un nuevo y poderoso equipo de tubo ca-

tódico de rayos X, construido en el Cavendish, Watson encontró la evidencia que buscaba, reveladoras e inequívocas marcas helicoidales en el VMT. Francis recibió la novedad con júbilo, pero ambos sabían que no podrían hacer mucho más que esto, ya que desentrañar por completo la estructura requería métodos que no dominaban y les llevaría años de trabajo.

Francis tenía la sensación que las reglas de Chargraff³ constituían una auténtica clave. Cada vez estaba más convencido que la adenina era atraída por la timina y que la guanina por la citosina (Figura 2). Para octubre, concertó una reunión con Maurice, la cual resultó un fracaso absoluto. Maurice se volvió a lamentar de la falta de cooperación de Rosalind y así transcurrió la tarde sin poder abordar el tema del ADN.

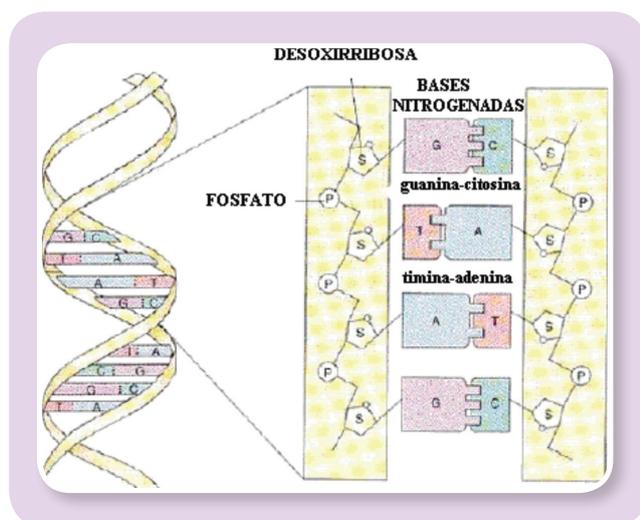


Figura 2: Esquemas simplificados del ADN en el que se muestra cómo la adenina se enfrenta timina y la guanina a la citosina, y se simbolizan las uniones intermoleculares con rayas (dibujo de la izquierda) o puentes tipo dientes (dibujo de la derecha). <http://www.biologia.edu.ar/botanica>.

Una llegada inesperada al laboratorio de Cambridge

Peter, el hijo de Linus Pauling, fue aceptado por Bragg para trabajar con John Kendrew, en miras de la realización de su doctorado en Cambridge. A mediados de diciembre, Peter entró muy alegre al despacho, con una carta personal de su padre desde Estados Unidos, en la cual detallaba sus conclusiones acerca de la estructura del ADN. Fue la única noticia que tuvieron y no se enteraron de algo más al respecto. Cuando Watson pasó por Londres para Navidad, le informó a Maurice las últimas novedades; y Maurice quedó muy contento ante la perspectiva de que Rosalind parecía mudarse a otro laboratorio y no se dedicaría más al ADN.

Para mediados de enero, Watson regresó a Cambridge y buscó a Peter Pauling, con la esperanza de enterarse

de nuevas revelaciones relacionadas con la búsqueda de la ansiada estructura. Para febrero llegó un manuscrito. Linus Pauling quien mandó dos copias, una para Sir Lawrence y la otra para Peter...

Linus Pauling proponía una triple hélice, con los enlaces azúcar-fosfato en el centro. Pero en este modelo algo andaba mal; inexplicablemente, Linus proponía grupos fosfatos no cargados, parecía haber olvidado los principios de la química elemental. Pero no había duda de una cosa, cuando Linus se diese cuenta de su error, no cesaría hasta encontrar la estructura correcta. Por lo tanto había que hablar urgente con Maurice y tratar de ganarle a Linus. Watson debía viajar a Londres y le pareció lo más sensato llevar consigo el manuscrito, para que Maurice y Rosalind lo examinaran.

La fotografía que cambiaría la historia

Al llegar Watson al *King's College*, Maurice se encontraba ocupado, por lo tanto fue en busca de Rosalind, quien se enojó mucho, porque el manuscrito que Watson llevaba en la mano contenía información que hacía un mes ella había solicitado infructuosamente al laboratorio de Pauling.

Wilkins llegó en ese momento y empujó a Watson a su despacho. Eufórico, le mostró "inocentemente" una excelente fotografía de difracción que Franklin acababa de tomar de la estructura helicoidal del ADN. Maurice estaba convencido de que Rosalind tenía razón al disponer las bases del centro y la cadena fundamental en el exterior. Maurice hizo esto sin dar aviso a su autora, ni a su jefe Randall.

Watson vio la fotografía, abrió la boca y su pulso se aceleró. La solución era evidente.

Esta imagen conocida hoy como la famosa "Fotografía 51" reveló una estructura repetida y tridimensional del ADN (Fig.3).

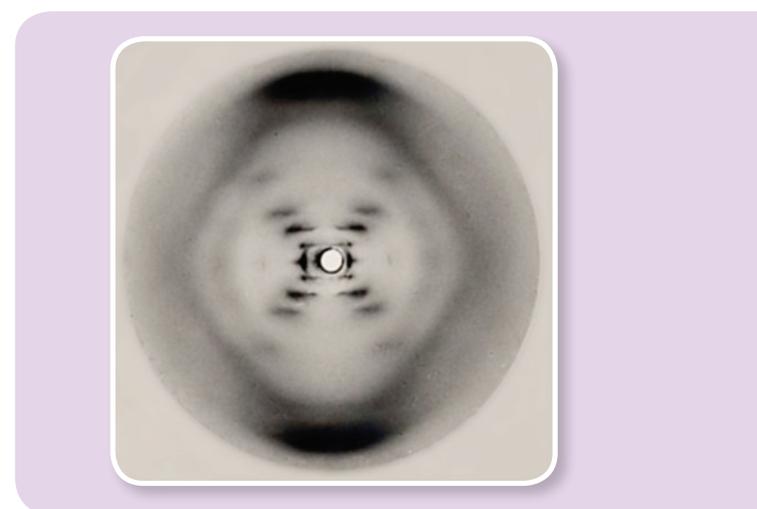


Figura 3: Imagen del ADN obtenida por Rosalind Franklin mediante difracción de rayos X en 1952.

3. En 1940 Chargraff caracterizó químicamente la molécula y estableció la equimolaridad en las proporciones de las bases nitrogenadas del ADN: las cantidades de purinas eran muy similares a las de pirimidinas.

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

El hecho de que Wilkins la mostrara a Watson sin el consentimiento de Rosalind no pareció molestar demasiado a Franklin, quien estaba ilusionada con un nuevo futuro sin Wilkins.

Max Perutz presentó un resumen al Comité del *Medical Research Council* para demostrar que había formado un eficaz grupo de investigación. Este informe no era confidencial, así que les pasó a Crick y a Watson una copia del mismo. Así fue como el dúo siguió avanzando en la configuración de la cadena.

Rosalind Franklin había deducido, mediante cálculos precisos, que las cadenas del ADN eran dos. Además, había calculado varios parámetros de la hélice, como la distancia o período de repetición.

Los datos de Rosalind Franklin determinaron el curso de la investigación de Watson y Crick. La idea de Watson era colocar las bases en el interior de las dos cadenas, pero al ser moléculas completamente diferentes, resultaba una cadena irregular. O sea, cuando las bases eran grandes, la hélice tomaba cierta distancia entre las dos cadenas, pero si las bases eran pequeñas, quedarían ciertos huecos o la doble hélice se debería deformar para poder acercarse a las bases y que éstas se mantuvieran unidas por puentes de hidrógeno. Recién luego de una semana fue que Watson se percató que la adenina tenía la posibilidad de formar dos puentes de hidrógeno con otra molécula de adenina, entonces podía suponer que si las dos cadenas tenían la misma secuencia de bases, se podrían unir. La dificultad radicaba en que, nuevamente, las distancias entre ambas cadenas serían diferentes para cada par de bases. Según esta explicación, se podría dilucidar cómo se multiplicarían los genes: las cadenas idénticas se separarían para formar dos cadenas hijas sobre las dos parentales, dando así lugar a dos cadenas hijas. Al día siguiente, el cristalógrafo Jerry Donohue hizo trizas su modelo. Estaba seguro de que las formas espaciales que había utilizado Watson eran incorrectas y describió como descabellado al esquema presentado. Ante la imposibilidad de contar con modelos metálicos de las nuevas estructuras antes de dos días, Watson construyó en cartón los modelos de moléculas en el espacio, para poder adelantar las elucubraciones que le estaban rondando en su cabeza. Dispuso las cuatro bases en la mesa y comenzó a tratar de aparear las bases, considerando de que existan dos puentes de hidrógeno entre ellas. De pronto notó que esto se cumplía para el par guanina-citosina, que parecía acoplarse sin ningún tipo de presión o deformación de las moléculas. Watson llamó a Jerry para ver si tenía alguna objeción respecto a estas uniones y estructuras, sin embargo, llamativamente, le parecieron adecuadas. Esto también les daría una explicación de por qué el número de radicales purinas igualaba al número de radicales pirimidinas. Parecería entonces, que la adenina se empareja con la timina y la guanina con la citosina, por lo tanto esto les daría a pensar que una cadena sería complementaria de la otra. Esta estructura cumplía además con las reglas de Chargraff. Crick entró al laboratorio, observó la estructura, y pareció estar de

acuerdo. Pero su primera reacción fue buscar alguna alternativa diferente que también cumpliera con los requisitos. Notó además que la estructura propuesta ponía los dos enlaces glucosídicos de cada base (que unían un azúcar con una base nitrogenada) relacionados con un eje perpendicular al eje helicoidal. Crick inmediatamente entendió el significado del descubrimiento de Watson. El 28 de febrero, un típico *pub* británico fue testigo de una escena única, propia de un guión cinematográfico. El sol caía bajo el horizonte, cuando los clientes del *pub The Eagle*, en su mayoría científicos del laboratorio Cavendish que acababan de terminar su jornada laboral, se encontraban tomando unas cervezas en un ambiente bastante tranquilo, casi aburrido. De pronto, aquel local olvidado en un rincón de Cambridge, recibió la visita de dos clientes asiduos quienes entraron transformados, como si la vida hubiera cambiado para ellos de forma repentina. Crick gritó en voz alta, para que todos los presentes fueran testigos: "Hemos encontrado el secreto de la vida". Allí todos sabían que durante meses, Watson y Crick habían luchado contra el tiempo para resolver el *puzzle* del ADN. Todos los presentes se quedaron en silencio, mirando a aquel par de desaliñados investigadores, que más parecían jóvenes juerguistas que estudiosos científicos. Por supuesto en un primer momento no les creyeron; pues Crick se había ganado la fama de fanfarrón y Watson no era ni es especialmente modesto. Sin embargo, aquella vez, la estruendosa entrada en el *pub* se convirtió en una escena para la historia de la ciencia, porque tenían razón. Hoy casi todo el mundo ha oído hablar del ADN, pero casi nadie sabe de qué se trata. Crick no se acuerda de estas palabras, pero sabía que siempre le decía a su esposa, cuando llegaba a la casa, que parecía que ellos habían hecho un gran descubrimiento. Su esposa dijo al respecto que nunca creyó una palabra de esto, ya que el comentario era cotidiano.

Los retoques finales del modelo se realizaron con estructuras de metal (Fig.4). Crick midió minuciosamente las distancias entre los átomos haciendo uso de una plomada y una regla. Faltaba la evidencia exacta de los rayos X para confirmar que la configuración elegida fuese la correcta.

Maurice viajó a Cambridge para enterarse de las últimas novedades. Es cierto que Watson y Crick no podrían haber llegado hasta donde lo hicieron sin la inestimable ayuda de Jerry Donohue. Maurice estaba en un laboratorio sin una organización como para llegar a dilucidar la estructura y en ese entonces la única posibilidad de competencia era Pauling. A dos días de la comunicación, Maurice informó al dúo, desde Londres, que tanto él como Rosalind Franklin encontraban que sus datos de difracción confirmaban plenamente la doble hélice propuesta.

En el epílogo de su libro "La doble hélice", escribiría Watson un amplio reconocimiento a Rosalind Franklin valorando su trabajo, considerándolo como extraordinario. Apreciando ampliamente su honradez y generosidad personales y comprendiendo en definitiva, "las luchas que debe arrostrar la mujer intelligen-

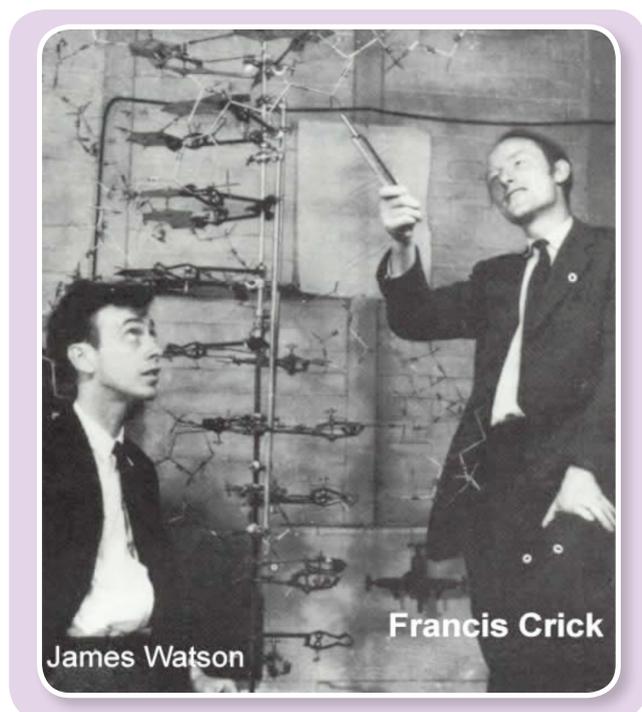


Figura 4: Watson y Crick junto al modelo de ADN

te para ser aceptada en un mundo científico que, a menudo, considera a las mujeres como meras distracciones del trabajo reflexivo serio”.

Comprender el ADN resultó esencial para la biotecnología, que permite a los científicos expresar características favorables, transfiriendo ADN de un organismo a otro, diseñando nuevos fármacos para ayudar al organismo a hacer lo que no podía por sí solo, o cultivos que pueden protegerse a sí mismos contra las enfermedades.

El descubrimiento de la estructura del ADN cambió el rumbo de la biología y de la historia de la cultura humana. Permitted descifrar el mecanismo de funcionamiento de los seres vivos y de la perpetuación de la vida.

Por primera vez en un país de América Latina, los científicos más importantes en el ámbito de la genética, la genómica, la biotecnología y la biología mundial, se reunieron en la semana, del 27 al 30 de abril de 2003, en Cancún, México, para celebrar el Congreso Anual de la Organización del Genoma Humano. En el evento se rindió un homenaje a los 50 años del descubrimiento de la doble hélice del ADN y a la finalización de la secuenciación del genoma humano.

Casi cincuenta años después de que Watson, Crick y Wilkins recibieran el Premio Nobel de Medicina y Fisiología, su modelo de ADN sigue siendo un emblema del espectacular avance de la ciencia en el siglo pasado.

Nacen nuevas disciplinas: Biotecnología y Bioética

No cabe duda de que el siglo XX fue el siglo del gen. A partir del descubrimiento revolucionario de

Watson, Crick y Wilkins aparecieron nuevas tecnologías, como por ejemplo las del ADN recombinante en los años setenta y cerca del fin del siglo el Proyecto Genoma Humano. Durante la década 1975-1985 fueron desarrolladas las técnicas moleculares de fragmentación, hibridación, secuenciación y amplificación del ADN que permiten cortar moléculas de ADN por donde desea el investigador, utilizando enzimas de restricción, localizar genes concretos, leer directamente el mensaje genético contenido y además multiplicar millones de veces la cantidad de ADN disponible, a partir de una muestra muy pequeña, utilizando la técnica conocida como “reacción en cadena de la polimerasa” (PCR). Esta nueva tecnología basada en la utilización de los ácidos nucleicos es lo que se conoce como manipulación genética. Todos estos hallazgos dieron origen a la biotecnología actual basada en los procesos que permiten la inmovilización de las enzimas y fueron la base para los primeros experimentos de ingeniería genética realizados por Cohen y Boyer en 1973. Así también, en 1975 César Milstein y Georges J.F. Köhler (a partir del hallazgo de Watson, Crick y Wilkins) revolucionaron el mundo de la inmunología, con su trabajo en teorías sobre la especificidad en el desarrollo y control del sistema inmune y el descubrimiento del principio para la producción de anticuerpos monoclonales. Ambos, junto a Niels K. Jerne se hicieron acreedores del Premio Nobel en Fisiología o Medicina en 1984.

La aplicación rápida de estas nuevas tecnologías en áreas tan diversas como la agricultura, la industria alimenticia, la farmacéutica, los procesos de diagnóstico y tratamiento médico, la industria química, la minería, etc. justifica las expectativas de los científicos.

La Biotecnología se ha convertido en uno de los ejes de estrategias para el desarrollo científico y productivo de una sociedad. Esta base tecnológica da origen a investigaciones y productos innovadores. Siendo los sectores más impulsados: el agropecuario, el alimenticio y la industria farmacéutica.

Por ejemplo, a través de la biotecnología, los investigadores han creado plantas de maíz resistentes al gusano de la raíz, que se alimenta de las raíces de éstas, lo que cada año permite a los agricultores evitar pérdidas millonarias.

El muestreo de ADN a gran escala se ha vuelto más simple y barato desde que fue usado por primera vez luego de la guerra en Bosnia, a comienzos de los años 90. Una Comisión Internacional sobre Desaparición de Personas desarrolló un sistema para realizar sofisticados exámenes de ADN a miles de cuerpos exhumados. Tras el 11 de septiembre los expertos expandieron la tecnología al desarrollar un programa de computación que permitía comparar simultáneamente miles de muestras de ADN con los fragmentos recogidos en las Torres Gemelas. Se logró así la identificación a través de su ADN, de los restos de 1490 personas que murieron en dichos ataques. Los resultados obtenidos probaron que, en los edificios desplomados, había hombres y mujeres de 44 países diferentes.

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

Cabe aquí destacar que tras el descubrimiento de la conformación del ADN, su función y su importancia, y el auge producido en Biotecnología se necesitó de una herramienta que hasta el momento no había sido utilizada. Una nueva disciplina apareció en escena, la *Bioética*.

En 1971, el oncólogo y humanista norteamericano Van Rensselaer Potter publicó su libro *Bioética* con el propósito de “contribuir al futuro de la especie humana promocionando la formación de una nueva disciplina”.

Según Potter hay dos culturas -ciencias y humanidades- que parecen incapaces de comunicarse entre sí, es por eso necesario construir un “puente hacia el futuro” (subtítulo de la obra) construyendo la disciplina de la *Bioética*, como un puente entre las dos culturas. Los valores éticos no pueden estar separados de los hechos biológicos. Para esta nueva ciencia, construida sobre la propia Biología e incluyendo además la mayoría de los elementos esenciales de las ciencias sociales y humanísticas, propuso Potter el nombre de *Bioética*.

La *Bioética* entonces, intenta relacionar nuestra naturaleza biológica y el conocimiento realista del mundo biológico con la formulación de políticas encaminadas a promover el bien social. Por ello, la *Bioética* puede referirse directamente al hombre mismo -ya sea a nivel individual, de población o de especie- o indirectamente cuando el problema bioético afecta a su entorno ecológico, tanto si se refiere a los seres vivos (plantas o animales) como a la naturaleza inanimada.

El descubrimiento del ADN por lo tanto, no sólo ha influido en la Genética, sino también en la Sociedad. Es lógico pensar que la Historia y Filosofía de la Ciencia tendrán que incluir a la “Revolución del ADN” como un hito fundamental en la Historia de la Humanidad de igual forma que la “Revolución Industrial”, por ejemplo.

La manipulación genética, como cualquier otro progreso de la ciencia, plantea el tema de que *no todo lo que es técnicamente posible es éticamente deseable* aunque está muy extendida la opinión de que *todo lo que se pueda hacer, se hará*. Se plantea, entonces, la libertad de investigación. ¿Quién debe decidir? ¿Los científicos solos? ¿Los moralistas? ¿Los juristas? Desde hace ya bastantes años, la comunidad científica y la sociedad están de acuerdo en que la toma de decisiones debe ser la consecuencia de un diálogo interdisciplinario en el que participen los científicos junto con los filósofos, moralistas, teólogos, juristas, sociólogos, psicólogos, etc.

El 11 de Noviembre de 1997, la UNESCO aprobó la “Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos”, en cuyo texto hace referencia a la necesidad de educar a la sociedad en *Bioética* y a institucionalizar la presencia de los “Comités de *Bioética*” en la toma de decisiones. Así, los 186 países pertenecientes a la UNESCO reconocían en el documento la necesidad de:

- Promover la educación en bioética, a todos los niveles.
- Concienciar a los individuos y a la sociedad de su responsabilidad en la defensa de la dignidad humana en temas relacionados con la Biología, la Genética y la Medicina.
- Favorecer el debate abierto social e internacional, asegurando la libertad de expresión de las diferentes corrientes de pensamiento, socioculturales, religiosas y filosóficas.
- Promover la creación, a los niveles adecuados, de Comités de *Bioética* independientes, pluridisciplinarios y pluralistas.

Notas....

Es muy probable que, cualquier científico dedicado a las ciencias, que hubiese podido reunir la información disponible en 1953 sobre el ADN hubiese llegado a descifrar el modelo de la doble hélice sin dificultad. Watson y Crick tienen sin duda el honor histórico de haber sido los primeros. Carecen de las características usualmente encontradas en los investigadores, aquellos que uno imagina trabajando en solitario, tal vez temas poco populares, aportando conocimientos inesperados que se hubiesen mantenido ocultos sin su perseverancia. Watson y Crick no simpatizaban con la realización de trabajos experimentales a largo plazo y persiguieron el éxito instantáneo aplicando métodos de moralidad un poco dudosa.

El descubrimiento más significativo en la historia de la ciencia quedó ensombrecido por la primera ascensión al Everest seis semanas después de su publicación.

Según el diario el País de España se han encontrado cartas escritas antes de 1953 que avalan la importancia de su trabajo y suman más intrigas a la historia.

Al reunirse los jefes de los laboratorios rivales (el Cavendish y el King’s College) y prohibir a Crick y Watson, que continúen aprovechándose del trabajo del King’s College, Wilkins escribe a Crick: “Querido Francis, esto es solo para decir lo enormemente enojado que estoy y lo mal que me siento sobre todo esto y lo amigo que soy (aunque posiblemente parezca lo contrario). Nos encontramos rodeados de fuerzas que nos pueden triturar en pedacitos...” Solo se dispone del borrador de la contestación de Watson y Crick, pero es muy revelador, ya que termina: “Así que ánimo y créenos si te decimos que si te dimos la patada fue entre amigos. Esperamos que nuestro robo al menos produzca un frente unido en vuestro grupo”.

Cuando Pauling se interesó por descubrir la estructura del material genético, les permiten a Watson y Crick reanudar el trabajo. Watson discute con Rosalind Franklin, quien ya piensa en mudarse de laboratorio.

Unos días antes, Rosalind hizo una última presentación de sus resultados en King’s College. No le fue permitido asistir al grupo rival. Wilkins se lo explica a Crick y entonces es cuando le propone: “Lo discutiremos después cuando el aire esté más claro. Espero que

el humo de la brujería salga pronto de nuestros ojos". La posdata de la carta da idea de las malas relaciones entre Wilkins y Rosalind Franklin: "Dile a Jim que la respuesta a su pregunta: '¿Cuándo fue la última vez que hablaste con ella?' es esta mañana. Toda la conversación consistió en una palabra mía."

Wilkins es irónico con Crick por su falta de trabajo experimental y en una misiva llega a llamarles "granujas". Lógicamente le echa la culpa a Franklin de haber perdido la carrera: "Pensar que Rosie tenía todos los datos en 3D desde hace nueve meses y no vio que era una hélice y que yo le tomé la palabra de que los datos eran anti-hélice. Dios mío."

Cuando Crick, ve las imágenes sobre cuyo análisis se volcó Franklin, dejando de lado aquellas en las que la hélice resultaba más clara, reconoce en una carta a Wilkins: "Esta es la primera vez que he tenido la oportunidad de estudiar en detalle la imagen de la Estructura A y debo decir que estoy contento de no haberla visto antes, porque me hubiera preocupado mucho".

Nadie sabe ni sabrá si Rosalind Franklin hubiera llegado por sí sola al descubrimiento de la estructura, pero el relato cada vez más completo de esta rivalidad histórica da idea de cómo muchas veces ocurren los descubrimientos científicos.

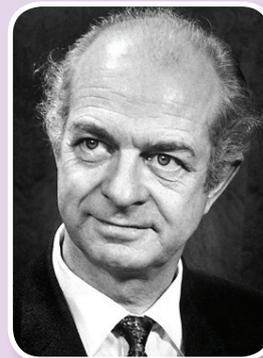
Los protagonistas

El Premio Nobel en Fisiología o Medicina 1962 fue otorgado en conjunto a Francis Harry Compton Crick, James Dewey Watson y Maurice Hugh Frederick Wilkins por sus descubrimientos concernientes a la estructura molecular de los ácidos nucleicos y su importancia en la transferencia de información en material biológico".

http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/

En 1962 le fue otorgado el Premio Nobel de la Paz a Linus Pauling y lo recibió un año después, en 1963. Durante el proceso de selección de 1962, el Comité Noruego decidió que ninguna de las candidaturas propuestas para ese año reunía los criterios como indica el testamento de Alfred Nobel. De acuerdo con los estatutos de la Fundación Nobel, el Premio Nobel puede en tal caso, reservarse hasta el año siguiente, y esta ley se aplicó en el caso de Linus Pauling, por lo tanto recibió el Premio de 1962, un año después.

http://nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/



Linus Carl Pauling



Rosalind Franklin, portada de la revista TIBS Trends in Biochemical Sciences. April 1998 (268) Vol 23 No. 4 pp. 121-156 ISSN 09680004



Francis Harry Compton Crick, James Dewey Watson, Maurice Hugh Frederick Wilkins (fotografías posteriores al descubrimiento).

En 1954 se le otorgó el Premio Nobel en Química a Linus Pauling "por sus investigaciones en acerca de la naturaleza de las uniones químicas y su aplicación al esclarecimiento de estructuras de sustancias complejas".

Referencias bibliográficas

AIU En las redes del tiempo. Rosalind Franklin. Universidad en línea. <http://977.mx/grc/redam.nsf/vwALL/MALZ-5NP22L>.

Avery O, MacLeod C, McCarty M (1944). Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Inductions of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from pneumococcus type III. *J Exp Med* 79 (2): pp. 137–158.

Cohen, S. N. and Boyer, H. W., US. Patent No. 4,468,464, filed 9 November 1978, issued 28 August 1984;

Crick, F. Qué loco propósito. (1989). ISBN: 978-84-7223-137-5. 216 páginas. Tusquets Editores

Ruiz de Elvira Malen Cartas 'perdidas' aclaran el descubrimiento de la estructura del ADN. La historia científica más famosa se completa con correspondencia recién hallada entre los rivales y amigos Crick y Wilkins Madrid - 29/09/2010

Franklin, RE and Gosling RG (July 25 1953). Evidence for 2-chain helix in crystalline structure of sodium deoxyribonucleate. *Nature*. pp 156-157.

Köhler G, Milstein C. Continuous cultures of fused cells secreting antibody of predefined specificity. *Aug 1975. Nature* 7; 256 (5517):495-7.

Lacadena, J.R. (1992). Manipulación genética. (M. Vidal ed.) Conceptos fundamentales de ética teológica, Editorial Trotta, Madrid, pp.457-492.

Lacadena, J.R. (1997). Bioética, gratuidad del organismo y patentabilidad de los genes humanos. *Moralía*, 20: 441-462.

Lacadena, J.R. (1997). Unesco, genoma humano y derechos humanos. *Vida Nueva*, 2115: 8-10.

Potter, V.R. (1971). *Bioethics. Bridge to the Future*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, XIII+205 pp.

Schrödinger, E. (1947). ¿Qué es la vida? Traducción Greta Mayena. Espasa Calpe, Buenos Aires.

The Francis Crick Papers. The Discovery of the Double Helix, 1951-1953. <http://profiles.nlm.nih.gov/SC/Views/Exhibit/narrative/doublehelix.html>.

The Discovery of the Molecular Structure of DNA - The Double Helix". Nobelprize.org. 10 Feb 2011 http://nobelprize.org/educational/medicine/dna_double_helix/readmore.html

Todd, Alexander (1983). *A time to remember: the autobiography of a chemist*, Cambridge University Press.

Watson James (1968) *La doble Hélice, Un relato autobiográfico sobre el descubrimiento del ADN*. Salvat Ed. 1993

Watson, JD and Crick FHC (April 25 1953). Molecular structure of nucleic acids. A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*. pp 737-738.

Watson, James (2010) *Prohibido aburrirse (y aburrir)*. Lecciones aprendidas en una vida dedicada a la ciencia. ISBN: 978-84-8383-277-6. 368 páginas. Tusquets Editores

Wilkins, MHF; Stokes, AR and Wilson HR. (April 25 1953). Molecular structure of deoxypentose nucleic acid. *Nature*. pp 738-740.

16

MARJA SKLODOWSKA Y LISE MEITNER: SUS VICISITUDES Y LOGROS EN LA QUÍMICA NUCLEAR

Dr. Oscar Héctor Pliego

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura,
Universidad Nacional de Rosario
Email: pliego@fceia.unr.edu.ar

Introducción sobre los acontecimientos científicos directamente relacionados con las investigaciones de la estructura del átomo y el descubrimiento de la radiactividad natural

A continuación presentaremos brevemente los acontecimientos científicos relacionados con el tema que nos ocupa; su listado comienza con las primeras ideas atomísticas de los filósofos griegos y culmina arbitrariamente en el año 1934. El lector deberá tener en cuenta que, dada la extensión del capítulo, esta presentación no es completa ni exhaustiva.

Las especulaciones atomísticas aparecieron en la antigua Grecia con algunos de sus filósofos, entre otros, Demócrito, Leucipo y Empédocles. Desde sus comienzos, no había real consenso sobre la legitimidad del concepto y la oposición de Aristóteles hizo desaparecer por largo tiempo de la mente de los científicos aquello de que la materia está formada por átomos y tiene carácter discontinuo (Pliego, 1993). Las ideas atomísticas quedaron así completamente relegadas hasta finales de la edad media y fueron reflatadas en algunos trabajos de I. Newton y R. Boyle.

La primera teoría atómica fue formulada en 1808 por J. Dalton. En ella se postula que la materia se compone de átomos; que los átomos de un dado elemento son todos iguales -particularmente en peso- y tienen todas las mismas propiedades; que los diferentes elementos tienen átomos diferentes; y que los átomos son indivisibles. La teoría de Dalton no desmentía los conceptos de los atomistas, a saber, que los átomos de un elemento no pueden transmutarse en átomos de otro elemento, y que los átomos más complejos se "construyen" desde el átomo más sencillo, por repetición del átomo de hidrógeno; esto indica que la masa de los átomos de todos los elementos debe ser necesariamente un múltiplo entero de la masa del átomo de hidrógeno. Simultáneamente se realizaban experiencias a fin de indagar sobre la estructura de la materia; por ejemplo, desde 1850, W. Crookes estudiaba los fenómenos que ocurren al practicar descargas eléctricas en gases a baja presión y, en 1882, E. Goldstein describió la existencia de "rayos canales". En esas mismas experiencias también se producían rayos X. Sin embargo, recién a fines del siglo, concretamente en 1895, el descubrimiento de estos rayos se adjudicó a W. Roentgen porque él, inicialmente por casualidad, tomó concien-

cia de su producción haciéndolos incidir en una pantalla de material fluorescente, casualmente presente en el laboratorio, y tornándola luminosa. Posteriormente este científico encontró que los rayos X, tienen la capacidad de ionizar los gases y producen el "velado" de las placas fotográficas.

También ese año, J. Thomson demostró que los rayos catódicos, que se forman en los fenómenos de descargas eléctricas en gases enrarecidos, están formados por electrones. Estas experiencias demostraban que los átomos se encuentran formados por partículas con cargas eléctricas y que, por lo tanto, los mismos no son partículas indivisibles sino que poseen una estructura interna.

H. Becquerel, influenciado por W. Roentgen realizó las experiencias que le permitieron -también ayudado por el azar- descubrir la radiactividad natural en un mineral fluorescente de uranio. Una de sus hipótesis indicaba que encontraría mayor fluorescencia y, por lo tanto, mayor capacidad de velado de las placas fotográficas, en los minerales que se hubiesen expuesto al sol durante más tiempo. Al continuar con sus experiencias hubo días nublados; como era de esperar, el mineral, poco iluminado, se mostraría poco o nada fluorescente. Sin embargo, Becquerel colocó el mineral junto a una placa fotográfica, como lo había repetido muchas veces en pruebas anteriores y, luego de un tiempo de contacto, reveló la placa. Muy sorprendido, encontró que la mancha del velado era igual que para los días soleados y de esta forma concluyó que las radiaciones emitidas constituían una propiedad intrínseca del mineral. En 1896 comunicó a la Academia de París que el uranio o cualquiera de sus compuestos, fluorescentes o no, producen espontáneamente una radiación, que denominó "radiación uránica", que vela la placa fotográfica. Poco después enunció que: a) la radiactividad en la muestra es mayor cuanto mayor es la cantidad de uranio presente, b) la radiación uránica ioniza el aire y los gases, c) el calor no modifica el fenómeno y, d) la radiación uránica es absorbida por placas metálicas.

Rápidamente Becquerel indujo a P. Curie y éste a su esposa, a que investigaran si otros elementos, además del uranio, emiten espontáneamente esa radiación. Las experiencias de estos científicos dieron comienzo al desarrollo de una disciplina que más adelante sería denominada "Radioquímica"

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

A fines del siglo XIX, nadie conocía qué cosa era esta radiación uránica, cuál era su naturaleza y, menos aún, de dónde proviene la energía radiada. Al respecto, en 1899, ni bien descubierto el fenómeno, se presentaron tres hipótesis específicas acerca del origen de esta energía:

a.- M. Curie: el universo está saturado de radiaciones penetrantes que los radioelementos tienen la facultad de absorber y luego liberar.

b.- W. Crookes: la energía contenida en las moléculas de gases del aire es transformada en radiante al estar en contacto con los radioelementos.

c.- J. Elster y H. Geitel: en el fenómeno radiactivo, el átomo pasa de una estructura inestable a otra más estable liberando energía. Esta última hipótesis –actualmente en vigencia– fue la que menos atención recibió inicialmente de la comunidad científica.

En 1899 E. Rutherford describió dos tipos más de radiaciones que espontáneamente se emiten en el fenómeno radiactivo: alfa y beta, ambas constituidas por partículas con carga eléctrica.

Dentro del marco de las incertidumbres teóricas y experimentales en las que se desarrollaron las experiencias, también se destacan en este siglo XIX los debates entre atomistas y antiatomistas. Los químicos, al aceptar los postulados de Dalton adherían a que los átomos son los componentes esenciales de los elementos químicos, mientras que los físicos antiatomistas, insistían en que la atómica es una hipótesis no verificable y consideraban al átomo como un concepto utilitario pero se negaba su existencia real. Lo cierto es que, originadas en estas primeras investigaciones, aparecieron descripciones, observaciones y experimentos, leyes e hipótesis, sin que los científicos tuviesen una idea teórica cabal de la naturaleza del fenómeno que estaban estudiando. Esto, que no es una característica exclusiva de la investigación del fenómeno radiactivo, ha llevado a equivocaciones pero también a avances significativos y constituyó el panorama inicial en el que las actoras principales de este capítulo debieron desarrollar sus actividades.

En 1900 P. Villard descubrió un tercer tipo de radiación emitida en la producción del fenómeno radiactivo: la radiación gamma. También en ese año M. Planck formuló su teoría cuántica y con la aparición de ésta ocurrirá “un antes y un después” en las ciencias, ya que los principios de la física vigentes hasta ese momento entrarán en crisis como consecuencia de lo cual la ciencia física se dividiría en clásica y moderna. Ya en 1904 los científicos disponían del modelo atómico de Thomson y por ese entonces Rutherford estudió la radiación alfa emitida espontáneamente por el elemento radio y sugirió que estas partículas pueden ser iones helio con dos cargas positivas lo cual fue confirmado experimentalmente por los químicos W. Ramsay y Soddy.

Estos hallazgos mostraban claramente a) que los átomos son divisibles, a tal punto que algunos elementos se descomponen espontáneamente; y, b) que un elemento puede transformarse en otro. Era la primera vez que el hombre veía aparecer un elemento a partir de otro. Dejaban de tener vigencia los principios de indivisibilidad de los átomos y el de permanencia de los elementos. En rigor, el concepto de indivisibilidad sigue siendo válido en las transformaciones químicas, dado que un átomo es la mínima partícula de un elemento que puede participar en un cambio químico.

En 1909 Rutherford, H. Geiger y E. Marsden procedieron a “bombardear” láminas delgadas de oro o mica con partículas alfa de altos valores de energía cinética emitidas desde un elemento radiactivo. Este procedimiento novedoso, quizá la primera aplicación tecnológica del fenómeno radiactivo, permitió que en 1911 Rutherford presentara su modelo atómico y apareciera una nueva disciplina, la “física nuclear”. Por ese entonces, F. Soddy hipotetizó sobre la existencia de “isótopos” de los elementos, esto es, átomos de un dado elemento pero con diferentes masas (Pliego, 2001).

Thomson, en 1912, produjo un método de análisis de los rayos canales y con este equipo F. Aston demostró experimentalmente: a) la existencia de isótopos y, b) algo dramáticamente inesperado: encontró que los átomos de los diferentes elementos estudiados tienen una masa ligeramente menor a un número entero de veces la masa del átomo de hidrógeno. Estos hallazgos impactaron sobre los propios fundamentos en los que hasta ese entonces descansaba la ciencia química, refutando parcialmente la teoría atómica de Dalton y, especialmente, por invalidar la teoría ancestral que inducía a los científicos a pensar que los átomos más complejos se “construyen” desde el átomo más sencillo, esto es, por repetición del átomo de hidrógeno.

En 1913 Rutherford identificó el “número atómico”, Z, deducido por H. Moseley, con la carga positiva del núcleo, estableciéndose una relación biunívoca entre este número y la calidad del elemento.¹ En el mismo año N. Bohr presentó su modelo atómico, dotado de un núcleo y electrones regidos simultáneamente por los principios de la física clásica y los de la cuántica. El modelo y su autor gozaron de prestigio al permitir explicar preliminarmente los espectros de emisión del elemento hidrógeno, el origen de los fotones X, las hipótesis y ley de Moseley y las leyes de J. Balmer y W. Ritz. Sin embargo este modelo, a los pocos años, fue reemplazado por el que aplica exclusivamente las leyes de la mecánica cuántica.

Hubo más experiencias que, con sus resultados, lograron conmovir las bases fundamentales de la ciencia química, concretamente, en 1914, Rutherford logró producir la primera reacción nuclear transformando átomos de nitrógeno en átomos de oxígeno bombardeando a los primeros con partículas alfa. ¡Se había cumplido el sueño de los alquimistas al transformar un elemento en

1. Cada elemento químico tiene un nombre específico; se lo caracteriza por las propiedades atómicas y específicas de la sustancia que está formada exclusivamente por ese tipo de átomos.

otro! El padre del modelo nuclear del átomo, con esas experiencias daba comienzo a la "química nuclear".

En 1920 Rutherford comenzó a pensar en la existencia de una partícula constituyente del núcleo atómico, con una masa similar a la del protón y sin carga eléctrica. Diez años más tarde, E. Lawrence creó un ciclotrón, un acelerador artificial de partículas, lográndose así que las mismas pudiesen tener valores de energía cinética mayores que aquellas emitidas espontáneamente en el fenómeno de la radiactividad natural. Este desarrollo tecnológico posibilitó, en 1932, el comienzo de la segunda etapa de los bombardeos a los núcleos atómicos; usando protones o deuterones de alta energía los rendimientos de las transmutaciones eran mayores, pudiéndose concretar con la mayoría de los elementos. En el mismo año, bombardeando cierto isótopo de berilio con partículas alfa, Chadwick descubrió el "neutrón"; como se dijo antes, la existencia de esta partícula ya había sido prevista por su maestro Rutherford y, como se apreciará más adelante, los neutrones serán los actores principales de la historia que estamos relatando y analizando. En este fructífero año 1932, W. Heisenberg propuso que el núcleo atómico está compuesto por protones y neutrones y, desde ese entonces se considera: a) que el número de protones del núcleo es "Z", característico de cada elemento, b) que el número de neutrones en los núcleos de cada elemento puede ser variable, lo cual explica la existencia de los isótopos y, c) que la denominación "nucleón" se refiere tanto a los protones como a los neutrones y que, el "número de nucleones", "A", es un número que resulta de sumar a la cantidad de protones y el número de neutrones del núcleo (Blackwood y cols., 1965).

En 1934 los esposos F. Joliot e I. Curie lograron producir radiactividad artificial usando reacciones nucleares con partículas aceleradas artificialmente.

Los párrafos anteriores han explicitado las experiencias y las épocas en las que aparecieron la Radioquímica y la Química Nuclear. De acuerdo al profesor R. Rodríguez Pasqués (1978), se define la Nucleónica como la ciencia que agrupa tres disciplinas, a saber, Física Nuclear, Química Nuclear y Radioquímica. Éstas se ocupan de la estructura y propiedades del núcleo atómico; del estudio de las transformaciones nucleares, esto es, de los cambios químicos que se producen en los fenómenos radiactivos espontáneos o en las reacciones nucleares; y de los aspectos químicos de las especies radiactivas, respectivamente.

¿QUIÉN FUE MARJA SKLODOWSKA?

¿La conoce el lector? Quizá sí. Creemos que la lectura de estas páginas le ayudará a conocerla más y, posiblemente, a incrementar la base en la que sustenta su propia imagen de la ciencia.

Algunos datos sobre esta mujer y su entorno

Nació el 7 de noviembre de 1867 en la ciudad de

Varsovia (Polonia). Sus padres fueron L. Sklodowska, profesor de física y matemáticas de instrucción media y B. Boguska, maestra, pianista y cantante. En esa época, Polonia era un país pobre, ocupado por una potencia extranjera, proclive a prohibiciones, persecuciones y represalias políticas, por ejemplo, a su padre. Cuando niña, su familia sufrió penurias económicas. Su madre murió de tuberculosis, en 1878, cuando Marja tenía solamente once años de edad. La precaria condición económica de su familia no le permitió seguir sus estudios, así es que viajó al campo en donde impartía clases de matemáticas y de física a los niños. Después de dos años regresó a la ciudad y, como la universidad de Varsovia no admitía mujeres, recibió clases en la "universidad ambulante", una organización considerada clandestina por los ocupantes de Polonia. Simultáneamente trabajó de niñera y dictaba clases, destinando una parte de sus escasos ahorros para que una de sus hermanas pudiese estudiar. De joven tenía aspecto tímido, muy seria y vestía austeramente, comentándose que, durante un tiempo, toda la ropa que tenía era la que llevaba puesta.

A la edad de 24 años, fuera de su país natal, comenzó a sufrir el rechazo a los inmigrantes y la discriminación hacia las mujeres lo cual provocó, en los comienzos, una notoria falta de justos reconocimientos. Durante sus estudios vivió en una modesta bohardilla y el poco dinero que disponía no le permitía calefaccionarse y alimentarse correctamente lo cual derivaba en inanición y enfermedades. Su timidez no le permitía hacer amistades y vivía en soledad.

Realizó sus trabajos iniciales en un pequeño depósito de un sótano de la Escuela de Física y Química de París, en condiciones que podrían describirse como inhumanas; la falta de adecuada ventilación provocaba la acumulación de vapores y de gases irritantes y tóxicos que ella respiraba.

En su boda solamente usó un modesto vestido de calle y en su luna de miel, junto a su esposo visitó muy modestas pensiones de diferentes zonas de la campiña. Tuvo dos hijas, Irene y Eve. Su marido murió, aplastado por un carro, en un accidente callejero; este luctuoso hecho ocurrió apenas a los diez años de casados. El Estado le concedió una pensión que ella rechazó inmediatamente.

Su salud fue deteriorándose gradualmente, sufrió numerosas crisis nerviosas y depresiones y envejeció en forma prematura. Esto se debió a la incidencia de varios factores, los que, arbitrariamente pueden agruparse de la siguiente forma: a) cuestiones de las que ella era consciente, como ser, muchas horas diarias de trabajo, la falta de descanso, la mala alimentación, el frío, la inhalación de vapores tóxicos, etc. y, b) cuestiones de las que ella, y el mundo, aún no habían tomado conciencia, esto es, los efectos nocivos de las radiaciones emitidas por los materiales con los que trabajaba. Murió el 4 de julio de 1934, a los 66 años de edad, en Sallanches, población de la Alta Saboya (Francia).

- ¿Sabe ahora de quien se trata?... siga leyendo por favor.

Cronología de sus logros y de los hechos importantes de su vida.

A continuación, para conocimiento y valoración del lector, se detallan cronológicamente los hechos más relevantes de su vida y de sus logros científicos (Curie, 1949; Steele, 2007).

En el año 1883, terminó la escuela secundaria y al poco tiempo comenzó a recibir clases dictadas por grupos clandestinos; ocho años más tarde, con grandes sacrificios económicos, se trasladó a París matriculándose en el curso de ciencias (química, física y matemáticas) de la Universidad de la Sorbona. Diez años después, se licenció en física siendo la mejor de toda la promoción; al año siguiente conoció a Pierre Curie, físico considerado prestigioso por sus trabajos en cristalografía, piezoelectricidad y magnetismo. Fue en ese entonces cuando cambió su nombre Marja por Marie; el 26 de julio de 1895 se casó con Pierre.

Inducida por los hallazgos de Becquerel, en 1897, decidió hacer un doctorado en física y comenzó a trabajar en el tema "radiactividad". Para ello realizó separaciones químicas y mediciones sobre el mineral peblenda (de las mimas de St. Joachimsthal, Bohemia, Austria) usando técnicas químicas de separación, concentración, etc., y para las mediciones de las radiaciones usó los equipos que, basados en la capacidad de las radiaciones de ionizar los gases, había inventado Pierre. Creó el término "radiactividad" y, junto a su esposo, demostró que la misma no resulta de una reacción química de los elementos, sino que es una propiedad inherente de los mismos, concretamente de sus átomos. Ese mismo año nació su primera hija, Irene.

En julio de 1898 los esposos Curie anunciaron el descubrimiento del polonio y el 26 de diciembre revelaron la probable existencia del elemento radio. La contrastación de esta hipótesis involucró dos ciencias: a) la química, con sus técnicas de coprecipitación y recristalización (del radio junto al bario y del polonio junto al bismuto), y la física, para la caracterización espectroscópica de las especies presentes.

En 1900, Marie, para aumentar los ingresos del hogar, trabajó como profesora de la Escuela Normal Femenina de Sèvres y dos años más tarde comenzó a trabajar para determinar el peso atómico del elemento radio.

El año 1903 fue muy rico en logros y reconocimientos: a) Marie terminó su doctorado, "Investigaciones acerca de las sustancias radiactivas", siendo la primera mujer en doctorarse en Francia y la segunda en Europa; b) el Real Instituto de Inglaterra confirió a ella y su esposo la medalla de Dhabí, una de sus más distinguidas condecoraciones; y, c) junto a Becquerel y Pierre, recibió el Premio Nobel de Física, siendo la primera mujer en obtener este premio.

En 1904, mientras su marido formaba parte del claustro de profesores de la universidad de la Sorbona, Marie se desempeñaba como profesora de un colegio de señoritas cercano a Versalles; el 6 de diciembre de ese año nació su hija, Eve.

El 19 de abril de 1906 se produjo la muerte de Pierre en un accidente callejero y el 13 de mayo, el Consejo de la Facultad de Ciencias de la Sorbona otorgó unánimemente a Marie la cátedra en la que se había desempeñado su esposo, constituyéndose así en la primera mujer profesora del nivel universitario en Francia.

Fruto de su gran experiencia en el tema, en 1910, publicó su libro "Traité de radioactivité". Al año siguiente recibió el Premio Nobel de Química siendo así la primera persona de la historia en obtener dos de esos premios. Debieron pasar más de cincuenta años para que otro científico mereciera este reconocimiento por segunda vez (L. Pauling, 1954 y 1962). Ese año, 1911, se llevó a cabo la primera Conferencia Solvay a la que ella fue invitada a participar junto a los científicos más prestigiosos de la época. En esta conferencia se trató el tema "Radiación y Cuantos" y quedó definitivamente aceptada la existencia de los átomos. Hasta 1933, concurrió a todas las Conferencias Solvay que se desarrollaron.

Los cruentos sucesos de la primera guerra mundial produjeron fuertes cambios en sus ocupaciones. En 1914, el Instituto Pasteur y la Universidad de la Sorbona crearon el "Instituto del Radio" y Marie fue nombrada su directora. Su accionar en esta institución fue determinante para a) la formación de equipos de expertos en técnicas radiológicas para la aplicación de rayos X en los hospitales de París que recibían grandes cantidades de soldados heridos; y, b) la creación de grupos de lucha contra el cáncer propiciando el uso de las radiaciones del elemento radio. También se desempeñó como directora del Servicio de Radiología de la Cruz Roja dirigiendo la construcción de aparatos portátiles de rayos X y de "ambulancias radiológicas" para asistir a los heridos en los campos de batalla.

Tras la guerra, en 1921, realizó una serie de conferencias internacionales con el objetivo de divulgar los beneficios de las aplicaciones del radio contra el cáncer y recaudar fondos para poder disponer de 1 g de este elemento lo cual se logró mediante una colecta de mujeres estadounidenses.



Marja Skłodowska (Marie Curie)

En el mes de mayo de 1934, víctima de una fuerte gripe, cayó en cama y no volvió a levantarse. Su muerte se produjo el día 4 de julio, a los 66 años de edad, en Sallanches, de la Alta Saboya, Francia. La causa más probable fue la anemia aplásica, debida a sus exposiciones a las radiaciones del elemento radio. Ese mismo año su hija Irene junto a su esposo F. Joliot lograron crear la radiactividad artificial, esto es, obtenían núcleos radiactivos mediante reacciones nucleares con partículas alfa y núcleos blancos no radiactivos.

Desde 1995 los restos de Marie descansan en el Panteón de París, junto a los de su esposo, a los del escritor Víctor Hugo, a los del político Jean Jaurès y a los del miembro de la resistencia francesa Jean Moulin.

- Bueno ... ahora, sin dudas, usted sabe quién fue esta mujer. ¿Imaginaba que esta niña polaca, con tantos inconvenientes y sufrimientos en el camino, hubiese podido concretar semejantes logros?

A continuación presentaremos a Lise Meitner. Posteriormente realizaremos algunas reflexiones acerca de la vida y logros de estas dos científicas así como también sobre algunos aspectos inherentes a la construcción de la ciencia.

¿Quién fue Lise Meitner?

Es sabido que Einstein consideró a L. Meitner como una de las mejores científicas experimentales de la física en el ámbito alemán. Al respecto, en una oportunidad, expresó "Es nuestra Marie Curie". ¿Quién fue esta mujer para recibir de Einstein tan grande halago? A continuación presentaremos un esbozo de su vida, de los acontecimientos científicos de esas épocas y de sus importantes logros en investigación (Lewin Sime, 1996; Rife, 1999; Pelacho Aja, 2008).

Nació en Viena en 1878 y sus padres, de origen judío, fueron P. Meitner y H. Skovran. Ya desde niña se mostró entusiasta del piano y de la ciencia en general. Al igual que sus hermanos no fue educada en el judaísmo y, cuando joven, asumió el protestantismo. Justo cuando alcanzó la edad universitaria se levantaron en Austria las limitaciones a las mujeres para que accedieran a los estudios superiores.

Debido a su gran apego por el trabajo experimental, en 1901 decidió estudiar física en la Universidad de Viena bajo la dirección de L. Boltzmann y, entre los años 1905 y 1906, realizó su tesis doctoral siendo la segunda mujer que se doctoró en física en esa universidad.

Posteriormente, 1907, se trasladó a Berlín para estudiar con M. Planck, al cual veía como el científico ideal, quedando como su ayudante en la medición de la longitud de onda de los rayos X y gamma. Seguidamente pasó a trabajar con el radioquímico Otto Hahn en el Kaiser Wilhelm Institute for Chemistry de la Universidad de Berlín que dirigía Emile Fischer. Como este profesor no veía con agrado que las mujeres entraran a trabajar en la institución, durante los dos primeros

años debió trabajar en un incómodo e inapropiado sótano.

En 1918 junto a Hahn descubrió el elemento químico protactinio, Pa. En esa época es nombrada directora del instituto antes mencionado y jefa del Departamento de Física y, en 1926, fue la primera profesora universitaria de física en la Universidad de Berlín, desempeñándose hasta 1933.

Como se relatara en la introducción, en 1932, Chadwick descubrió el neutrón, describiéndolo como una partícula de masa similar a la del protón pero sin carga eléctrica. Esto hizo que los neutrones fueran considerados de elección para las prácticas de colisiones con núcleos ya que al no tener carga positiva, como los protones, deuterones o partículas alfa utilizados hasta entonces, no serían repelidos por los núcleos blancos y se obtendrían mejores resultados.

En 1933, Meitner fue invitada a participar en la Conferencia Solvay, junto a los más prestigiosos científicos de la época, para tratar el tema "Estructura del núcleo", compartiendo la reunión con Marie Curie. Luego de la guerra, volvió a ser invitada en 1948 para tratar el tema "Partículas elementales y sus interacciones".

Alrededor del año 1934 varios equipos de científicos practicaban colisiones de neutrones sobre blancos de uranio: a) Rutherford; b) el matrimonio Joliot - I. Curie, y Fermi; y, c) el trío Hahn - Meitner - Strassmann (un joven de la química analítica). Es conocido que Meitner no solamente participó en las investigaciones sino que, precisamente, fue ella la que formuló al equipo la propuesta de desarrollar esa línea de investigación. Según la teoría de la química nuclear vigente por esa época, y sostenida por el propio Fermi, las mencionadas colisiones deberían producir núcleos transuránidos, es decir, de mayores masas que la del uranio.

En 1938, Alemania ocupó Austria. Esto, junto a las persecuciones raciales que se venían desarrollando desde hacía un tiempo, determinó que Meitner abandonase Alemania y se exiliase en Suecia. Allí continuó sus investigaciones en un Instituto de la Universidad de Estocolmo, aunque con escaso apoyo de su director debido, probablemente, a la existencia de prejuicios sobre el accionar de las mujeres en las ciencias. Contó, eso sí, con la importante ayuda de N. Bohr. Trabajó con su sobrino, O. Frisch, y mantuvo esporádicos contactos clandestinos con Hahn, con vistas a preparar experimentos referidos al bombardeo de núcleos pesados con neutrones. Resultado de estos proyectos clandestinos, Hahn y Strassmann comenzaron el análisis de elementos producidos en las mencionadas colisiones: sus resultados, sin interpretación teórica alguna, fueron publicados el 6 de enero de 1939 en la revista *Die Naturwissenschaften* (vol. 27); allí aclaraban que los resultados encontrados estaban "en oposición a todos los fenómenos observados hasta el presente en la física nuclear", ya que no se producía un elemento más pesado que el uranio (como indicaba la teoría vigen-

te), sino los elementos bario ($Z = 56$) y kriptón ($Z = 36$). Fue tal la desorientación que estos resultados produjeron que ellos mismos escribieron: *“Como químicos, esta investigación debería conducirnos a cambiar todos los nombres del esquema de reacción y a escribir Bario, Lantano y Cerio, en lugar de Radio, Actinio y Torio. Pero como químicos nucleares, con una relación estrecha con la física, no podemos decidirnos a ello, ya que contradeciría todas las experiencias previas de la física nuclear. Puede ser que una serie de accidentes extraños haga que nuestros resultados no respondan a lo esperado”* (Pliego, 2001). En el mismo año Meitner y Frisch publicaron sus resultados en la revista *Nature* (vol. 43) incluyendo la interpretación teórica de los fenómenos que ocurren en las mencionadas colisiones y, presentando, el concepto “fisión nuclear”. Concretamente, teniendo en cuenta el “modelo de la gota líquida”, propuesto por Bohr para los núcleos atómicos, consideraron que, en las colisiones con neutrones, los núcleos bombardeados podían dividirse en dos partes de masas similares junto con la liberación de dos o tres neutrones y gran cantidad de energía, lo cual quedaba explicado al considerar la equivalencia masa-energía formulada por Einstein en 1905. Así Meitner pudo interpretar que en las colisiones con neutrones el núcleo de uranio se rompe en dos partes de masas similares, concretamente los núcleos de bario y de kriptón que tanto desorientaron y desvelaron a Hahn y Strassmann. Resumiendo, el hecho experimental, esto es, el hallazgo e identificación de los átomos de bario y de kriptón, en lugar de los esperados núcleos más pesados que el uranio, ocurrió en el laboratorio de Hahn y Strassmann mientras que el marco teórico, que permitió la explicación del proceso y, lo que a nuestro juicio es muy importante, el posterior desarrollo del tema, fue formulado por Meitner.

Hasta ese entonces no existía ninguna teoría que explicara la fisión de los núcleos pesados y, menos aún, nadie podía imaginarse que estaba por comenzar la “era atómica”. Posteriormente Fermi concluyó que en las colisiones con neutrones de baja energía, los núcleos de uranio pueden captar un neutrón y posteriormente producir neptunio ($Z = 93$), o bien, pueden

fisionarse en dos fragmentos de masas similares, liberándose gran cantidad de energía y dos o tres neutrones por fisión, tal lo publicado por Meitner y Frisch.

Durante los años de la segunda guerra mundial O. Hahn abandonó Alemania para radicarse en el Reino Unido y posteriormente, en 1945, se le otorgó el Premio Nobel de Química por el descubrimiento de la fisión nuclear.

Meitner nunca recibió el premio Nobel, ni por el descubrimiento del Protactinio ni por la brillante interpretación del mecanismo de la fisión nuclear del uranio. Recibió los siguientes reconocimientos: cinco doctorados honoris causa, la medalla de oro Max Planck en 1949, el premio Otto Hahn de Física y Química en 1955, el premio Enrico Fermi en 1966 y, en 1997 en su honor, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada impuso el nombre Meitnerio (Mt) al elemento número 109, descubierto en 1982, por P. Ambruster y colaboradores en la Sociedad para la Investigación de Iones Pesados de Darmstadt, Alemania.

En 1960, se instaló en Inglaterra. Murió en 1968 en Cambridge.

Algunas reflexiones y comentarios finales

La incidencia del azar

Al repasar los hechos científicos relacionados con el descubrimiento de la radiactividad nos hemos encontrado dos veces con la palabra “azar”. Veamos:

a.- El descubrimiento de los rayos X se atribuye a Roentgen porque él tomó conciencia de la producción de estos rayos, cuando los mismos incidieron en una pantalla de material fluorescente que se encontraba por casualidad en el laboratorio.

b.- En el descubrimiento de la radiactividad natural también el azar fue protagonista. La falta de sol en los días de experimentación hizo concluir que las radiaciones emitidas por los minerales de uranio son inherentes al elemento e independientes de las condiciones experimentales.

La historia de las ciencias relata muchos más casos en los que el azar estuvo presente. Por ejemplo, durante el desarrollo de las experiencias de fisión nuclear que practicaba Fermi ocurrió un hecho fortuito: el rendimiento de las reacciones nucleares parecía depender de la calidad de las sustancias que, casualmente, rodeaban al equipo de experimentación. Esto llevó a Fermi y colaboradores a seguir investigando. Al interpretar los resultados descubrieron que el rendimiento de las reacciones nucleares con neutrones mejoraba cuando éstos tenían velocidades bajas. Concretamente, el rendimiento de la reacción nuclear aumentaba al pasar los neutrones por sustancias con átomos de hidrógeno, como el agua, en las que los neutrones se “termalizan”, esto es, pierden velocidad hasta tener las velocidades de las moléculas.



Lise Meitner

las de los gases a la temperatura ambiente².

La presencia e influencia del azar en las investigaciones de las ciencias experimentales ha servido, como una excusa más desde los sectores relativistas radicales, para intentar deteriorar la imagen racional de las mismas. Tal como dice textualmente J.A. Gallegos (1996): *"Desde un punto de vista más filosófico, además, se podría plantear la discusión de si es posible eliminar el azar en el proceso de investigación, siendo así que la casualidad parece ser un constitutivo esencial de la trama de lo real. De todas formas, el descubrimiento científico propiamente dicho, sí que parece residir precisamente en la capacidad de interpretar y reproducir las series causales de fenómenos que han coincidido en un determinado momento"*. Es nuestra opinión que en este grupo de experiencias lo más importante fue el reconocimiento de esos resultados inesperados y la aplicación de un marco de trabajo riguroso lo cual permitió a los investigadores reflexionar acerca de lo que había ocurrido inesperadamente. Posteriormente, aplicando un modelo teórico válido los científicos pudieron explicar la ocurrencia de lo inesperado, tal como Meitner pudo explicar el fenómeno de la fisión nuclear del uranio aplicando el modelo nuclear de Bohr.

Finalmente, en el mismo sentido, A. Kantorovich y Y. Ne'eman (1989) sostienen una hipótesis neodarwiniana, la que sugiere que, al igual que las especies vivas evolucionan por errores de transcripción del ADN, la ciencia y la investigación científica, evolucionan, a partir de estos encuentros casuales. A esta situación la denominan "serendipity", o serendipia, y supone que los avances son más espectaculares cuanto más inesperados son esos encuentros.

3.2.- ¿Qué consecuencias tuvieron las experiencias de fisión nuclear?

En el mismo año de los hallazgos de Hahn, Meitner, Strassmann y Frisch, el propio Fermi sugirió la posibilidad de producir una reacción en cadena auto-sostenida, en la cual los mismos neutrones emitidos por la reacción de fisión servirían para generar nuevas fisiones. A continuación, aplicando la expresión de equivalencia masa-energía formulada por Einstein, se pudo estimar que la energía liberada en los procesos de fisión podría alcanzar valores verdaderamente impresionantes. Por ejemplo, si solo se fisiona el 10% de los átomos presentes en una masa de 1 kg de uranio, se liberaría una energía equivalente a la explosión de 2.000.000 kg de TNT (trinitrotolueno).

¡Nunca antes el hombre había tenido en sus manos una fuente de energía tan poderosa! En 1939, varios científicos del área nuclear sugirieron a Einstein que enviara una carta al presidente de Estados Unidos de América, F. D. Roosevelt, resaltando la enorme fuente de energía que significaba la fisión nuclear y advirtiéndole que Alemania desarrollaría bombas con esa tecnología devastadora.

En 1940, los científicos de Estados Unidos de Norteamérica decidieron suprimir toda información acerca de la fisión nuclear y, al siguiente año, el presidente Roosevelt autorizó la construcción de armas atómicas. El 2 de diciembre de 1942, Fermi logró la primera reacción en cadena. Lo que siguió es conocido: después de las pruebas llevadas a cabo en zonas desérticas de EEUU –Los Álamos–, las bombas de fisión fueron utilizadas en 1945 sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki.

¿Cuántas preguntas pueden hacerse!, por ejemplo: ¿qué harían las naciones, los políticos, los científicos y los ciudadanos?, ¿se debería seguir investigando y desarrollando el tema?, ¿se debería seguir publicando los resultados de esas investigaciones?, ¿fue correcto no informar a los ciudadanos sobre la marcha de las mismas?, ¿fue correcto no formar a los ciudadanos para que ellos, al ser consultados, pudiesen expresar una opinión consciente al respecto?, ¿están ocurriendo actualmente las mismas omisiones respecto de actuales desarrollos científicos de alto impacto en la sociedad como, por ejemplo, la genética y sus aplicaciones tecnológicas?

M. Curie y L. Meitner más allá de sus investigaciones científicas

Al repasar las vidas de estas dos mujeres, inevitablemente, en forma simultánea, van surgiendo sus valores y convicciones, sus formas de pensar y, en consecuencia, los compromisos que asumieron y las acciones, obras, luchas, etc., en las que participaron ante la realidad que les tocó vivir (Muñoz Páez, 1996; Ordóñez y cols., 2003; Solís y col., 2005; Vilte y col., 2007; Borrego Gutiérrez, 2008).

Marie Curie

Fue la primera en muchos logros importantes y éstos cobran aún más relevancia al tener en cuenta todas las vicisitudes que debió sortear (Sánchez Ron, 2003). En todos los roles del género mujer en los que actuó (hija, hermana, esposa y madre) se mostró comprometida, humanista y tenaz, también podemos concluir que fue una gran persona (Álvarez Lires, 2000; Dio Bleichmar, E. (2006).

Existieron diversos e importantes determinantes para explicar sus acciones y logros. El siguiente es un listado incompleto de los mismos y su orden de presentación no implica categorización alguna:

a) Contaba con una sólida formación en ciencias básicas (matemática, física y química) y se mantuvo constantemente actualizada.

b) Mostró siempre devoción por el trabajo, con inquebrantable voluntad, valor y marcado sentimiento de independencia personal. Su obstinación la hacía tenaz e invencible, dedicando muchas horas de cada día al estudio y a la investigación. Durante meses y meses molía las rocas de los minerales a tratar, experimen-

2. Esta propiedad también se denomina "moderación".

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

taba, hacía mediciones y anotaciones, analizaba e interpretaba los datos experimentales en busca de una teoría del fenómeno radiactivo, limpiaba el material del laboratorio, etc.; y así, ganó la admiración y el respeto de sus colegas no utilizando su condición de mujer para obtener ningún tipo de concesión (Alcalde, 2005; Acosta López, 2008). Durante cuatro años trabajó sin desmayo y obstinadamente en las deplorables condiciones físicas de la barraca y esto la hacía admirable. Sus propias palabras lo aclaran perfectamente: *“A pesar de todo, en aquella miserable barraca pasamos los mejores y más felices años de nuestras vidas, consagrados al trabajo. A veces me pasaba todo el día batiendo una masa en ebullición con un agitador de hierro, tan grande como yo misma. Al llegar la noche estaba rendida de fatiga”*.

c) De acuerdo a la imagen que tenía de las ciencias y de sus desarrollos, Marie trabajó para que éstos sirviesen para el bienestar de la humanidad. Estas convicciones, junto a su evidente nobleza de espíritu, explican que, aun a despecho de la posible estabilidad económica que podrían haber logrado, los esposos Curie no sólo no patentaron las técnicas de aislamiento del elemento radio sino que las hicieron conocer desinteresadamente para que, prioritariamente, cualquier científico francés o extranjero pudiese buscarles aplicación y para que los empresarios pudiesen encarar la obtención industrial del elemento.

d) Su conciencia social, poderoso motor actitudinal de toda su vida, quedó eternamente plasmada en su trabajo con los soldados heridos. Su enfático rechazo a la guerra fue creciendo desde niña; había conocido esos horrores cuando Polonia fue ocupada por las fuerzas rusas. En su autobiografía escribió: *“Para odiar la idea misma de la guerra debería bastar con ver una sola vez lo que yo viví tantas veces durante aquellos años”* (Curie, 1949). Seguramente esa profunda marca emocional influyó para que decidiese paliar los sufrimientos en las trincheras desarrollando equipos de rayos X y formado los recursos humanos necesarios para el uso de esa tecnología en los soldados heridos.

e) Su amor por la educación y la importancia que asignaba a la formación universitaria. En el siguiente relato queda claramente expresado el gran valor que Marie les atribuía para el futuro de las naciones y de sus pueblos. Ni bien estalló la guerra, Irene, horrorizada, escribió una carta a su madre diciéndole que quería ser útil y preguntando qué cosa podría hacer para ello. La respuesta fue: *“Si no puedes trabajar ahora mismo por Francia, trabaja por su futuro; mucha gente faltará, por desgracia, al acabar la guerra. Estudia física y matemáticas con todas tus fuerzas”* (Curie, 1949). Con el tiempo, Irene y su esposo recibirían el Premio Nobel de Física.

f) la familia y, especialmente, la educación de las hijas, que asumió casi en soledad después de la muerte de Pierre, constituyeron, conjuntamente con la investigación científica y la docencia universitaria, los altos valores de su vida.

Lise Meitner

Al igual que M. Curie en sus comienzos, debió desarrollar sus investigaciones en un ambiente laboral no muy afecto a la participación de las mujeres que, a priori, ponía en duda la capacidad intelectual de las mismas. Y esto, creemos, no debe subestimarse ya que ocurrió en dos etapas muy importantes de su vida: al comenzar sus trabajos en Berlín y cuando debió encarar una nueva vida en el exilio. La invasión de Alemania a Austria y la persecución a las familias de origen judío que se realizaban en esas épocas, sin dudas, agregaron a su vida mayor grado de incertidumbre y de angustia.

Sus logros científicos tuvieron escasa trascendencia en el público y puede señalarse que, probablemente, por su carácter reservado nunca realizó declaraciones reivindicatorias de su participación en las experiencias que llevaron a reconocer la existencia de la fisión nuclear del uranio y de su brillante interpretación teórica. Sus declaraciones y sus acciones públicas, en cambio, siempre se enmarcaban a favor de la paz mundial, es decir, en el estricto sentido del uso pacífico de la energía nuclear y en franca oposición al desarrollo de armas nucleares.

Actualmente Lise es considerada como una de las más grandes científicas de la física moderna. Fue propuesta para el premio Nobel en varias oportunidades y entre sus patrocinadores figuraron Planck y Heisenberg, pero nunca tuvo éxito. Recordemos que ella: a) fue determinante para que el grupo de investigación, que formaba junto a Hahn y Strassmann, trabajara en las colisiones del uranio con neutrones y, b) interpretó el fenómeno de fisión nuclear y, con ello, entre otras cuestiones de naturaleza científica, redujo notoriamente la incertidumbre de las expresiones vertidas por Hahn y Strassmann en el volumen 27 de la revista *Die Naturwissenschaften*. Sin embargo, no hubo Nobel para ella y sí para Hahn que lo recibió en 1945 por *“su descubrimiento de la fisión de núcleos pesados”*.

¿Cuales fueron las razones para que Meitner no recibiera el premio? Como el lector seguramente supone, hasta el día de hoy, esta pregunta no tiene respuesta y ello es determinante para hacernos otras preguntas, por ejemplo las siguientes, y pasar entonces al plano de las interpretaciones y valoraciones personales. ¿Serán estas las posibles causas?:

a.- La disminución de sus contactos con otros científicos cuando emigró a Suecia y, por lo tanto, la pérdida de posibles ayudas, relaciones e influencias?

b.- Su decisión de emigrar a un país supuestamente neutral en la segunda guerra mundial en lugar de hacerlo a un país aliado, como lo hizo Hahn?

c.- Su rechazo, en 1943, a la invitación de los países aliados para colaborar con las investigaciones del proyecto Manhattan, las que tenían como objetivo fundamental la fabricación de armas nucleares?

d.- La interpretación de ese rechazo por parte de los aliados como una posible ayuda de Meitner hacia Alemania en la carrera armamentística?

Es factible que puedan plantearse otras preguntas similares a estas y al formularlas, al igual que al hacerlo con las anteriores, estaríamos aceptando la existencia de influencias entre los grupos de científicos y ciertas instituciones y, por lo tanto, negando el carácter neutral de las ciencias.

Referencias bibliográficas

- Acosta López, M.(2008). Marie Curie: pasión por la investigación científica. *Serie Ámbitos de la Mujer*, número 3. Madrid, CEU Ediciones.
- Alcalde, J. (2005). *Las luces de la energía. Personajes que iluminaron al mundo con su energía*. Madrid, Fundación Iberdrola.
- Álvarez Lires, M. (2000). La difícil identidad de las científicas. *Tabanque*, 15, pp. 19 -37.
- Blackwood O. H.; Osgood T. H.; Ruark A. E.; Hutchisson E.; Scott G. A. y Worthing A. G. (1965). *Física Atómica General*. Buenos Aires. Editorial Universitaria de Buenos Aires
- Borrego Gutiérrez, J. (2008). La mujer en la historia de la ciencia. *Serie Ámbitos de la Mujer*, número 3. Madrid, CEU Ediciones.
- Curie E. (1949). *La Vida Heroica de Marie Curie*. Buenos Aires, Espasa Calpe.
- Dio Bleichmar, E. (2006). ¿Todas Madame Curie? Subjetividad e identidad de las científicas y tecnólogas. <http://www.aperturas.org/articulos.php?id=0000419&a=Todas-Madame-Curie-Subjetividad-e-identidad-de-las-cientificas-y-tecnologas>.
- Gallegos, J.A. (1996). Reflexiones sobre la ciencia y la epistemología científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 321–326.
- Kantorovich, A. y Ne'eman, Y. (1989). Serendipity as a Source of Evolutionary Progress in Science. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 20(4), pp. 505-529
- Lewin Sime, R. (1996). *Lise Meitner: A Life in Physic*. Berkeley, University of California Press.
- Muñoz Páez, A. (1996). Algunas contribuciones de la mujer a las ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 14 (2), pp. 233-237.
- Ordóñez, J.; Navarro, V.; y Sánchez Ron, J.M. (2003). *Historia de la Ciencia*. Madrid, Espasa Calpe.
- Pelacho Aja, M. A. (2008). Lise Meitner y la fisión nuclear. *Serie Ámbitos de la Mujer*, número 3. Madrid, CEU Ediciones.
- Pliego, O.H. (1993). El camino hacia el conocimiento del átomo. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, 224 (1), pp. 2-21.
- Pliego, O. H. (2001). *Los radionucleídos y sus aplicaciones*. Rosario, Argentina, Editorial Magenta Impresos.
- Rife, P.(1999). *Lise Meitner and the Dawn of the Nuclear Age*. Boston, Editorial Birkhäuser.
- Rodríguez Pasqués, R.(1978). *Introducción a la Tecnología Nuclear. Su desarrollo y perspectivas en América Latina*. Buenos Aires. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Sánchez Ron, J.M.(2003). Marie Curie y su tiempo. Barcelona, Editorial ABC.
- Solís, C. y Sellés, M.(2005). *Historia de la Ciencia*. Madrid, Espasa Calpe.
- Steele, G. P. (2007). *Biografía de Marie Curie. La mujer que cambió el curso de la ciencia*. Madrid, Ediciones Altea.
- Vilte, M. y Perales, M. A. (2007). Pioneras de la ciencia: Ellas hacen física. *Anales de la Asociación Física Argentina*, 19, pp. 17 – 26.

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

***DEVENIR Y PORVENIR
DE ÁREAS DE LA
QUÍMICA***

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

17

QUÍMICA MEDICINAL: UNO DE LOS PILARES EN LA FORMACIÓN DEL PROFESIONAL FARMACÉUTICO

Dra. Albertina Moglioni

*Cátedra de Química Medicinal, Facultad de Farmacia y Bioquímica,
Universidad de Buenos Aires.
E-mail: amogli@ffyb.uba.ar*

Química Medicinal, Química Médica, Química Farmacéutica, Farmacoquímica, son nombres equivalentes que se aplican actualmente tanto en la formación de pregrado como en la de postgrado en el ámbito nacional e internacional, para denominar a esta disciplina científica. El reconocimiento como tal, por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) ha alcanzado los jóvenes cuarenta años de vida, desde 1970 cuando en su Boletín N° 13, dicha organización adopta el nombre de Medicinal Chemistry, define su contenido y hace una puesta al día de sus "status" como ciencia a nivel internacional. Dicha definición enuncia: "A la Química Medicinal le incumbe el descubrimiento, desarrollo, la identificación e interpretación en el ámbito molecular del modo de acción de compuestos biológicamente activos. También le concierne el estudio, identificación y síntesis de productos metabólicos de fármacos y compuestos relacionados". La definición que la IUPAC enuncia hoy versa: QUÍMICA MEDICINAL es una disciplina basada en la química, que involucra también aspectos de las ciencias biológicas, médicas y farmacéuticas. Se ocupa de la invención, descubrimiento, diseño, identificación y preparación de compuestos biológicamente activos, el estudio de su metabolismo, la interpretación de su modo de acción a nivel molecular y la construcción de la RELACIÓN ESTRUCTURA-ACTIVIDAD (REA) (*Chemistry and Human Health Division Medicinal Chemistry Section* (1998). Menos formalmente, pero muy acertadamente, el Dr. Glenn Ulliyot ha definido a la Química Farmacéutica como una materia que aplica los principios de la química y de la biología a la creación de conocimientos que lleven a la introducción de nuevos agentes terapéuticos. Así, el químico farmacéutico no sólo será un químico orgánico competente sino que deberá poseer una sólida base en ciencias biológicas, particularmente de bioquímica y farmacología.

Según Burger, la **química del medicamento** "trata de fundamentarse en la esperanza, siempre creciente, de que es posible encontrar una razón bioquímica que justifique el descubrimiento de nuevos fármacos". En cambio, el mismo autor describe la **química farmacéutica** como una disciplina que trata principalmente de la modificación de estructuras que posean una acción fisiológica bien conocida, así como del análisis de los fármacos. En la práctica, la **química de los fármacos** incorpora ambos tipos de finalidades, aunque la investigación acerca de los procesos bioquímicos a través de los fármacos que ejercen su acción beneficiosa se ha convertido en la actividad primaria de los científicos que trabajan en este campo. Dicha investi-

gación se ha ramificado en dos áreas principales: una esencialmente biológica y la otra fundamentalmente fisicoquímica. La dirección biológica ha obligado al químico farmacéutico a adoptar las técnicas de trabajo de la enzimología y de la farmacología. El aspecto fisicoquímico lo ha convertido en especialista en mecánica cuántica o en espectroscopía. Por otra parte, muchos investigadores han dedicado su atención en la búsqueda de una correlación, o tan solo algún punto de contacto, entre los resultados de las medidas bioquímicas y los cálculos fisicoquímicos. La misión principal del químico farmacéutico es todavía el descubrimiento de nuevos fármacos, pero el conocimiento de los procesos en que se basa la acción bioquímica ha de ser de enorme valor para el diseño de los mismos. En la actualidad se emplean cálculos de orbitales moleculares, o de otro tipo capaces de elucidar los aspectos electrónicos o conformacionales de las moléculas, con el fin de posibilitar una predicción de cuáles son las estructuras que presentarán una actividad biológica selectiva óptima, basándose en determinadas propiedades físicas y bioquímicas.

Haciendo un poco de historia es conveniente citar los orígenes de esta ciencia en el denominado período precientífico, donde se encontraban en uso productos naturales con una tradición de remedio popular, aunque la parte de la terapéutica actual que se basa en el uso de tales compuestos es realmente pequeña. Algunos de los productos naturales que se emplean, sea como tales o en forma de derivados, a menudo se utilizaron otrora con distintos fines, tales como venenos para flechas, complementos para rituales religiosos o de otro tipo, o incluso cosméticos. Algunos ejemplos de este tipo de sustancias son el opio, la belladona, la corteza de quina, el cornezuelo del centeno, el curare, la nuez moscada, el haba del calabar, la digital y la escila. Muchas drogas empleadas originalmente como remedios populares se han abandonado hoy día.

La evidencia arqueológica y las semillas fosilizadas de amapola sugieren que el hombre de Neanderthal pudo haber utilizado la amapola de opio hace treinta mil años. Menos polémico, es la primer referencia escrita conocida del uso de la amapola, que aparece en un antiguo texto sumerio alrededor de 4.000 a. C. El emperador Sheng Nung utilizó, 3000 a. C., la droga bruta chang shan contra la malaria. Plinio en el 50 d. C. introdujo el aspidium para el tratamiento de la helmintiasis. Galeno, a pesar de que su inútil procedimiento de tratar las enfermedades con pequeñas cantidades de productos naturales, introducido durante el siglo segundo después de Cristo, prevaleció durante

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

unos 1500 años.

Theophrastus Paracelsus (1493-1541), se vio irónicamente frustrado en sus intentos infructuosos de introducir durante su vida el empleo del láudano (tintura de morfina) para calmar el dolor y el del tártaro emético, un antimonial todavía en uso, contra la terrible esquistosomiasis. Paracelso fue el primer médico o científico que estableció la paradoja de que las medicinas pueden ser a la vez beneficiosas y peligrosas. Fue Paracelso, un ardiente defensor de la quimioterapia quien consiguió que la Farmacia orientase sus caminos hacia la obtención de medicamentos de naturaleza química. Paracelso intentó simplificar las fórmulas complicadas tradicionales que dominaban en su época. Buscaba una terapéutica sencilla y a la vez abría un nuevo camino: el de la utilización en medicina de los medicamentos del reino mineral, los medicamentos químicos tan poco empleados hasta entonces en Occidente. Sus preparados farmacéuticos tales como el Elixir de la propiedad, el Específico Anodino, el *Espiritus vitrioli antiepilepticus*, más tarde conocido como Licor de Hoffman, se encontraron en formularios terapéuticos posteriores. Paracelso concibió a la alquimia no como un camino para obtener el oro sino para sacar los secretos de la naturaleza; y especialmente vio en ella el mejor camino para obtener medicamentos de la naturaleza. Con ello abría las puertas a dos nuevas ciencias enteramente ligadas a Farmacia y Medicina: la Bioquímica y la Quimioterapia. Paracelso sostenía que los procesos fisiológicos eran procesos químicos regidos por fuerzas vitales o espíritu. Una enfermedad ocurría cuando una fuerza vital no gobernaba adecuadamente. Los agentes químicos hacían que el espíritu estableciera el equilibrio. A este concepto, que ya provenía de Galeno, él le agregaba lo correspondiente a la química (a la alquimia, en aquel entonces). Paracelso anticipó la química biológica en una época en que los principios de la biología y los principios de la química eran igualmente desconocidos. Sus libros provocaron gran agitación en el campo de la química y muchos químicos de los siglos XVI y XVII fueron sus discípulos. Fue más químico que médico y ejerció una influencia mucho más profunda sobre los progresos de la química que sobre los de la medicina.

La Farmacia, que nace como profesión con los árabes y que a través de la Carta Magna de la Farmacia, dictada por Federico II en 1241, se separa oficialmente de la Medicina, alcanza en el Renacimiento su mayoría de edad. Enconadas rivalidades surgieron entre médicos y farmacéuticos sobre sus prerrogativas y su jerarquía profesional. Aparecen en el siglo XV las primeras obras dedicadas exclusivamente al farmacéutico como las de Saladino de Ascolo, Quiricus de Augustus y Mallus de Bosco, en Italia y Pedro Benedicto Mateo, en España. La profesión farmacéutica adquirió una firme base debido en gran medida, a la consolidación de los gremios, las licencias y los reglamentos y al establecimiento de ciertas normas en la enseñanza y el aprendizaje. Durante el Renacimiento, la mayoría de los farmacéuticos tenían que llevar a cabo, durante sus estudios, un largo aprendizaje.

Un hecho importante es el acaecido en 1588 cuando los boticarios de **Montpellier** solicitaron de dicha **universidad** un curso farmacológico. El gremio de

boticarios aportó una subvención para el proyecto y la cátedra fue ocupada por el maestro farmacéutico Bernardino de Ranc, el primero de su profesión admitido en el campo docente de la universidad europea. Medio siglo más tarde se creó la cátedra de Cirugía y Farmacia y en **1675 la de Química Farmacéutica**.

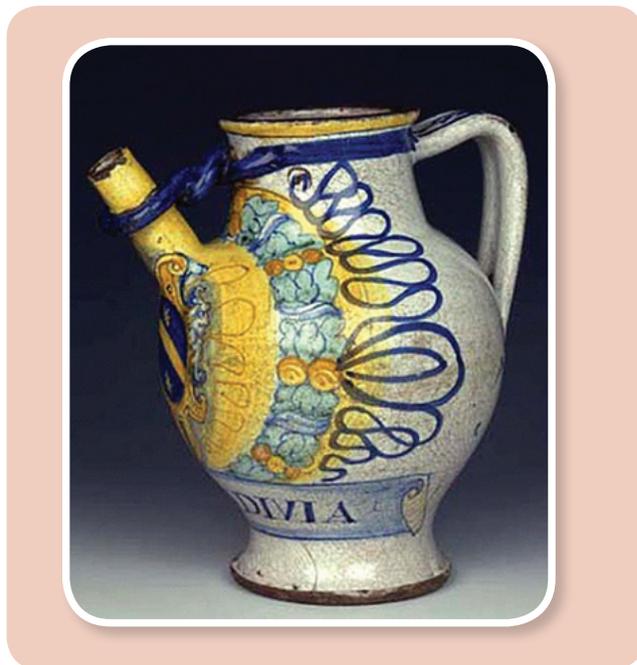


Figura 1: El jarabe de endivia era utilizado para problemas intestinales, para aliviar la pesadez de estomago y mejorar el tránsito intestinal. El frasco presentado más arriba es italiano de 1570.

El comercio de fármacos y remedios experimentó un auge notable durante el Renacimiento. Las boticas comenzaron a ser conocidas con el nombre de Farmacias y los escaparates se engalanaron con potes multicolores que simbolizaban la profesión. Tarros, frascos y estuches de píldoras ostentaban elegantes adornos y surgieron nuevos estilos a medida que los antiguos potes persas eran reemplazados por nuevos motivos artísticos (Fig.1 y 2).

Al finalizar el siglo XVII, la investigación marchaba con un ritmo acelerado. Muchos eran los que estudiaban la naturaleza y sus fenómenos y por otra parte los investigadores seguían trabajando poniendo en manos del hombre práctico nuevos instrumentos con los que logran no sólo el adelanto científico sino también el de la industria que iba naciendo como resultado de la mecanización. La ciencia natural invade nuevos campos, por lo que muchos lo denominan siglo "naturalista". En la segunda mitad del siglo XVIII nace la química moderna y el siglo concluye con la caída de la teoría del flogisto. En la terapéutica se introducen nuevos medicamentos. Se pierden remedios antiguos, pero al existir aún partidarios de las teorías galénicas, en las oficinas de farmacia se continúa preparando la triaca, sin que ello sea obstáculo para que a su lado se obtengan sales de mercurio. **En las postrimerías del siglo XVIII** se establecieron sobre bases seguras las dos ramas más importantes de la Farmacognosia: la Farmacobotánica y la **Farmacología**.



Figura 2: Frasco de resina obtenida del árbol *Stirax benzoin*, árbol de más de 10 metros de altura, realizando incisiones en el tronco se obtiene un líquido resinoso que al secarse forma el llamado incienso aromático o benjuí. Por vía interna es desinfectante, expectorante y anti-séptico, se utiliza externamente para curar forúnculos, eccemas y sabañones. El frasco de la figura es italiano, probablemente del siglo XVII.

Durante el siglo XIX las investigaciones químicas adquieren una nueva fisonomía. Por un lado se perfila en ellas un marcado tono cuantitativo que la distingue claramente de las investigaciones de los siglos anteriores, mientras que por otro se aplican en gran medida a la búsqueda de los llamados elementos (las sustancias simples de Lavoiser) y se establecen teorías generales que tratan de abarcar y explicar los fenómenos químicos. Una de las características de la química del siglo XIX fue el descubrimiento de nuevos elementos químicos, pues de la tabla periódica actual eran conocidos escasamente la cuarta parte. El número de farmacéuticos que en el siglo XIX se ocupan del estudio de las drogas, de su reconocimiento y de su acción demuestran el gran papel que estos profesionales han jugado en estos estudios.

Después de la revolución francesa, las ciencias rompieron su dependencia de la lógica y se fundamentaron preferentemente en la observación, haciéndose más empíricas, lo cual constituyó un avance imprescindible para su desarrollo real. Durante la primera mitad del siglo diecinueve el estudio y clasificación de las enfermedades progresó considerablemente, a lo que se unió un nuevo espíritu investigador; los remedios ineficaces se reconocieron como tales y se desecharon. Aunque hacia 1850 el sistema universitario alemán ya se hallaba bien establecido y se instituyeron programas de investigación con fines definidos, gran parte del descubrimiento de nuevos fármacos durante el

siglo diecinueve procedió del trabajo de aficionados o de investigadores de la industria química, en aquel momento ocupada predominantemente en la preparación de colorantes¹. No fue hasta bien entrado el siglo veinte que la búsqueda de nuevos fármacos o grupos farmacológicos comenzó a efectuarse en laboratorios de universidades.

El rol del siglo XIX quedó, por lo tanto, reducido a fomentar y acrecentar los primeros esbozos de la Farmacobotánica y la Farmacoquímica, surgidas el siglo anterior. La Farmacoquímica fue la rama que más se distinguió por sus importantes adquisiciones, particularmente en lo que concierne a los compuestos orgánicos básicos de origen natural, que a indicación de Meissner (1821) recibieron la designación genérica de alcaloides. El descubrimiento de los alcaloides se inicia con el farmacéutico Derosne, quien en 1803 aísla del opio una sal cristalizada que llama "sal de opio" que se denominó "sal de Derosne" (Fig. 3), o narcotina. Desde esa fecha, los descubrimientos se suceden unos a otros: Gomez separa en 1811 la cinconina; Seturner en 1811 la morfina; Pelletier y Caventou en 1818 la estircina, y en 1820 la quinina; Runge (1820) la cafeína de las semillas del café; Henry y Delondre (1833) la quinidina, y Niemann (1860) la cocaína. Se comprobó también en algunas drogas la presencia de ciertos alcoholes aromáticos como el alcohol bencílico en el Bálsamo del Perú, y el primer éster aromático que se halló fue la "estiracina" descubierta por Bonastre (1827), en el estoraque. Progresos análogos se advierten en el campo de los aceites esenciales. En las materias colorantes vegetales se llevaron a cabo numerosas investigaciones. De igual importancia son los trabajos realizados en la síntesis de las materias aromáticas. Los químicos de la época comienzan la búsqueda de los principios activos, a partir de extractos vegetales.



Figura 3: Las amapolas de opium y sus frascos medicinales, Museo de la Farmacia, Cracovia.

Entre los tratadistas que más se distinguieron en el siglo XIX que han contribuido a la Farmacoquímica podemos citar a: Plaff (1808- 1881) farmacéutico alemán, autor del texto germano "Sistema de clasificación de la materia médica según principios químicos",

1. Ver en este libro el capítulo "De la academia a la empresa: William Perkin y el color violeta".

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

y a Guibourt, farmacéutico francés que por su "Histoire naturelle des drogues simples" publicada en París en 1820, alcanzó celebridad en el mundo entero.

La primera ocasión en que un producto orgánico sintético se usó para interferir con los procesos vitales fue, probablemente, durante la primera mitad del siglo diecinueve, cuando se introdujeron el éter y el cloroformo como anestésicos. A mediados de diciembre de 1847, en un hospital de Edimburgo, el tocólogo James Simpson y su compañero Dunkan practicaron el primer parto sin dolor empleando cloroformo, dado que el éter ya había sido probado en enero de ese mismo año, comprobando que, a pesar de quedar dormida la paciente, las contracciones del parto continuaban con normalidad. La madre parturienta estuvo tan agradecida que llamó a su hija "Anestesia". El éter provocaba efectos secundarios que incitaron a Simpson a buscar otro gas con parecidos efectos pero sin los accesos de tos que surgían después de la inhalación de grandes cantidades de éter. En 1848 el doctor John Snow perfeccionó la técnica de aplicación del cloroformo al administrarlo en pequeñas dosis durante el parto. Este hecho no se popularizó sino hasta el año 1853, cuando Snow aplicó cloroformo a la reina Victoria de Inglaterra en el parto del príncipe Leopoldo de Sajonia-Coburgo-Gotha. Debido a ello, los esfuerzos iniciales encaminados a la búsqueda de nuevos fármacos sintéticos se concentraron principalmente en los anestésicos e hipnóticos y, posteriormente en los analgésicos. El hidrato de cloral se introdujo en 1869, y el paraldehído en 1882, mientras que los hipnóticos derivados de sulfonas se descubrieron accidentalmente en 1888. Las propiedades anestésicas locales del *p*-aminobenzoato de etilo se conocían ya en 1890 y condujeron al desarrollo del hidrocloreuro de procaína (novocaína), cuya estructura se basa en varias de las características de la molécula de cocaína. Ésta, a su vez, se introdujo como anestésico local en 1884. Durante ese período también se descubrió la fenacetina, a partir de las observaciones sobre la hidroxilación y conjugación que experimenta la anilina en los organismos animales. Es probable que este fuese el primer fármaco diseñado a partir del conocimiento de una transformación bioquímica. En 1899 se introdujo la aspirina, como resultado de un intento de alivio de la náusea producida por los salicilatos, que ya se habían empleado como antipiréticos. La antipirina se descubrió a partir de investigaciones acerca del comportamiento químico de la quinina, también por la misma época, y los hipnóticos derivados de uretanos también resultaron del estudio de compuestos obtenidos de la industria química.

Los avances de las ciencias biológicas durante el transcurso del siglo XIX, permiten un mejor conocimiento de la acción de los medicamentos. Se establece una farmacología basada en profundos estudios químicos de las sustancias activas y fisiológicos de sus mecanismos de acción. La farmacología se independi-

za como ciencia, separándose de la terapéutica y de la botánica. El estudio farmacológico de las drogas se ve favorecido por dos factores. El primero es el mejor conocimiento de la composición química del cuerpo animal y humano indispensable para su posterior análisis de alteración por las drogas y el segundo es que, debido a las nuevas técnicas de laboratorio se pueden extraer los principios fundamentales de las drogas, purificarlos y tener un mejor control de los mismos. La segunda mitad del siglo XIX se caracteriza por la rápida sustitución de la mentalidad romántica, por la positivista. Se entiende por "positivismo" aquello que es real y útil. La ciencia del positivismo ofrece una imagen coherente de la naturaleza. El hecho central del Positivismo, es la primacía de las Ciencias Naturales sobre otras ciencias, por lo que Claude Bernard expresa: "*El verdadero santuario de la ciencia médica es el laboratorio*".²

Paul Ehrlich (1854-1915) a través del estudio de la química de los colorantes llegó a construir una morfología nueva de la sangre, a estudiar la vida de las células y a comprobar la ácido resistencia del bacilo de Koch. Investigando los venenos vegetales, ricina, abrina y robina penetró en el problema de la inmunidad. Entre los años 1907 y 1915 intentó hallar sustancias químicas -sobre todo colorantes- que pudiesen actuar sobre los gérmenes patógenos sin perjudicar al organismo (comienzos del siglo XX). El siguiente período en el desarrollo de compuestos medicinales estuvo dominado por la figura de Paul Ehrlich, quien fue nombrado Director del Instituto de Terapia Experimental de Frankfurt en 1899, a la edad de 45 años. En la misma época, la industria química alemana manufacturaba analgésicos, anestésicos y antipiréticos de síntesis. Ehrlich pensó que, dado que estas moléculas eran capaces de diferenciar selectivamente unas de otras células en el hombre, era posible que otras moléculas pudiesen distinguir las células humanas de las de los parásitos. Esta suposición venía reforzada por sus experiencias previas sobre la tinción selectiva de diferentes tejidos de mamíferos con colorantes, así como por sus estudios acerca de la selectividad de los anticuerpos respecto a los correspondientes antígenos. Ehrlich fue responsable del descubrimiento de un elevado número de compuestos activos biológicamente, aunque pocos de ellos pasaron a un uso práctico. Posiblemente su mayor contribución al avance de la química farmacéutica fueron las ideas originales que propuso acerca del modo de acción de los fármacos. Así, postuló la existencia de receptores en las células de los mamíferos, y también que tanto los antígenos como los agentes quimioterápicos (una denominación que él mismo acuñó) poseen grupos haptóforos (de unión) y toxóforos (de acción tóxica). Consideró que los agentes quimioterápicos se combinan con zonas receptoras en las células mediante reacciones químicas ordinarias, un concepto que aún resulta válido, aunque se ha modificado para incluir en él tipos de enlace

2. Esta visión dio su impronta desde entonces y hasta el presente acerca de la naturaleza de la ciencia y de la actividad científica. Aquella visión, enfatizaba la "observación" y la "experimentación" como partes fundamentales del "método científico", con el cual podía arribarse a la "verdad" y a conocer la "realidad". Reflexiones epistemológicas desarrolladas durante el siglo XX han revertido esta visión estereotipada, con cuestionamientos a dichos conceptos entrecomillados (para ampliación, ver Galagovsky 2008, 2011).

distintos. Ehrlich también propuso que “la unión entre el alcaloide y el quimiorreceptor es lábil, reversible y no firmemente enlazada”, un punto de vista que aún perdura. Sus primeros trabajos acerca de las técnicas de tinción de tejidos llevaron al descubrimiento en 1891 de la acción antimalárica del azul de metileno. Un trabajo posterior con colorantes condujo al hallazgo de la acción tripanosomicida del rojo tripán y, más tarde, de la tripaflavina. Un resultado directo de este último descubrimiento fue el desarrollo de la acriflavina, un antibacteriano. Los trabajos de Ehrlich con compuestos arsenicales llevaron en 1910 a la introducción del Salvarsan para el tratamiento de la sífilis, solo cinco años después de que se hubiese identificado el germen causal de dicha enfermedad. La resistencia a los fármacos también se descubrió en los laboratorios de Ehrlich, en concordancia con sus hipótesis de que la acción de los fármacos se debe a la combinación química de los mismos con receptores celulares. Ehrlich concluyó que la resistencia se desarrollaba cuando el parásito (tripanosoма) ya no absorbía el fármaco: en el caso de los arsenicales, el grupo amino era el haptóforo³ y el arsenóxido el toxóforo⁴. Así pues, sus ideas se encontraban respaldadas por hechos experimentales, pero su aceptación fue lenta.

Poco antes de principios del siglo XX, la analogía de la “llave y la cerradura” propuesta por Emil Fischer para comunicar la idea de acción de los fármacos, y poco después de iniciado el siglo, la arsfenamina de Ehrlich, aportaron un “método racional” para la búsqueda de agentes terapéuticos. La aproximación o método racional ha proporcionado un número relativamente grande de fármacos valiosos. Sin embargo, los métodos en gran parte empíricos, condujeron a las sulfamidas de Domagk en 1935, y a los antibióticos que comenzaron con Fleming en 1929 y se vigorizaron con Chain y Florey en 1939.

El período inmediato a los descubrimientos de Ehrlich y a su teoría acerca de la acción de los fármacos, y anterior al desarrollo de las sulfonamidas y de los antibióticos, se caracterizó por un conocimiento creciente de la química de los productos naturales, en especial de las enzimas. A esto contribuyó en gran medida la aparición de nuevos métodos físicos, químicos y biológicos, de entre los que quizá los más importantes fueron las técnicas microquímicas para la determinación estructural.

Técnicas como la espectroscopía ultravioleta o la cristalografía de rayos X, también se introdujeron en esta misma época y resultaron de gran valor. En la década del '30 las investigaciones de Astbury y otros, mediante rayos X, junto con la creciente sensibilidad de los métodos analíticos, pusieron de manifiesto que las moléculas proteicas son cadenas ordenadas de aminoácidos, unidos mediante enlaces peptídicos. Pudo advertirse que las propiedades de las moléculas de proteína están determinadas principalmente por la orientación espacial de los aminoácidos que las constituyen, aunque el descubrimiento del modo en que

una orientación particular del polipéptido determina un efecto biológico concreto es mucho más reciente. Este conocimiento se ha derivado del de la secuencia de aminoácidos, de los grupos activos o enlazantes, de los cofactores y de la estructura tridimensional.

Durante las décadas de 1930 y 1940 se desarrollaron métodos precisos para la determinación del peso molecular de proteínas. No obstante, no fue hasta la siguiente década en que se dispuso de métodos químicos que permitieron hallar la secuencia de aminoácidos en una proteína. La estructura tridimensional de las proteínas no pudo elaborarse hasta que Kendrew y sus colaboradores determinaron la estructura de la mioglobina, en 1958, a través de estudios por difracción de rayos X. En 1970 se habían podido determinar al menos otras 15 estructuras proteicas, en un grado de resolución próximo al tamaño de los átomos, y se habían trazado mapas bidimensionales de densidad electrónica para más de una docena de proteínas distintas. Loewi y Navratil encontraron la primera evidencia directa de una relación entre fármaco y una enzima, ya que en 1926 demostraron que la fisostigmina inhibe la hidrólisis enzimática de la acetilcolina –un neurotransmisor-. Durante los años siguientes se hallaron otras interacciones entre fármacos y enzimas, pero no fue hasta que se hubieron introducido las sulfonamidas y se hubo estudiado su modo de acción que se puso en evidencia el hecho de que los fármacos pueden generalmente interferir en los procesos químicos normales que tienen lugar en las células.

Hacia 1940, cuando Fildes lanzó su idea de que los compuestos quimioterápicos debían diseñarse como competidores de metabolitos esenciales o factores de crecimiento -con lo que serían capaces de destruir un microorganismo patógeno a través de un antagonismo competitivo con la función del metabolito esencial-, quedaba preparado el camino hacia el desarrollo de la química farmacéutica actual. Las técnicas para el estudio de las interacciones fármaco-macromolécula se han desarrollado durante el período moderno, posterior a 1940. Asimismo se ha desarrollado en gran medida el estudio de la estereoespecificidad de las reacciones enzimáticas, a través del uso de isómeros ópticamente puros; la especificidad estereoquímica es de gran importancia en algunos grupos de moléculas farmacológicas.

La resonancia magnética nuclear, la resonancia de spin electrónico y la cristalografía de rayos X se han empleado también para el estudio de las interacciones fármaco-macromolécula.

Desde hace tiempo se ha llevado a cabo la modificación química de moléculas con acción farmacológica, con el fin de hallar el miembro de una serie que posea una actividad óptima; este método aún se usa y probablemente seguirá siendo un importante procedimiento para el descubrimiento de nuevos fármacos.

Los años recientes han visto la creación de nuevos agentes terapéuticos por los químicos farmacéuticos

3. Haptóforo: Del griego *apteín*, unirse, y *phoros*, que lleva. Se llama así a la agrupación atómica que permite a una molécula de sustancia cualquiera (en particular de toxina) fijarse en los tejidos.

4. Toxóforo: Del griego *toxikón* y *phoros*, que lleva. Se llama así a la agrupación de átomos cuya presencia en una molécula de toxina, justifica la acción nociva de esta última sobre los tejidos; su influencia sobre el protoplasma es condicionada por la combinación del grupo haptóforo con el mismo protoplasma.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

que trabajan integrados en equipos interdisciplinarios. Sus nombres y aportaciones son demasiado numerosos para mencionarlos aquí. Sin embargo, seleccionamos dos para destacarlos de un modo especial. Oliver Kamm, director científico de Parke, Davis y Cía., dejó la Universidad de Illinois de la que fue un joven instructor en Química Orgánica. Allí escribió el primer libro de texto de análisis orgánico cualitativo y contribuyó a la iniciación de la valiosa serie conocida por *Organic Syntheses*. Kamm, obligado a transformarse en un farmacólogo a la par que químico, inició o animó la elaboración de un apreciable número de medicamentos de éxito.

Si bien habíamos señalado la temprana incorporación, en 1675, en la Universidad de Montpellier de la asignatura Química Farmacéutica, como asignatura académica en las currículas de las carreras de Farmacia del último siglo, la Química Medicinal fue incorporada en España bajo el nombre de Química Médica a través del Dr. Madronero Peláez, quien a través de su libro (1980) dejó en claro que se trataba de una nueva disciplina científica, que no podía estar ausente en las asignaturas que se impartían a los futuros estudiantes Farmacia. Desde esa misma época Italia y EE.UU. adoptaron en sus programas de estudio la asignatura Química Farmacéutica. El profesor, F. F. Blicke, de la Universidad de Michigan, fundó el primer programa de doctorado en este campo en los Estados Unidos, que comprendía un repertorio específico en síntesis. Setenta y ocho estudiantes recibieron el doctorado bajo su directa supervisión. Fue la primera persona en cuyo honor organizó un simposio la división de Química Farmacéutica de la American Chemical Society.

El término Farmacoquímica fue utilizado en la década del '60 en Holanda, para denominar a un curso de postgrado, sobre mecanismos de acción a nivel molecular de agentes terapéuticos. Dicho término es el que se va a adoptar en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires en el Plan de Estudios para la carrera de Farmacia de 1966. En dicho plan de estudios, esta asignatura reemplazó a la hasta entonces Química Orgánica IV, que separaba la síntesis de fármacos de los temas contemplados en los tres cursos previos de Química Orgánica. Dicha asignatura no contaba con la permanencia en la currícula por parte del claustro de estudiantes y fue reemplazada por la asignatura Farmacoquímica. Dicha asignatura pertenecía al Departamento de Química Orgánica y estaba a cargo del Prof. Asociado, Dr. Carlos Vega, Director técnico del Laboratorio Merck, Sharpe & Dohme, quien inició el dictado de la asignatura en 1971. El énfasis estuvo puesto desde sus inicios en el estudio de la relación entre la estructura química y la actividad de los fármacos estudiados. La Dra. Susana Sicardi fue colaboradora del Dr. Vega desde los inicios del dictado de la asignatura y contribuyó a hacer hincapié en la importancia de la estructura química, como responsable de la acción farmacológica. Dicho perfil llevó a que la asignatura pasara a formar parte del Departamento de Farmacología, en el año 1980. El dictado de esta asignatura en 1971, en la Universidad de Buenos Aires, marca el inicio de la enseñanza de la misma en la Argentina, casi simultáneamente con el reconocimiento

de la Química Medicinal como disciplina científica por parte de la IUPAC. Los profesores pioneros a los que se hizo referencia pusieron todo su empeño en conseguir que todas las facultades de Farmacia de las Universidades Nacionales de nuestro país dictaran Química Medicinal. En 1981, la Universidad Nacional de La Plata incorporó el dictado de Química Medicinal en su plan de estudios de la carrera de Farmacia. En 1985 y 1989, la Universidad Nacional de Tucumán y la Universidad Nacional de Misiones, respectivamente, incorporaron la enseñanza de la Farmacoquímica a sus planes de estudio de la Carrera de Farmacia. En la década del '90 las Universidades del Nordeste en 1991, Nacional de Córdoba en 1994 y Nacional del Comahue hicieron lo propio. Actualmente todas las Carreras de Farmacia del país incluyen el dictado de Química Medicinal en su currículo de grado.

En lo que respecta a la evolución de la asignatura en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA, dicha asignatura fue incorporada en el Plan 1966, donde la carrera de Farmacia con una duración entonces de cuatro años, dos y medio de un ciclo común a la carrera de Bioquímica, Farmacoquímica se incluía en el sexto cuatrimestre del Ciclo de Farmacia. Cuando dicho Plan de estudios fue reemplazado por el de 1975, la Carrera de Farmacia pasó a tener cinco años de duración, tres de ciclo común y dos del Ciclo de Farmacia. En este Plan de Estudios la asignatura Farmacoquímica estaba incluida en el octavo cuatrimestre. El Plan de estudios 1987, conservó los cinco años de duración y la asignatura, cuya ubicación curricular siguió siendo el octavo cuatrimestre, cambió su nombre por el que también conserva en el Plan de Estudios 2008 actualmente vigente: Química Medicinal.

A partir de la inclusión de la Carrera de Farmacia dentro de las Carreras reguladas por el Estado, según la Ley de Educación Superior, actualmente vigente, la Química Medicinal se convirtió en un área temática incluida en la resolución ministerial 372/04 y por tanto con contenidos mínimos que deben estar incluidos en todas las Carreras de Farmacia, actualmente en desarrollo en el país para que las mismas cuenten con el reconocimiento oficial y acreditación de dicha carrera de grado.

A pesar de los numerosos y señalados avances, la química farmacéutica es todavía en gran parte una ciencia empírica. A este respecto, me gustaría citar nuevamente a Burger:

“Aunque en la actualidad la interpretación bioquímica de la química farmacéutica se encuentra firmemente establecida y ha elevado la estatura científica de nuestro campo de trabajo, en realidad ha planteado más preguntas que ha dado respuestas... Las especulaciones acerca de estos temas deben manejarse con cuidado, pero sin ellas el pensamiento imaginativo que origina el progreso probablemente se vería retardado.”

En nuestros días la química medicinal es una ciencia altamente interdisciplinaria que combina la actividad de los químicos orgánicos, los químicos biológicos, los químicos computacionales y los químicos físicos. Pero también camina cerca de la farmacología, la farmacognosia, la biología molecular y la estadística,

aunque por su propio andarivel. Como disciplina, la química farmacéutica, es muy profunda y compleja con una potencialidad cuyos horizontes son difíciles de preveer. Prueba de ello son las prestigiosas publicaciones internacionales especializadas hoy en dicha temática, tales como el *Journal of Medicinal Chemistry*, el *European Journal of Medicinal Chemistry*, el *Biorganic and Medicinal Chemistry* o el *Current*

Medicinal Chemistry, por mencionar algunos. Una recorrida por los mismos permitirá comprobar los impensables alcances que esta ciencia posee y los conocimientos que en el campo de la misma se producen a partir de la colaboración de químicos con innumerables profesionales y científicos de otras áreas (Fig. 4).

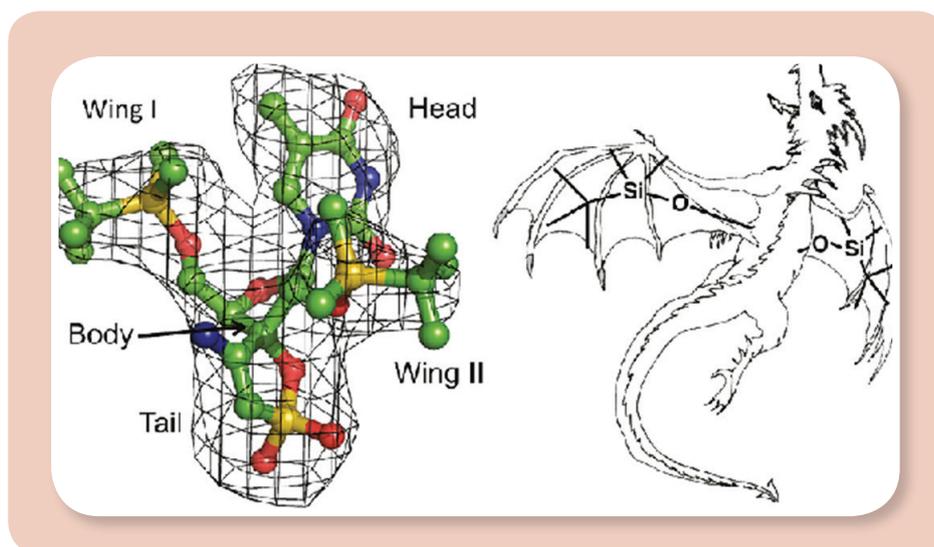


Figura 4: Complejo entre la Transcriptasa reversa (TR) del VIH y un inhibidor de la familia de los inhibidores no nucleosídicos TSAO-T donde se muestra la unión del inhibidor al "bolsillo" de la TR en una forma "dragón" que permite la interacción con múltiples puntos del "bolsillo" extraído de "Crystal Structure of tert Butyldimethylsilylspiroaminooxathioledioxide-thymine (TSAO-T) in Complex with HIV-1 Reverse Transcriptase (RT) Redefines the Elastic Limits of the Non-nucleoside Inhibitor-Binding Pocket" Kalyan Das, Joseph D. Bauman, Angela S. Rim, Chhaya Dharia, Arthur D. Clark, Jr., María José Camarasa, Jan Balzarini and Eddy Arnold, *Journal of Medicinal Chemistry*, 2011, en prensa.

Referencias bibliográficas

- Burguer, A. (1970) *Medicinal Chemistry*, Editorial Wiley-Interscience, USA.
- Di N. de Gonzalez Lanuza, M. M. (1981). *Historia de las Ciencias Farmacéuticas y Bioquímica*, Centro Editor Argentino, Argentina.
- Foye, W.O. (1991) *Principios de Química Farmacéutica*, Volumen I. Editorial Reverté, España.
- Galagovsky, L. (2008) *Coordinadora ¿Qué tienen de "naturales" las Ciencias Naturales?*. Editorial Biblos, Argentina.
- Galagovsky, L. (2011) *Coordinadora Didáctica de las ciencias naturales. El caso de los modelos científicos*. Lugar Editorial, Buenos Aires.
- Korolkovas, A. y Burckhalter, J. H. (1983) *Compendio Esencial de Química Farmacéutica*. Editorial Reverté, España.
- Nicolau, K.C. y Montagnon, T. (2008) *Molecules that changed the world*, Editorial Wiley-VCH, USA.
- Reportes no publicados de la Dra. Susana María Sicardi, Profesora Titular jubilada de Química Medicinal, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

18

LA QUÍMICA Y LOS MATERIALES CERÁMICOS: DESDE LAS ARCILLAS BABILÓNICAS HASTA LAS MEMORIAS DIGITALES

Dr. José M. Porto López, Dr. Pablo M. Botta, Dra. María Alejandra Fanovich

*Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA). Universidad Nacional de Mar del Plata-CONICET. Av. J.B. Justo 4302 - B7608FDQ Mar del Plata, Argentina
Emails: jmplopez@fi.mdp.edu.ar; pbotta@fi.mdp.edu.ar; mafanovi@fi.mdp.edu.ar*

En una civilización como la que actualmente nos toca vivir, apoyada casi incondicionalmente en el progreso tecnológico, la Química y la Ciencia de los Materiales tienen, evidentemente, un rol preponderante. Basta mirar a nuestro alrededor para percibir que vivimos en un mundo que parece estar hecho solamente de metal, plástico y vidrio.

Sin embargo, una mirada un poco más profunda revelará que estos logros tecnológicos no son debidos a una ciencia, a una metodología ni a un tipo de material por sí solos. Todo es interdependiente; los avances observados son el resultado de un mecanismo sinérgico basado en numerosas contribuciones.

Esto también es cierto en el caso de los materiales; y entre ellos, el caso de los materiales cerámicos es, en cierto modo, particular, dado que salvo en algunos casos (el vidrio, los materiales de construcción, por ejemplo) son actores importantes, pero muy poco conspicuos, del elenco de los materiales. Por ello, intentaremos aquí rescatar algo de su protagonismo, a lo largo de la historia y en la tecnología de nuestros días, con énfasis en dos campos en los que han devenido tan fundamentales como irremplazables: los vidrios bioactivos y los materiales cerámicos magnéticos.

Para ello, comencemos delimitando el campo. ¿Qué es, en rigor, un material cerámico? ¿Qué propiedades lo hacen valioso? ¿Qué rol han tenido los cerámicos en el desarrollo tecnológico de la humanidad?

¿Qué es un material cerámico?

La palabra "cerámico" proviene del vocablo griego *keramos*, que significa alfarería, y deriva de una raíz sánscrita que significa "para quemar". Así, los antiguos griegos usaban la palabra *keramos* para describir productos obtenidos por la calcinación de materiales arcillosos ("tierra quemada").

Dentro de la Ciencia de Materiales, clásicamente se divide a los materiales en tres grandes categorías: metales, cerámicos y polímeros. Esta clasificación se basa en el tipo de átomos involucrados y en el enlace químico que mantiene a los mismos unidos en el sólido. Los cerámicos usualmente están compuestos por elementos metálicos y no metálicos, unidos mediante enlaces iónicos o covalentes. En la mayoría de los casos, los cerámicos son óxidos, nitruros o carburos. Los

átomos de estos elementos están dispuestos en arreglos más o menos ordenados en una red, sin formar moléculas individuales. Esta característica diferencia a los cerámicos de otros sólidos, como el yodo y el hielo, los cuales están formados por moléculas unidas entre sí por fuerzas más débiles, que son vencidas cuando se aumenta la temperatura.

Una de las definiciones más ampliamente aceptadas de material cerámico es la formulada por Kingery y col. (1976): "Un cerámico es un sólido inorgánico no metálico". Aunque bajo esta definición –particularmente inclusivista– es posible abarcar la casi totalidad de los materiales considerados cerámicos, existen casos en las "zonas de frontera" que se plantean dudosos, dado que no presentan alguna propiedad o comportamiento "intuitivamente" característico de los materiales cerámicos. Tal es el caso de ciertas sales inorgánicas (frecuentemente solubles en agua), de elementos como el carbono (por poseer, en el caso del grafito, electrones deslocalizados entre las capas de su estructura), o de los vidrios, ya que si bien estos últimos generalmente son materiales inorgánicos no metálicos, también pueden ser considerados líquidos subenfriados, por carecer de punto de fusión.

¿Qué propiedades tienen y en qué tipo de aplicaciones se los utiliza?

Los materiales cerámicos tienen el rango de aplicaciones más amplio de todos los materiales conocidos, y una gama de propiedades de las que los otros materiales adolecen, por ejemplo:

- **Fragilidad y dureza:** seguramente todos hemos experimentado la caída de un vaso de vidrio o un plato de porcelana. La razón por la cual la mayoría de los cerámicos son frágiles es el tipo de unión química entre sus átomos (iónica o covalente). Este tipo de unión es rígido y permite muy poca deformación plástica del sólido ante un impacto o la aplicación de una fuerza. También por esta razón son usualmente muy duros, es decir presentan una alta resistencia a ser rayados. Además, pueden mantener estas propiedades hasta temperaturas muy altas (en algunos casos, más de 2000°C!), y son más livianos que los metales, lo que los hace muy ventajosos en aplicaciones estructurales y aeroespaciales.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

- **Conducción** (muy alta o muy baja) del calor y de la corriente eléctrica: en un material cerámico, los electrones más externos de sus átomos se encuentran involucrados en los enlaces y no están tan libres como en un metal. En muchos casos, esto resulta en bajas conducciones térmica y eléctrica; sin embargo, muchos materiales cerámicos escapan a esta regla general. El diamante, por ejemplo, posee una de las mayores conductividades térmicas que se conocen (más de dos veces la del cobre), mientras que las fibras refractarias son excelentes aislantes para hornos de alta temperatura. Existen cerámicos con una elevadísima conductividad eléctrica, como es el caso del óxido superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, que presenta resistividad nula a -180°C^1 , y otros con una resistividad tan alta, que se usan como aisladores eléctricos en instalaciones de alta tensión, o en bujías de motores de combustión interna.
- **Alta resistencia a la compresión**: a diferencia de los metales, los materiales cerámicos son más resistentes a fuerzas compresivas que a las de tracción. Esta propiedad es importante en componentes que soportan altas cargas mecánicas (por ejemplo diques, o puentes de hormigón), en los cuales es necesario asegurar que la distribución de esfuerzos en el cerámico sea compresiva.
- **Inercia o alta reactividad química**: un gran número de materiales cerámicos son estables en medios químicos agresivos, aun cuando sean sometidos simultáneamente a altas temperaturas. El vidrio Pyrex^{MR} se usa ampliamente en los laboratorios químicos por su resistencia a la mayoría de los agentes corrosivos y su resistencia a la temperatura y al choque térmico. Otros cerámicos como Si_3N_4 , SiC , B_4C , TiC , son utilizados en aplicaciones estructurales que involucran temperaturas superiores a 1200°C . Y en el otro extremo del espectro de reactividades, los cerámicos bioactivos son capaces de reaccionar químicamente a temperatura fisiológica (37°C) con el tejido vivo, que los reconoce como propios (¡implantes quirúrgicos sin rechazo!).
- **No son contaminantes**: la gran mayoría de los compuestos cerámicos no son contaminantes, hecho particularmente importante en nuestros tiempos. Están compuestos principalmente por los elementos más abundantes en la corteza terrestre (silicio, aluminio, oxígeno, calcio, sodio...) y se puede disponer de ellos y descartarlos, sin temor a que tengan efectos dañinos sobre el entorno o sobre los seres vivos.

Como puede verse, las aplicaciones de estos materiales son muy diversas, desde humildes ladrillos y tejas a refinados componentes electrónicos, magnéticos o biológicos. La funcionalidad de un material cerámico depende principalmente de su composición química,

su estructura (ordenamiento a nivel atómico) y su microestructura (tamaño y forma de granos, porosidad, etc.).

¿Cuál fue el camino que recorrieron los cerámicos a lo largo de la historia del Hombre?

Los cerámicos en las civilizaciones de la antigüedad

Las piezas cerámicas más antiguas que se conocen, de arcilla calcinada con hueso pulverizado, fueron halladas en 1920 en Dolní Vestonice (en la actual República Checa). Este descubrimiento incluyó más de 7.000 fragmentos de estatuillas, entre los cuales se encontraba una figura femenina prácticamente intacta, conocida como la Venus de Vestonice (Figura 1) cuya datación reveló que fue creada... ¡entre 31.000 y 27.000 años AP! (AP = antes del presente).



Figura 1: La Venus de Vestonice
(<http://photobucket.com/images/Vestonicka/>)

Esta maravilla, de algo más de 11 cm de altura, es la pieza más antigua que se conoce obtenida por un proceso químico hecho por el Hombre; fue probablemente cocida en un fuego abierto, a una temperatura que los investigadores estiman entre 400°C y 700°C . Tiene la cabeza casi sin detalle, salvo dos incisiones representando los ojos. Los brazos apenas están esbozados; en cambio, los grandes pechos, el ombligo y la línea inguinal han sido señalados claramente. Un detalle particular —emocionante, casi— es que en su

1. Esto valió a sus descubridores (J.Bednorz y K.Müller) el Premio Nobel de Física en 1987.

parte posterior se localizó una pequeña huella digital, marcada en la arcilla cruda, antes de la cocción, probablemente (de acuerdo a su tamaño) por un niño de alrededor de siete años.

La evidencia arqueológica más antigua de producción de alfarería oriental data de 12.000 años AP a partir del descubrimiento cerca de Nagasaki (Japón) de la cerámica conocida como alfarería Jomon (Figura 2), por la característica decoración en forma de cuerdas que presenta (Jomon significa "patrón de cuerdas" en japonés). Esta alfarería no tiene recubrimiento de esmalte, y muestra una variedad de colores, dependiendo de las arcillas particulares que se usaron para su fabricación. Casi todas están decoradas en la superficie.



Figura 2: Alfarería Jomon
(http://www.asij.ac.jp/middle/ac/art/jt_ceramics/coilpage.htm)

Contemporáneamente, en el otro extremo del mundo, el nivel de los mares, en ascenso debido al deshielo del Holoceno tardío, había avanzado alrededor de 150 km sobre la costa de lo que sería la Provincia de Buenos Aires, sumergiendo la actual plataforma continental y llegando aproximadamente a la configuración geográfica que tiene hoy. Los primeros pobladores de la zona, cazadores-recolectores, poblaban la pampa húmeda y los valles ubicados entre las sierras; algunos miles de años después, ya fabricaban objetos utilitarios de cerámica empleando las arcillas de la zona, o los obtenían por intercambio con asentamientos tan lejanos como la futura Mesopotamia argentina y la Cordillera de los Andes.

Entre 8000 y 9000 años AP, en los asentamientos de pueblos sedentarios del Neolítico en Asia Menor, Mesopotamia y Palestina, aparece la fabricación en cantidad de piezas cerámicas cocidas con fines utilitarios. Las célebres tablillas babilónicas son una admirable síntesis de la inteligencia del Hombre, del conocimiento de los materiales y de sus posibilidades. Los babilonios desarrollaron una forma abstracta de escritura basada en símbolos cuneiformes grabados sobre tablillas de arcilla cruda, y posteriormente cocida. Miles de ellas sobrevivieron hasta nuestros días...

...y muchas de ellas, tesoros invaluables, se perdieron en 2003, durante el saqueo del Museo Nacional de Bagdad, ante la indiferencia del ejército invasor. A la fecha, se han podido recuperar solo algunas de ellas (Claude, 2010).

La aparición de los vidrios

La historia de la utilización del vidrio por el hombre comienza mucho antes de la aparición de la escritura, cuando algún ignorado ancestro observó los filos agudos y cortantes que presentaban los trozos de un vidrio volcánico natural de color negro, que hoy denominamos obsidiana, y comenzó a utilizarlo para sus herramientas y armas.

Más tarde, alrededor de 4500 años antes de nuestros días, cuando ya eran habituales las cerámicas decoradas y la fabricación de objetos utilitarios de cerámica, apareció la tecnología de fabricación del vidrio, probablemente en Egipto. Algunos siglos después, los egipcios llegaron a dominar la tecnología de fusión y de coloración del vidrio, y con ellos fabricaron recipientes, perlas y adornos que competían con las gemas naturales en belleza y valor. En los museos actuales se conservan piezas exquisitamente trabajadas y decoradas, que datan de aquella época.

Más o menos contemporáneamente, surge el ábaco en China. Fue el primer instrumento (después de los dedos, claro...) utilizado por el hombre para facilitar sus operaciones de cálculo.

La Grecia clásica...

En Grecia, hace alrededor de 2500 años, la cerámica alcanzó logros artísticos notables, como los vasos y ánforas decorados de distintos colores, particularmente rojo y negro (Figura 3).

Esto revela un dominio profundo del procesamiento térmico (cocción) de estas piezas, que se hacía en tres etapas, sobre la pieza "en verde" (cruda), una vez moldeada a partir de una pasta plástica preparada con kaolinita (una arcilla), secada y decorada pintando las imágenes con una suspensión de partículas de illita (una arcilla diferente):



Figura 3: Ánfora griega (ca. 2450 AP) (Foto: JMPL)

1º) En una primera cocción, a alrededor de 840°C, y en exceso de aire (atmósfera oxidante) toda la superficie -incluida la pintada-, toma color rojo, debido a la presencia de óxido férrico (Fe_2O_3), contenido en la kaolinita.

2º) Se corta la entrada de aire y la salida de gases; se alimenta leña resinosa al horno, la que origina por combustión monóxido de carbono (CO) que reduce el Fe_2O_3 a Fe_3O_4 , óxido ferroso-férrico -magnetita- de color negro (Este material tendrá gran protagonismo en otros campos, hacia el final de este relato), a 840°C durante 10 minutos. De este modo, todo el vaso cerámico se vuelve negro.

3º) Se deja entrar aire nuevamente, y se dejan salir los gases a 860°C produciéndose una reoxidación, volviéndose rojo el "fondo", y quedando las imágenes pintadas en color negro (o a la inversa).

¿Cuál es la explicación de este comportamiento?

Los análisis por microscopía electrónica demuestran que las superficies de color rojo son toscas, de grano grueso y se mantienen porosas durante la cocción. En atmósfera oxidante, el oxígeno puede penetrar a través de estos poros y reoxidar al Fe_3O_4 negro a Fe_2O_3 rojo. Por el contrario, las superficies pintadas con granos más finos no son porosas, son impermeables para el oxígeno y resisten la reoxidación permaneciendo negras.

Para explicar el color rojo de las figuras, no sólo hay que tener en cuenta el tamaño de grano sino también la naturaleza de las arcillas. Los ceramistas griegos conocían el distinto comportamiento de las dos clases de arcillas: la illita, que hoy en día sabemos que contiene potasio, que actúa como fundente, creando una fase líquida que cierra los poros y evita la reoxidación, permaneciendo negra; y la kaolinita, que no tiene potasio y permite la reoxidación permaneciendo porosa. Así,

las zonas que debían quedar negras las pintaban con illita y las rojas con kaolinita.

... y Oriente

A pesar de que desde la óptica actual ello no es evidente, para aquellos tiempos, el progreso tecnológico era apreciable en las más variadas regiones del planeta. Hace 2200 años, en la lejana China, moría el emperador Qin Shi Huang (que había ascendido al trono cuarenta años antes, a la edad de 11 años, e inmediatamente mandó comenzar la construcción de su mausoleo). En una de las partes del inmenso complejo destinado al descanso final del monarca, esperó largo tiempo enterrado hasta su descubrimiento en 1974, el Ejército de Terracota. Este hecho ha sido considerado uno de los más grandes hallazgos arqueológicos de la historia.



Figura 4: Vistas de las excavaciones arqueológicas del Ejército de Terracota (http://www.travelchinaguide.com/attraction/shaanxi/xian/terra_cotta_army/)

Alrededor de 7000 soldados, caballos y carros de terracota², de tamaño natural, están siendo actualmente (¡y cuidadosamente!) rescatados de este lugar. No hay dos figuras con rasgos iguales; sus vestiduras, incluso sus peinados, también son únicos para cada una de ellas, y corresponden a poblaciones y regimientos de distintos lugares del imperio.

2. Terracota: piezas moldeadas, cocinadas a temperaturas bajas, típicamente entre 950 y 1050°C. Las mismas son porosas y de color rojo, marrón o negro después de la calcinación. Terracota vidriada: similar a la anterior pero se cocina a mayor temperatura, entre 1200 y 1300°C. En estas condiciones se generan fases vítreas, dando lugar a cerámicas más densas y resistentes.

La mayor parte de las armas –madera y metal– y la pintura, han desaparecido por acción del tiempo. Solo la cerámica permanece, intacta...

El Imperio Romano y la Edad Media...

Los romanos, hace alrededor de 20 siglos, fueron pioneros en el uso de un material cerámico de enorme importancia: el cemento. Sus características químicas y físicas únicas son las responsables de la durabilidad extrema de este material, como lo evidencian aun hoy en día las magníficas estructuras romanas, como el Panteón. El cemento romano consistía de una mezcla de cal (CaO) molida y ceniza volcánica (básicamente una mezcla de SiO₂, Al₂O₃ y óxidos de Fe), la cual endurece en contacto con agua. Este proceso (el fraguado) involucra una serie de reacciones químicas de hidratación, durante las cuales tiene lugar el crecimiento y la interconexión de los cristales, que resulta en el endurecimiento del cemento.

En 2080 AP, nace en Egipto Cleopatra VII, quien reinaría entre 2062 AP y 2040 AP.

Más de cinco siglos después, en el año 476, Roma es tomada y saqueada por los hérulos comandados por Odoacro. Este hecho marca el fin del Imperio Romano de Occidente, y el comienzo de un largo estancamiento cultural y tecnológico que trajo aparejada la pérdida de la mayoría de los conocimientos existentes, situación de la que recién se comenzó a salir con el Renacimiento.

En ese momento, Teotihuacán era una metrópoli enorme de más de 100.000 habitantes, con más población que Roma en esa época.

Mientras tanto, en Oriente...

En el s.V de nuestra era, se inventa la porcelana en China. Esta tecnología alcanza sus mayores expresiones artísticas y técnicas con las dinastías Tang (618-907) y Ming (1368-1644).



Figura 5: Jarrón de porcelana Ming (s. XIV)
(<http://www.chinapotteryonline.com>)

En esa época, la tecnología cerámica europea estaba mucho menos desarrollada, como se puede comprobar hoy en día, a través de los métodos de análisis actuales:

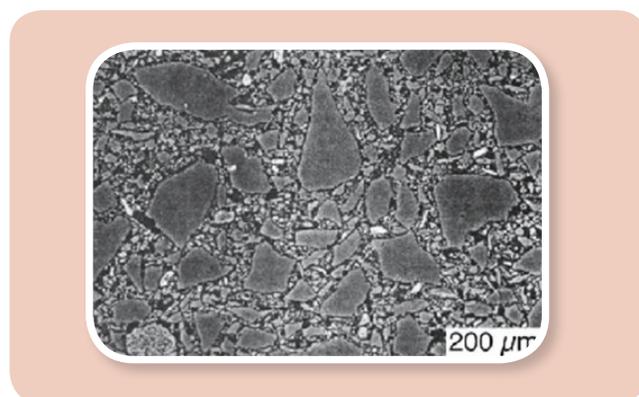


Figura 6: Microfotografía de microscopía electrónica de barrido de un azulejo del año 1436, donde pueden verse grandes granos de cuarzo inmersos en una matriz vítrea continua. Estas microestructuras muestran granulometría gruesa, gran porosidad residual y composición heterogénea, lo que resulta en propiedades estructurales pobres. (200 μm = 0.2 mm) (Carter y col., 2007)

Casi contemporáneamente con la fabricación de este azulejo (en 1453), Constantinopla cae en manos de los turcos. El último emperador romano de Oriente, Constantino XI, muere en la batalla.

En América, los mayas construyen pirámides y templos asombrosos en las selvas centroamericanas.

El Renacimiento: y posteriormente, la porcelana en Europa Central

1633: El inglés W. Oughtred creó el instrumento que hoy se conoce como regla de cálculo, usado durante siglos por los ingenieros, y que solo fue desplazado por la calculadora electrónica, hace menos de 50 años.

Recién a principios del siglo XVIII, se descubrió en Europa la forma de fabricación de la porcelana. El alquimista alemán Friedrich Böttger desarrolló una fórmula cuyo resultado se aproximaba mucho a la cerámica china. Extrajo una tierra fina y grisácea de las minas de Kolditz, kaolinita. Utilizó también alabastro calcinado y feldespato. Con esta fórmula consiguió la porcelana, pero el secreto de la elaboración pasaba por la cocción a la inusualmente alta temperatura de 1300-1400°C durante doce horas. El material tuvo un enorme éxito, y en 1710 el propio Böttger fundó una fábrica en Meissen.

A fines de este siglo, se comienzan a utilizar prótesis dentales cerámicas. La excelente resistencia a la compresión de la porcelana dura, junto con su inercia química, la convirtieron en el material de elección para soportar tanto los esfuerzos mecánicos de la masticación como la agresividad química y térmica del entorno bucal.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

La transición de los materiales cerámicos de la escala artesanal a la producción industrial tuvo lugar en Europa a partir del siglo XVIII. En los comienzos de este siglo, los procesos utilizados en las fábricas de cerámica eran todavía muy primitivos, pero esta situación cambió radicalmente en algunos lugares (Vincennes y Sèvres, Francia; Meissen, Alemania; Staffordshire, Inglaterra), donde si bien la química de los complejos procesos de la producción todavía no era totalmente comprendida, se lograron avances empíricos importantes a través de la selección de las materias primas y la constancia en las condiciones de procesamiento.

La Revolución Industrial (s.XIX)...

La industria cerámica tuvo un papel influyente en la revolución industrial, tanto en el desarrollo de los sistemas fabriles como en el mejoramiento de la calidad

de vida, primero en Inglaterra y luego en toda Europa.

El cemento contemporáneo, cuyo ejemplo más conocido es el cemento Portland, tiene menos de 200 años de edad (¡la primera patente aplicada data de 1823!), y el que se utiliza actualmente tiene una composición química muy similar a la de su predecesor. Los componentes principales son los silicatos dicálcico y tricálcico, el aluminato tricálcico y la aluminoferrita cálcica.

...y la Revolución Tecnológica (s.XX)

A partir de entonces, la aceleración de los progresos tecnológicos ha sido creciente en todos los campos, incluyendo el de los materiales cerámicos. En la actualidad, como resultado de algo más de un siglo de investigación, el procesamiento y la fabricación se encuentran optimizados gracias al conocimiento de los fundamentos científicos y al desarrollo de las técnicas ingenieriles. Esta investigación se soporta en

Año	Algunos hitos importantes relacionados con la Química y con los materiales cerámicos	Otros hechos contemporáneos
1912	Ernest Rutherford descubre los rayos alfa, beta y gamma y establece su modelo planetario del átomo	El Imperio Chino reconoce oficialmente a la República Argentina. V́ctor Grignard y Paul Sabatier reciben el premio Nobel de Química Se crea la Asociación Química Argentina.
1930	Producción comercial de fibra de vidrio	Se pone a la venta la cinta adhesiva transparente "Scotch".
1940	Aparición de la cinta magnética de grabación	
1942	Combustibles nucleares (UO ₂)	
1945	Capacitores cerámicos de BaTiO ₃	La bomba atómica sobre Hiroshima y Nagasaki.
1952	Fabricación de vidrio plano por flotado (Pilkington)	
1954	Desarrollo del transistor	
1957	Fabricación comercial de diamantes artificiales	La radio portátil "Spica". El primer hombre en el espacio.
1960	Cerámicos estructurales basados en Si ₃ N ₄ , BN y B ₄ C	
1960	Primer láser experimental, basado en un monocristal de rubí (Al ₂ O ₃ dopado con Cr ³⁺).	En Liverpool se forma el grupo de rock "The Beatles".
1966		En Buenos Aires, la noche de los bastones largos.
1969		El primer hombre en la luna
1970	Fibras ópticas para comunicación	Luis F. Leloir recibe el premio Nobel de Química
1980	Recubrimientos de hidroxiapatita en implantes quirúrgicos	
1983	Aleaciones de aluminio reforzadas con fibras de SiC	Fin de la dictadura militar en Argentina
1986	Descubrimiento de los superconductores cerámicos	Sobre la Antártida, se descubre un agujero en la capa de ozono
1991	Síntesis de nanotubos de carbono	
1994		A los 93 años, muere Linus Pauling
1995	Aplicación de rodamientos de Si ₃ N ₄ en las bombas de combustible (O ₂ líquido) de vehículos espaciales	Comercialización de Internet Explorer
2000	Descubrimiento de la activación selectiva de genes por contacto con biomateriales cerámicos	Muerte del Dr. René Favaloro
2008	Europa: Se pone en marcha el Large Hadron Collider	Se constituye, en Brasilia, la Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR)
2011		Año Internacional de la Química
2012	¿...?	Centenario de la Asociación Química Argentina

dos factores principales: el desarrollo de técnicas de caracterización avanzadas, tales como espectroscopía y difracción de rayos X, y microscopía electrónica; y los avances en las tecnologías de procesamiento. Desde comienzos del siglo XX, los logros alcanzados han sido –son– cada vez más frecuentes y más asombrosos, no solo en aquellos aspectos limitados a las fronteras de la ciencia, sino en términos de cambio constante en la vida del ciudadano común. La enumeración de la tabla de la página anterior, lejos de ser exhaustiva, incluye algunos de los hitos recientes con los que la Química (y dentro de ella, los materiales cerámicos) han estado relacionados, junto con algunos eventos ajenos a su campo, pero que también resultaron de importancia en otros aspectos, mostrando la creciente velocidad con que los progresos científicos y tecnológicos se han sucedido en el siglo pasado.

Llegados a este momento de nuestra historia, describir en detalle cada avance, cada logro tecnológico derivado de cada paso adelante en los conocimientos químicos, sería obviamente imposible. (Además, aunque nos lo propusiéramos, la velocidad de cambio en esta época superaría nuestra velocidad para registrarlos y comentarlos...). Entonces, simplemente como ejemplos de campos de aplicación de los cerámicos, que afectan no solo a la “cresta de la ola” de la Química, sino también a nuestra vida como ciudadanos, haremos un breve recorrido por dos de ellos: los vidrios y vitrocerámicos bioactivos, y los cerámicos magnéticos.

Los vidrios y su utilización como materiales biomédicos

¿Los vidrios...son materiales cerámicos?

El uso tradicional de la forma singular “el vidrio” ha hecho que comúnmente se piense en el vidrio como un material único, al cual puede darse diversas conformaciones. Sin embargo, existe una variedad enorme de tipos de vidrio, lo que ha posibilitado su aplicación en numerosos campos: como material estructural, como componente óptico, como recubrimiento protector, como envase para alimentos... e incluso, como material quirúrgico.

La definición más común de los vidrios se basa en su proceso de fabricación. Una de las más generalmente aceptadas hoy en día es, justamente una definición tecnológica, dado que el término “vidrio” tiene un origen empírico y no científico, y dice que: Los vidrios son materiales sólidos que se obtienen por enfriamiento rápido de una masa fundida, impidiendo su cristalización.

Esta definición tiene algunas limitaciones, ya que implica que deberíamos conocer la forma en que se obtuvo el material para poder decir si es un vidrio, aspecto que no siempre es posible. Además, no incluye los vidrios especiales obtenidos por otras técnicas (por ej. deposición desde la fase vapor, o sol-gel) ni los vitrocerámicos, que son materiales obtenidos por enfriamiento de una masa fundida, pero en los cuales se lleva luego a cabo una cristalización parcial controlada. Otra definición, basada en un punto de vista es-

tructural, se da en forma más general y sintética: los vidrios son sólidos inorgánicos amorfos.

Con todo esto, no hay una línea divisoria absoluta entre vidrios y cerámicos: los cerámicos contienen fases vítreas que en algunos casos ayudan a su consolidación o bien pueden modificar sus propiedades; los vidrios pueden contener fases cristalinas, ya sean indeseables o generadas ex-profeso para conferirles determinadas características, como en el caso de los vitrocerámicos.

Muchos autores consideran por estas razones a los vidrios como tipos particulares de materiales cerámicos, caracterizados por una estructura esencialmente no cristalina.

¿Cómo pueden los vidrios tener aplicaciones médicas? (“¿Implantar vidrio dentro del cuerpo?”)

Una de las aplicaciones más notables, y quizás de las más “inesperadas” de los vidrios fue descubierta por L. Hench en 1968-71 [Hench, 2006] cuando lideró una investigación (subvencionada por el US Army Medical R&D Command) apuntada a modificar la composición química de los vidrios comunes de modo tal que pudieran reaccionar en el medio fisiológico y formar una unión química con el tejido vivo. Su trabajo se basó en la siguiente hipótesis:

“El cuerpo humano rechaza a los materiales metálicos y poliméricos sintéticos formando una capa de tejido fibroso, porque el tejido vivo no está compuesto de tales materiales. Por otra parte, la porción inorgánica del hueso consiste en un compuesto hidratado de fosfato de calcio, hidroxiapatita (HA), $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$; por lo tanto, si un material es capaz de formar una capa superficial de HA cuando es implantado “in vivo”, dicho material puede no ser rechazado por el cuerpo”.

El material desarrollado por Hench se denominó 455S (Bioglass^{MR}). Con sus estudios, Hench y colaboradores mostraron por primera vez que un material hecho por el hombre puede unirse al tejido óseo. A partir de este descubrimiento, de que algunos vidrios pertenecientes al sistema $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O-P}_2\text{O}_5$ son capaces de interactuar químicamente con el tejido vivo formando una unión química, se despertó un gran interés en el desarrollo y utilización de los vidrios y vitrocerámicos como materiales biomédicos. A este tipo de materiales se los clasificó como “materiales bioactivos”.

El material original desarrollado por Hench, tenía una composición en peso de 45% SiO_2 , 24,5% Na_2O , 24,5% CaO y 6% P_2O_5 . Con esta composición se reproduce la relación Ca/P presente en la hidroxiapatita, la fase inorgánica del hueso. La composición del Bioglass^{MR} fue estudiada con tres microestructuras diferentes: amorfa, parcialmente cristalina y totalmente cristalina. En los tres casos el material se unió al hueso; no hubo diferencias cualitativas entre los comportamientos químicos del implante vítreo y de las formas cristalinas.

Mientras este avance científico-tecnológico tenía lugar en el norte de América, en Córdoba se conjugaban diferentes circunstancias para transformar lo que inicialmente fue una protesta obrera y estudiantil en rebelión popular (el "Cordobazo", de 1969). También en 1970, fue clausurado el Instituto Di Tella, considerado el "templo de las vanguardias artísticas". En el mismo año, Luis Federico Leloir recibía el Premio Nobel de Química por sus investigaciones sobre los nucleótidos derivados del azúcar y su función en la biosíntesis de carbohidratos.

Además, tomando como base la composición del Bioglass se desarrollaron y estudiaron una serie de vidrios con diferente composición, manteniendo constante el contenido de P₂O₅. Hench y col. introdujeron el denominado "índice de bioactividad" en cada uno de ellos, definiéndolo como el tiempo necesario para que el 50 % de la superficie de un implante se una al hueso, pudiendo así establecer un diagrama que muestra líneas de isobioactividad en función de la composición [Hench y col., 2010].

En las etapas iniciales del desarrollo de los biovidrios, se creía que la presencia de P₂O₅ en la composición era esencial para que el vidrio fuera bioactivo. Sin embargo, se demostró que los vidrios del sistema SiO₂-CaO-Na₂O exentos de iones fosfatos, obtenidos por sol-gel, eran bioactivos con contenidos de hasta el 85% en moles de SiO₂. También se demostró que otros sistemas, como el vidrio binario de silicato de calcio, podían formar una unión estable con el tejido óseo porque reaccionan con los fosfatos del medio.

¿Cómo se unen los biovidrios al tejido óseo?

La base de la propiedad de los biovidrios de unirse al tejido óseo está en su reactividad en medios fisiológicos. La Figura 7 muestra los pasos y la escala de tiempo involucrados en la formación de la capa de hidroxiapatita carbonatada (C-HA) sobre un implante de vidrio bioactivo (etapas 1 a 5) dando lugar luego al crecimiento de nuevo hueso (etapas 6 a 11).

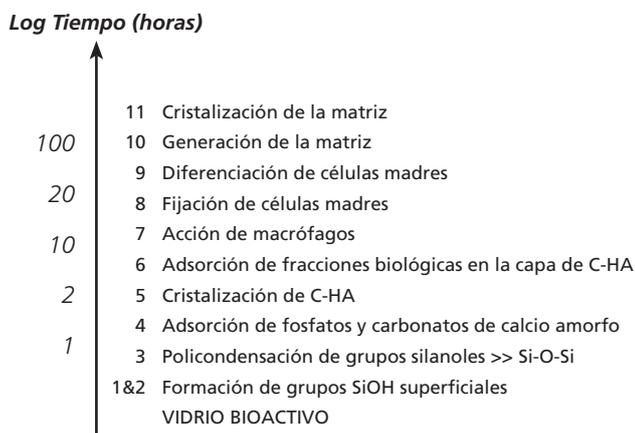


Figura 7: Secuencia de reacciones interfaciales involucradas en la formación de un enlace entre el tejido y un biovidrio. (Adaptado de Hench y col., 2010).

El mecanismo por el cual se forma la capa de C-HA sobre los biovidrios expuestos a los medios fisiológicos fue propuesto por primera vez por Hench. El proceso se esquematiza en la Fig. 8(a), y consta de las siguientes etapas:

1. Disolución parcial e intercambio iónico entre los protones del medio fisiológico y los iones lábiles modificadores de red contenidos en el vidrio.
2. La elevación del pH facilita la disolución de la red y la formación de grupos silanoles (Si-OH) adicionales, así como la pérdida de sílice soluble.
3. Formación de una capa superficial rica en sílice amorfa, producto de la condensación de los grupos silanoles vecinos, perdiendo agua y configurando grupos siloxanos (Si-O-Si).
4. Migración de iones Ca²⁺ y PO₄³⁻ a la superficie de la capa de sílice, formando una capa amorfa rica en CaO-P₂O₅ la cual crece debido a la incorporación de Ca²⁺ y PO₄³⁻ procedentes de la solución.
5. Cristalización de la capa amorfa por incorporación de iones desde la solución para formar hidroxiapatita carbonatada.

El mecanismo biológico detallado de formación de nuevo hueso, sin embargo, incluye una serie más compleja de etapas. La unión a los tejidos requiere una serie de reacciones interfaciales adicionales que están mucho menos definidas (Etapas 6 a 11 de la Figura 7). En la Figura 8 (b) se muestran las características de la interfase generada por la unión entre el biovidrio y el hueso. Además, se observa la distribución de Si, Ca y P en las distintas regiones de la interfase generada luego de un año de realizado el implante.

En los individuos de mayor edad hay muy pocas células en los huesos que sean capaces de dividirse y formar nuevo hueso. Las pocas células osteoprogenitoras que están presentes deben recibir el estímulo químico correcto desde su entorno local; esto las activa para entrar al ciclo de la célula, conduciendo a la división celular (mitosis) y eventualmente a la regeneración de nuevo hueso (osteogénesis).

La Figura 8(c) resume la secuencia de eventos que comprende un ciclo celular para un simple osteoblasto progenitor, su división en células hijas y la posterior diferenciación en células de hueso maduro.

Las células en descanso están en una fase denominada G₀, y a menos que sean estimuladas a entrar en fases activas del ciclo celular (G₁), ellas no conducirán a la formación de hueso. Un nuevo ciclo celular comienza después de que una célula completó la mitosis. Los pasos claves para la regeneración de hueso son: (1) controlar la población de células que son capaces de entrar en las fases activas del ciclo celular, (2) completar la mitosis con apropiada replicación de genes (proliferación celular), y (3) alcanzar la diferenciación celular en un fenotipo capaz de sintetizar un complemento lleno de proteínas extracelulares que constituyen un osteocito maduro.

Los estudios realizados por Xynos y col. (2000) mostraron que el control del ciclo celular de osteoblastos puede ser alcanzado por la liberación controlada de

productos iónicos de disolución a partir de vidrio bioactivo 45S5. Las células osteoprogenitoras colonizan la superficie del vidrio bioactivo; sin embargo, la concentración de iones Si y Ca en la interfase célula/solución es crítica para controlar el ciclo celular y activar una serie de siete familias de genes responsables para la osteogénesis. La velocidad controlada de disolución del vidrio provee la concentración crítica de los iones biológicamente activos para las células a través de la solución interfacial.

A través de investigaciones más recientes se ha mostrado que existe un pronunciado efecto a nivel celular debido a iones específicos liberados de estos vidrios. Algunas propiedades de estos materiales son de relevancia, ya que a partir de ellas se pueden diseñar materiales mejorados y encontrar nuevas aplicaciones. Como ejemplo, los polvos finos de ciertas composiciones de vidrio bioactivo presentan propiedades antimicrobianas, por lo cual están siendo utilizados en la composición de pastas dentífricas para prevenir la gingivitis.

Además, las nuevas propiedades antiinflamatorias del vidrio bioactivo particulado ayudan a explicar la naturaleza altamente biocompatible de estos materiales; el control de estas propiedades está siendo usado para desarrollar nuevas tecnologías de cicatrización.

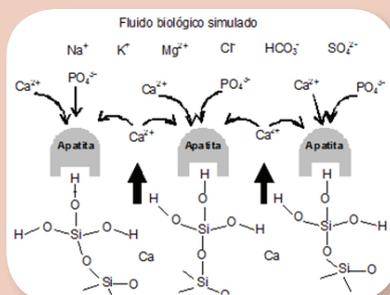


Figura 8: a) Esquema del mecanismo de formación de la capa de C-HA sobre un biovidrio.

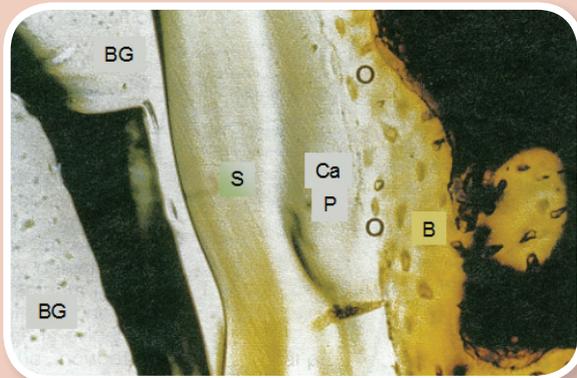
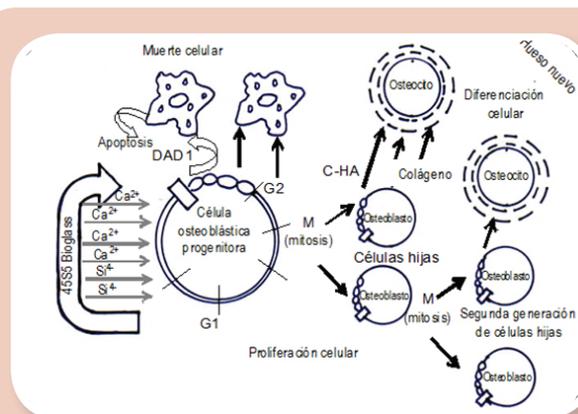


Figura 8: b) Características de la interfase de unión generada entre el biovidrio y el hueso.

BG: Bioglass^{MR}; S: capa de sílice; Ca-P: capa rica en calcio y fósforo; O: osteocitos; B: hueso. El ancho de la imagen es de aproximadamente 150 μm . (Adaptado de Hench, 1991).



Ciclo de célula progenitora osteogénica conducente a (1) muerte celular programada; (2) mitosis y proliferación celular; o (3) diferenciación terminal de la formación de un osteocito mineralizado.

Figura 8: c) Secuencia simplificada de eventos de un ciclo celular para un osteoblasto progenitor, su división y diferenciación en células de hueso maduro (Adaptado de Hench y col., 2010).

Actualmente los vidrios bioactivos son ampliamente utilizados en cirugía como reemplazo o relleno óseo, en aquellos huesos que no están expuestos a esfuerzos mecánicos importantes, ya que el material se comporta como frágil a la fractura. Esto impide su uso en reemplazo de huesos largos, pero se ha mostrado particularmente exitoso en la cirugía de cabeza y cuello, por ejemplo en el tratamiento de la fractura del piso orbital:

Figura 9: (a) Tomografía computacional de un paciente de 23 años mostrando la fractura del piso orbital derecho (flechas) con hernia del tejido ocular dentro del seno maxilar.

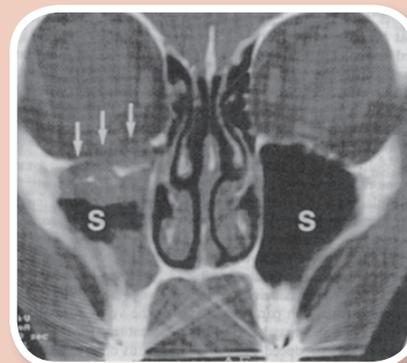


Figura 9: (b) El mismo paciente, después de 4 meses de la colocación de un implante curvado de vidrio bioactivo (K. Aitasalo, 1993).



Los cerámicos magnéticos (¿"Cerámicos magnéticos"? ¿Cómo es esto?)

Si uno pide a un auditorio cualquiera un ejemplo de un material magnético, muy probablemente obtenga "hierro metálico" como respuesta. Si bien es un buen ejemplo, la realidad es que en su forma pura el hierro no es un material magnético muy usado. Muchos cerámicos pueden también ser magnéticos y fueron de hecho los primeros imanes conocidos por el Hombre. Actualmente, se fabrican alrededor de 600.000 toneladas de imanes cerámicos al año, lo que los hace comercialmente más importantes que los imanes metálicos. El mercado más grande lo ostentan las llamadas ferritas duras (imanes permanentes) que son utilizadas en aplicaciones cotidianas, tales como motores de limpiaparabrisas, burletes de heladeras, parlantes, bandas magnéticas de tarjetas de crédito, etc. Las ferritas blandas pueden magnetizarse y desmagnetizarse fácilmente y las encontramos en teléfonos celulares, núcleos de transformadores y fundamentalmente en dispositivos de grabación (informática y audio).

A lo largo de la historia el magnetismo probablemente ha fascinado a la humanidad más que cualquier otra propiedad que pueda exhibir un material. El primer material magnético descubierto fue la magnetita (Fe_3O_4). Es el principal mineral magnético conocido y en su estado natural se encuentra permanentemente magnetizado. El "extraño poder" de este mineral era muy bien conocido en la antigüedad. Según Tales de Mileto, la interacción a distancia entre dos imanes era conocida antes del 2800 AP. En sus escritos, Tales describió algunos aspectos de la electricidad estática, de ellos proviene la palabra "electrón".

Más o menos en ese tiempo, Demócrito de Abdera dijo "Nada existe, salvo átomos y el vacío". Pero casi nadie le creyó...

Por el año 2400 AP, Sócrates había experimentado colgando anillos de hierro debajo de un trozo de magnetita, y comprobó cómo luego los anillos se atraían entre sí, debido a que los mismos se habían magnetizado. Mucho antes (ca. 4600 AP) una leyenda china cuenta que el emperador Hwang-Ti fue guiado en una batalla a través de una densa niebla por medio de una pequeña figura pivotante que contenía una pieza de magnetita insertada en su brazo extendido. La figura siempre apuntaba al sur y se trató quizás de la primera brújula creada por el hombre. La Figura 10 muestra una antigua brújula china. La cuchara está hecha de magnetita y está apoyada sobre una placa de bronce. La cuchara gira sobre su base hasta que queda apuntando al sur. Aunque se ha demostrado que esta brújula realmente funciona, la misma fue utilizada con propósitos "cuasimágicos" más que para orientarse en la navegación.



Figura 10: ¿¿Brújula china... o cucharón de sopa??
(http://www.smith.edu/hsc/museum/ancient_inventions/compass2.html)

El desarrollo de los cerámicos magnéticos a lo largo de la historia se encuentra fuertemente ligado al avance de los conocimientos sobre magnetismo. Un hito en este sentido fue el tratado de William Gilbert, que data de 1600: "De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure" ("Sobre el Magnetismo, los Cuerpos Magnéticos y el Gran Imán Tierra") que resume toda la información disponible en ese entonces sobre magnetismo. Gilbert describe sus propios experimentos: con la ayuda de una pequeña brújula midió la dirección y la intensidad del campo magnético creado por esferas de magnetita. Para esto él introdujo nociones fundamentales como polos magnéticos y líneas de fuerza. También descubrió que cuando calentaba magnetita al rojo, la misma perdía sus propiedades magnéticas y que las recuperaba al enfriarse. De este modo anticipó la existencia de la temperatura de Curie³. Su origen continuó siendo un misterio, aun luego de más de 2 siglos después de que Gilbert escribiera su tratado sobre magnetismo.

Los comienzos del siglo XIX estuvieron marcados por una serie de importantes contribuciones al magnetismo. Hans Christian Oersted descubrió en 1820 que una corriente eléctrica que circula por un cable produce efectos sobre un imán. André Marie Ampère (hoy día, la unidad de intensidad de corriente eléctrica lleva su nombre) estableció leyes cuantitativas de la fuerza magnética entre corrientes eléctricas y demostró la equivalencia del campo generado por un imán y aquel producido por una bobina portadora de corriente. Michael Faraday descubrió la inducción magnética en 1831 e introdujo el concepto de campo magnético como una entidad física independiente. Después de un largo período de experimentos frustrados con campos estáticos e imanes estacionarios, descubrió los efectos de inducción magnética de campos oscilantes e imanes en movimiento. Esta línea de investigación culminó en 1865 con las ecuaciones de Maxwell, que significaron una suerte de síntesis de los efectos eléctrico y magnético.

Los avances en el origen microscópico del magnetismo fueron iniciados por Ampère, quien sostenía que ciertas corrientes eléctricas internas que circulan

3. Es la temperatura a la cual ciertos materiales pierden su orden magnético.

a escala molecular eran las responsables del momento magnético medido en un material ferromagnético. Estas hipótesis fueron utilizadas por Weber para explicar cómo una sustancia puede estar en un estado desmagnetizado cuando los imanes moleculares se hallan orientados al azar, y cómo los mismos pueden orientarse por la acción de un campo externo. Esta idea llevó a explicar la existencia de la saturación de un material magnético, un estado que se alcanza cuando todos los imanes elementales están orientados en la dirección del campo aplicado.

El interés comercial en cerámicos magnéticos comenzó verdaderamente en los primeros años de la década de 1930, con la aparición de una patente japonesa que describía aplicaciones de ferritas de cobalto y cobre. En 1947, J.L. Snoeck, de la empresa Philips, realizó un estudio sobre ferritas, y el año siguiente Louis Néel publicó su teoría del ferrimagnetismo⁴, de gran relevancia debido a que buena parte de los cerámicos que presentan propiedades magnéticas aplicables son ferrimagnéticos. Los primeros imanes cerámicos fueron producidos en 1952 por investigadores de Philips, la misma compañía que en 1963 introdujo el cassette de audio [Enz, 1982].

Ferritas duras y blandas

Los óxidos magnéticos que contienen Fe^{3+} en su composición se denominan en general ferritas. Esta terminología no diferencia entre las distintas estructuras cristalinas que pueden tener estos cerámicos, las cuales determinan muchas de sus propiedades. En la Tabla 1 se resumen las estructuras más comunes de varias ferritas junto con sus aplicaciones más clásicas.

Estructura	Composición	Aplicaciones
Espinelas (ferritas cúbicas)	1 MeO : 1 Fe_2O_3 Me: metal de transición (Ni, Co, Fe, Mn, etc)	Dispositivos de almacenamiento de datos Núcleos de transformadores
Granates (ferritas de tierras raras)	3 Me_2O_3 : 5 Fe_2O_3 Me: tierra rara (Y, Gd, etc)	Dispositivos de microondas
Magnetoplumbita (ferritas hexagonales)	1 MeO : 6 Fe_2O_3 Me: metal alcalino térreo	Imanes permanentes (parlantes, motores, etc)

Tabla 1.- Los tipos de cerámicos magnéticos más comunes.

Antes de profundizar en la descripción de estos importantes materiales magnéticos, es indispensable comentar brevemente algunos fundamentos del magnetismo de sólidos:

Cuando una sustancia es colocada en un campo magnético H , la densidad de líneas de fuerza en el material, conocida como inducción magnética B , está dada por la magnitud H más una contribución $4\pi M$ debida al propio material:

$$B = H + 4\pi M,$$

donde M es la magnetización (la intensidad del momento magnético por unidad de volumen). Las propiedades de mayor interés para la descripción del comportamiento magnético de un material son la permeabilidad, μ (definida como B/H) y la susceptibilidad, χ (M/H). La primera indica la capacidad de un material para atraer y hacer pasar a su través los campos magnéticos, y la segunda es el grado de magnetización de un material, en respuesta a un campo magnético aplicado.

Por ejemplo: en un material diamagnético $\mu < \mu_0$ (μ_0 = permeabilidad del vacío) y χ presenta valores pequeños y negativos. En cambio, para las sustancias paramagnéticas y antiferromagnéticas, $\mu \geq \mu_0$ y χ es positiva. En los materiales ferro o ferrimagnéticos, $\mu \gg \mu_0$ y se observan además grandes valores de χ . Estos materiales son fuertemente atraídos por un campo magnético. Poseen una estructura de dominios, en los cuales todos los momentos atómicos están alineados en forma paralela. Bajo la acción de un campo lo suficientemente elevado es posible alcanzar la condición de saturación, donde los momentos magnéticos de todos los dominios se hallan orientados paralelamente. La magnetización obtenida cuando se alcanza este estado se denomina magnetización de saturación (M_s). Cuando se representa la magnetización M , o inducción B , en función de la intensidad de campo H , se obtiene un ciclo de histéresis, como el de la Figura 11. El campo opuesto necesario para desmagnetizar completamente el sólido se denomina campo coercitivo, H_c .

Las ferritas son cerámicos ferrimagnéticos, es decir presentan elevadas susceptibilidad y permeabilidad magnéticas. Las mismas se clasifican en duras y blandas: las primeras presentan elevados valores de M_s y H_c (ciclos de histéresis anchos), mientras que las segundas se caracterizan por una elevada M_s y pequeños valores de H_c (ciclos de histéresis angostos). Esta diferencia determina las aplicaciones de ambos grupos de materiales.

Las ferritas duras son utilizadas en imanes permanentes, donde se requiere que el material cuente con una elevada magnetización en ausencia de campos externos. Para esto es necesario que la estructura de los cerámicos presente una elevada anisotropía magnética⁵ para impedir la rotación de los dominios magnéticos, lo cual puede lograrse, por ejemplo, controlando el tamaño de los granos del material, de modo que cada grano sea un único dominio. Entre las composiciones más utilizadas encontramos las hexaferritas de bario ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) y estroncio ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$). Los imanes de ferrita son comercialmente los materiales magnéticos más importantes de la actualidad. Esto se debe fundamentalmente a la disponibilidad y relativo bajo costo de las materias primas y a la simplicidad de los procesos empleados en su fabricación.

4. Ordenamiento opuesto de momentos magnéticos individuales de diferente intensidad, que da lugar a un momento magnético neto.

5. Inhomogeneidad de las propiedades magnéticas en distintas direcciones del espacio, producida por factores como baja simetría de la red cristalina, forma de las partículas, etc.

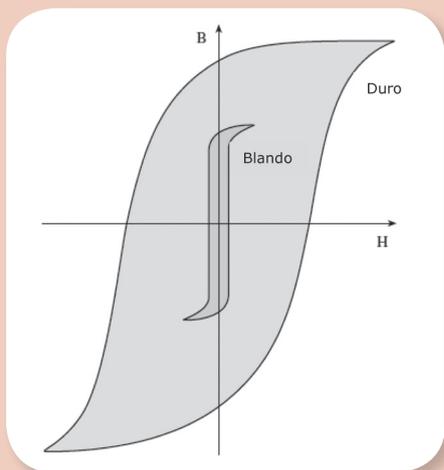


Figura 11: Ciclos de histéresis mostrando los diferentes comportamientos de cerámicos magnéticos duros y blandos.

En el caso de las ferritas blandas el requisito es que un pequeño campo debe producir una elevada magnetización. Esto indica que estos cerámicos deben poseer un bajo H_c y una elevada permeabilidad. En estos materiales los dominios magnéticos son fácilmente alineados en la dirección del campo aplicado (baja anisotropía magnética). Esta propiedad se encuentra fuertemente relacionada con la microestructura del material, es decir con el tamaño de grano, la estructura de los bordes de grano, la presencia de poros e impurezas, etc. Todos estos factores afectan notablemente la capacidad de respuesta de la ferrita frente a un campo magnético. Las ferritas blandas se utilizan principalmente en aplicaciones en las que la dirección del campo H varía, como por ejemplo, en inductores de alta frecuencia y en transformadores en componentes para microondas. Existen numerosos ejemplos domésticos de aplicaciones de ferritas blandas: en medios de grabación y almacenamiento de datos, núcleos de transformadores en teléfonos, dispositivos en radios y televisores, como bobinas de deflexión, sintonizadores y antenas. Las ferritas espinela basadas en el sistema $(Mn,Zn)Fe_2O_4$ son ejemplos de cerámicos magnéticos blandos de mayor importancia comercial. Este mercado produce unas 50.000 toneladas anuales de ferritas, usualmente conocidas como *Ferroxcube* [Carter y col., 2007].

¿Qué cerámicos se utilizan en el almacenamiento magnético de datos?

La grabación magnética es una de las tecnologías principales para el almacenamiento de datos. Es el método preferido cuando la información debe leerse inmediatamente después de ser escrita o cuando debe ser procesada por una máquina. Se encuentra presente en cintas de audio y video, discos rígidos, tarjetas de crédito, etc. El grabador magnético de audio fue inventado en 1898 por el inglés Oberlin Smith, mientras que recién en 1955 fueron introducidos los grabadores de video, aunque sólo en emisoras de radiodifusión. Hoy día los equipos de grabación magnética han

alcanzado una enorme popularidad, con ventas que exceden los 50.000 millones de dólares por año.

Los materiales utilizados en medios de grabación, como cintas y discos, consisten en colecciones de partículas magnéticas soportadas en un polímero flexible. Una pequeña parte de esta cinta magnética se magnetiza mediante un cabezal y los datos se almacenan según la dirección de magnetización en forma binaria. Esto exige un estrecho control de las propiedades de las partículas utilizadas:

- H_c debe ser lo suficientemente alto para mantener la magnetización (y entonces la información) pero no demasiado elevado para que los datos puedan ser borrados con campos relativamente bajos.
- El material debe ser químicamente estable.
- Las partículas deben ser pequeñas ($< 1 \mu m$) y con anisotropía de forma (agujas, láminas).
- Bajo costo.

Los óxidos cerámicos más utilizados para este tipo de aplicación son el $\gamma-Fe_2O_3$ (maghemita) y el CrO_2 . Las partículas de maghemita son utilizadas en medios magnéticos de grabación desde 1930 y hoy en día constituyen cerca del 90% del mercado. El método convencional para la preparación de este óxido involucra la deshidratación de goethita ($FeOOH$) a hematita ($\alpha-Fe_2O_3$) seguida por la reducción a magnetita y la posterior oxidación a maghemita. Varias modificaciones experimentales han sido desarrolladas en las últimas décadas para obtener partículas de forma y tamaño uniforme que las hagan aplicables en medios de grabación. Típicamente las partículas de maghemita son aciculares, con longitudes de 100-700 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ millonésima de milímetro}$) y relación de aspecto (longitud / diámetro) de hasta 10. El campo coercitivo no supera los 40 kA/m, valor que se halla en el límite inferior de lo requerido en grabación magnética. Por ello, existen modificaciones con Co ($Co-\gamma-Fe_2O_3$) que resultan en un aumento de H_c , lo cual ha permitido su utilización en cintas de audio y video (antes del advenimiento de los CDs y de las memorias portátiles).

El proceso para producir partículas de CrO_2 como medios magnéticos fue desarrollado por DuPont en los años sesenta. Dado que las partículas de este cerámico tienden a poseer un H_c más elevado que el $\gamma-Fe_2O_3$, el CrO_2 resulta más adecuado para grabación magnética de alta densidad. Además posee también mayor magnetización, lo que se traduce en un rango de respuesta más amplio y así en una mejor calidad de reproducción. Tanto el tamaño pequeño como la estrecha distribución del tamaño de las partículas de CrO_2 , llevan a que las cintas fabricadas con este material presenten un nivel de ruido mucho más bajo que las de maghemita (menor ruido de fondo en audio y menor "lluvia" en imágenes de video). Sin embargo, el CrO_2 presenta desventajas, como baja temperatura de transición, toxicidad, es abrasivo para ciertos cabezales y sus propiedades magnéticas sufren cam-

bios con el tiempo. Además es más caro que el $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ [Carter y col., 2007].

El descubrimiento de que ciertas ferritas policristalinas presentan un ciclo de histéresis rectangular (elevada M_s y bajo H_c) y entonces podían ser utilizadas como elementos de memoria en computadoras fue de capital importancia para el desarrollo la tecnología informática. Previamente Forrester y Papion en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) descubrieron el principio de la selección de la corriente coincidente de un núcleo, en aleaciones metálicas. Sin embargo la elevada conducción eléctrica limitaba su aplicación. Aproximadamente en la misma época Albers-Schoenberg observó que los ciclos de histéresis de determinadas ferritas tenían forma rectangular, además de ser mucho más aislantes que las aleaciones usadas hasta el momento. Esta innovación se materializó en 1953, cuando un equipo del MIT llamado Whirlwind introdujo la memoria de núcleo magnético de ferrita (Figura 12). La misma consistía en un arreglo de millares de pequeños imanes de forma toroidal (anillos) enhebrados con conductores capaces de cambiar el estado magnético de los imanes mediante pulsos eléctricos y de ese modo manipular datos en forma binaria. Los núcleos magnéticos se usaron durante casi 30 años, hasta que fueron reemplazados por circuitos integrados semiconductores. Actualmente la memoria RAM primaria de las computadoras es de tecnología de semiconductores de acceso rápido, pero un medio magnético provee el segundo almacenamiento RAM en discos duros, que son de acceso más lento pero tienen mucha más capacidad (1 Tb⁶ en computadoras personales), y es "permanente" [Jiles, 2003].

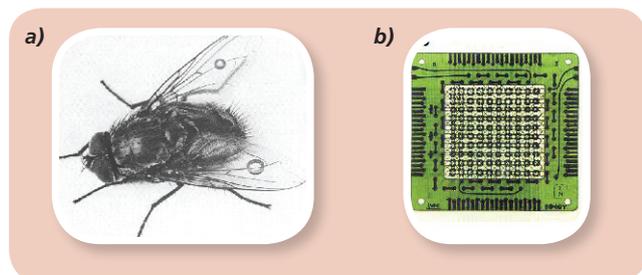


Figura 12: a) Núcleos de ferrita sobre las alas de una mosca; b) Memoria de computadora (núcleo de ferrita) (años '70) (Enz, 1982).

¡El futuro... ya llegó!

En estos días, el paradigma de la ciencia de materiales parece pasar por los nanomateriales. Unos de los productos emblemáticos de la nascente nanotecnología son los "nanotubos de carbono". Se trata de macromoléculas tubulares consistentes en átomos de carbono en arreglo hexagonal (Figura 13).

Estos "tubos" miden unos pocos nanómetros de diámetro -se necesitaría entretrejer aproximadamente 50.000 de ellos para obtener un haz del diámetro de

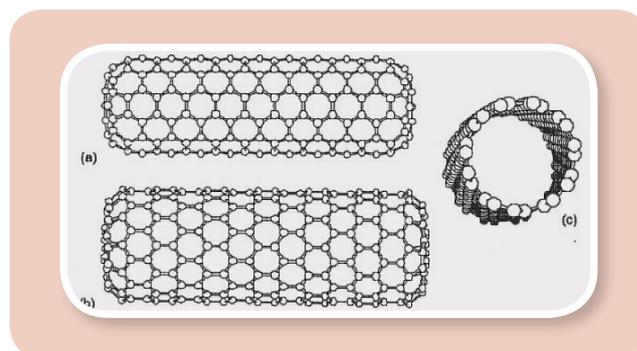


Figura 13: Diagramas de los tres tipos de nanotubo: (a) silla de brazos (armchair), (b) zigzag, (c) quiral. (J.Liu y col., 1997)

un cabello-, y tienen longitudes de hasta centímetros; millones de veces mayores que su diámetro. Poseen una resistencia a la tracción 10 veces superior a la del acero, con la cuarta parte de su peso; son el material con mayor resistencia específica (resistencia / peso) que se conoce, y sus potenciales aplicaciones son innumerables: eléctricas, estructurales, cinéticas, ópticas, térmicas...

En 1979, la novela de ciencia ficción "Fuentes del paraíso" de Arthur C. Clarke, obtuvo los premios literarios Hugo y Nebula, los más importantes otorgados a obras de ese género.

En ella, Clarke describió un "ascensor espacial" entre la tierra y un satélite en órbita geoestacionaria, fabricado con una trama de un "hiperfilamento" microscópicamente fino pero muy resistente, de "un cristal de diamante pseudo-unidimensional en forma de fibra continua". Actualmente, la NASA está financiando proyectos para desarrollar un elevador similar, en base a un haz entretrejado de nanotubos de carbono...

Otro ejemplo de este "futuro-presente" de los materiales cerámicos lo constituyen los vitrocerámicos bioactivos conteniendo Fe_3O_4 para tratamiento de tumores por hipertermia [Ohara y col., 1991], que ya se están aplicando en pacientes humanos, y que constituyen una alternativa más eficiente, y sobre todo mucho menos invasiva, para el tratamiento de tumores de difícil acceso. Este es un ejemplo de la complementación de las propiedades magnéticas y biológicas: si se inyecta una suspensión de partículas de vidrio con Fe_3O_4 en la vecindad de un tumor, y se aplica en la zona un campo magnético oscilante, el movimiento de los dominios magnéticos al orientarse siguiendo la oscilación del campo genera un aumento de temperatura local, la que puede llegar a alrededor de 43°C. Como las células cancerosas (tejido defectuoso) están pobremente irrigadas, son más sensibles a la temperatura, y pueden ser destruidas sin afectar significativamente los tejidos sanos circundantes, como sucede con los tratamientos de radioterapia, y sin inundar la totalidad del organismo con altas dosis de medicamentos, como en la quimioterapia.

6. 1 Tb = 1 terabyte = 1000 gigabytes = 10^{12} bytes.

Y mirando un poco más lejos...

Actualmente existe un gran interés en la investigación científica de los materiales cerámicos multiferroicos. Estos materiales (por ejemplo, BiFeO_3), son ferroeléctricos a la vez que ferromagnéticos, y son capaces de adoptar cuatro estados, en lugar de los dos estados de los materiales usados en la actual tecnología binaria. Se calcula que su uso en memorias electrónicas permitirá lograr capacidades de almacenamiento de un exabyte (¡¡¡mil millones de gigabytes!!!) en computadoras personales.

En el campo de los biomateriales, el desarrollo de microesferas de vidrio bioactivo conteniendo el isótopo radioactivo de itrio ^{90}Y ha mostrado nuevas alternativas para el tratamiento de cáncer de hígado. Dichas micropartículas pueden ser activadas por bombardeo con neutrones, de modo de generar una radiación localizada dentro de un tumor, que destruya las células cancerosas sin afectar el tejido sano. Este tratamiento llamado radioembolización, se caracteriza por combinar los efectos de la radiación y la embolización de los capilares en un tumor maligno. Los resultados clínicos han sido alentadores: se observó un significativo incremento del tiempo de supervivencia en los pacientes tratados con esta terapia. Las investigaciones actuales sobre sistemas de radiación localizada son numerosas y permitirán el desarrollo de nuevas terapias para otro tipo de órganos afectados.

Consideraciones finales

Este breve relato ha intentado, a través de los materiales cerámicos, mostrar las "puntas del ovillo" de algunas de las tantas historias (asombrosas, estimulantes, trágicas, emocionantes...) que la Química nos viene regalando desde el principio de los tiempos, aun de aquellos que precedieron al género humano. Historias con innumerables héroes y –afortunadamente– no tantos villanos. Historias que cambiaron el mundo, historias que alargaron nuestra vida, historias que nos llevan más lejos en cada generación. Y que tienen, además, otras dos virtudes: una, que están abiertas a que todos, en mayor o menor medida, contribuyamos a ellas; y la otra, que nunca terminarán.

Referencias bibliográficas

- Aitasalo, K. (1993), cit. en: Bioactive glasses: clinical applications. (J. Wilson, A. Yli-Urpo, R.-P. Happonen); Cap. 4 en An Introduction to Bioceramics (L. Hench, J. Wilson, Eds.). World Scientific.
- Carter, C.B., Norton, M.G. (2007) Ceramic Materials: Science and Engineering, Cap. 33. Springer Science.
- Claude, P. (2010). En Irak, le pillage des objets d'art continue. Le Monde, edición del 26 de setiembre de 2010.
- Liu, J., Dai, H., Hafner, J.H., Colbert, D.T., Smalley, R.E., Tans, S.J., Dekker, C. (1997). Fullerene 'crop circles'. Nature 385 p. 780
- Enz, U. (1982). Magnetism and Magnetic Materials: Historical Developments and Present Role in Industry and Technology. Handbook of Magnetic Materials, Vol. 3. North-Holland.
- Hench, L.L. (1991). Bioceramics: From concept to clinic. J. Am. Ceram. Soc. 74, pp. 1487-1510.
- Hench, L.L. (2006). The story of Bioglass. J. Mater. Sci.: Mater. Med. 17, pp. 967-978.
- Hench, L.L., Day, D.E., Höland, W., Rheinberger, V.M. (2010). Glass and medicine. Int. J. Appl. Glass Sci. 1, pp. 104-117.
- Jiles, D.C. (2003). Recent advances and future directions in magnetic materials. Acta Materialia 51. pp. 5907-5939.
- Kingery W.D., Bowen H.K., Uhlmann D.R. (1974). Introduction to Ceramics. J. Wiley and Sons.
- Ohara, K., Ikenaga, M., Nakamura, T., Yamamuro, T. (1991). Heat-generating bioactive ceramics. J. Biomed. Mater. 25, pp. 357-365.
- Xynos, I.D., Hukkanen, M.V., Barren, J.J., Buttery, I.D., Hench, L.L., Polak, J.M. (2000). Bioglass 45S5 stimulates osteoblast turnover and enhances bone formation in vitro: Implications and applications for bone tissue engineering. Calcif. Tissue Int. 67, pp. 321-329.

19

LOS (MICRO) ALQUIMISTAS
MÁS ANTIGUOS DEL PLANETA**Dra. Patricia Cerrutti***Facultad de Ingeniería- Universidad de Buenos Aires.**Laboratorio de Microbiología Industrial- Departamento de Ingeniería Química- Pabellón de Industrias- Ciudad Universitaria. Tel.: 4576-3240/1- E mail: cerrutti@di.fcen.uba.ar*

A mis hijos Cecilia e Ignacio, que mamaron desde temprano el discreto encanto de las ciencias.

A mi sobrina Victoria, que con casi diez años todavía no decidió si estudiar química o ser cantante.

Había una vez...

"Y en el principio, fueron las reacciones químicas..."

Hace billones de años, en un primitivo planeta Tierra casi recién nacido, la atmósfera era muy distinta de lo que es ahora: abundaban compuestos que podemos considerar muy poco adecuados para respirar, como el hidrógeno, el metano, el amoníaco, el dióxido de carbono (CO₂) y el monóxido de carbono (CO). Y el oxígeno, que actualmente constituye el 21% de nuestra atmósfera, era prácticamente inexistente. Aquellos eran tiempos tempestuosos de erupciones volcánicas, temperaturas mucho más altas de las que hoy tenemos, y lluvias torrenciales. Además, la ausencia de ozono hacía que las radiaciones del Sol llegaran sin filtro hacia la Tierra. Pero este ambiente desapacible fue sin embargo un eficiente laboratorio que permitió que ocurrieran importantes reacciones químicas aprovechando aquellas materias primas (moléculas primitivas) y la gran energía disponibles (Trevors, 2006). La radiación UV no filtrada pudo haber facilitado la formación de moléculas fundamentales, más grandes y complejas, a partir de las moléculas simples que predominaban en aquella atmósfera.

**Y un día...
aparecieron los microalquimistas**

"La vida surge apenas tiene oportunidad"

"El propósito de un microorganismo es hacer otro microorganismo"

Lentamente, la Tierra se fue enfriando y cuando la temperatura fue menor de 100°C, se hizo posible la existencia de agua líquida. En esas circunstancias, hace aproximadamente unos 4000 millones de años,

surgieron los primeros "microalquimistas"¹. Nosotros, y la mayoría de las formas de vida que conocemos, no hubiéramos podido vivir en esas condiciones, pero esos primitivos habitantes la encontraron apta para subsistir en las profundidades de los océanos o debajo de rocas, donde tenían más probabilidades de vivir y multiplicarse².

Por otra parte, no tenían competencia: eran los únicos habitantes del planeta. Y tenían otra ventaja: podían autorreplicarse; es decir, un microalquimista podía producir otros microalquimistas. Y del mismo modo que los alquimistas no transmitían sus conocimientos formalmente en instituciones sino que lo hacían clandestinamente de "maestro a aprendiz", de generación en generación, estos seres microscópicos tenían la capacidad de transmitir instrucciones genéticas a sus sucesores.

Fueron los primeros seres vivos, y funcionaron como diminutas fábricas o plantas químicas. Medían aproximadamente un micrón (0,001 mm) o poco más, y cada uno estaba formado por una sola célula, pero con su actividad constante fueron lentamente afirmando eso tan complejo que es la diversidad de la vida en nuestro planeta. Estamos hablando de lo que hoy llamamos "microorganismos". Estos primeros microorganismos estaban formados por un tipo de células muy simple, clasificadas como "Procariotas". Tuvieron que ser necesariamente capaces de subsistir sin oxígeno, ya que, como se dijo, vivían en un ambiente cuya atmósfera prácticamente carecía de este elemento libre. Pero en algún momento, en aquel primitivo caldo reactivo se formó una molécula que abrió las puertas evolutivas para que surgieran otras posibilidades de vida. Fue la molécula de clorofila, mediante la cual fue posible producir oxígeno a partir de CO₂ y agua, utilizando la energía que llegaba del Sol, en un proceso que hoy llamamos "fotosíntesis" (Alberts y cols., 1994).

Surgieron entonces hace unos 3000 millones de años, otros microalquimistas que incorporaron estas moléculas de clorofila. Siendo todavía relativamente poco sofisticados, el pigmento clorofila les permitió obtener más eficientemente energía para crecer y reproducirse, usando elementos tan accesibles como el agua, los gases de la atmósfera y la radiación solar;

1. Entre los seres humanos, los alquimistas fueron los primeros en "experimentar" con la ciencia. Lo hicieron de manera práctica, ya que disponían de muy escasos conocimientos teóricos para orientar sus trabajos. La alquimia se practicó entre los siglos III a.C. y XVI d.C., pero contribuyó grandemente al desarrollo de la ciencia química, aportando algunas nociones, metodologías y equipamientos que aun hoy siguen vigentes.

2. En ausencia de la capa de ozono, la radiación ultravioleta atravesaba sin impedimentos la atmósfera y llegaba plenamente a la superficie de la Tierra, causando niveles de mutaciones insostenibles en la información genética de los microorganismos expuestos.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

y liberando a su vez, un residuo que no les servía: el oxígeno generado en la fotosíntesis (Madigan y cols., 2007). Estas emisiones descontroladas y constantes de oxígeno desde aquellas épocas lejanas, fueron lentamente cambiando nuestra atmósfera. El oxígeno fue combinándose primero con los iones ferrosos presentes en los océanos formando enormes depósitos de óxido de hierro, hasta que no hubo más iones de hierro disponibles para oxidar, y entonces comenzó a acumularse oxígeno libre...Este proceso se conoce como la Gran Oxidación y sucedió hace 2400 millones años aproximadamente (Goldblatt y cols., 2006). Ante la nueva oferta de oxígeno libre, se establecieron en nuestro planeta otros alquimistas que, respirándolo, obtenían energía de manera más eficiente. Simultáneamente, para el resto resultaba mortalmente tóxico. Sin embargo, algunos de estos microalquimistas acostumbrados a la atmósfera anóxica (sin oxígeno), pudieron protegerse exitosamente de este "gas venenoso", en lugares a los cuales el oxígeno no tenía acceso, como las profundidades de los pantanos. Y sus descendientes siguen acompañándonos aun ahora desde sus protegidos refugios anóxicos. El oxígeno fue un impulsor de formas de vida más diversas y eficientes, y posibilitó la aparición de la capa de ozono que protegió la corteza terrestre de las radiaciones UV, haciendo que los seres vivos pudieran asomarse de debajo de las rocas y de los océanos, y sobrevivir y reproducirse en su superficie.

Mucho tiempo después, hace 1500 millones de años, hicieron su aparición formas de vida más complejas que los biólogos clasificaron como pertenecientes al equipo de los Eucariotas. Eran unos microalquimistas un poco más grandes (6 a 10 micrones), y más sofisticados. Mucho más tarde hicieron su aparición las plantas y los primeros animales, que disfrutaron del oxígeno, producto de desecho con que los primitivos microalquimistas habían "contaminado" nuestra atmósfera. Lentamente, esta alcanzó los niveles de oxígeno que tenemos ahora, a la vez que fue disminuyendo la concentración de CO₂, lo cual a su vez afectó la temperatura de la Tierra. Así, actualmente tenemos un planeta que, con sus variantes más o menos extremas, nos permite vivir en gran parte de su superficie. Entonces, los microalquimistas se fueron estableciendo en las nuevas condiciones imperantes, ocupando los suelos, el agua, el aire e incluso las superficies de los nuevos habitantes (vegetales y animales), adaptándose con notable eficacia a los nuevos ambientes que encontraban.

Si asimilamos la existencia de la vida en nuestro planeta con un año, hasta comienzos de noviembre sólo hubo microorganismos. Durante todo ese tiempo, los microalquimistas reinaron como habitantes exclusivos de nuestro planeta (Alberts y cols., 1994).

Actualmente continúan silenciosamente conservando su reinado: el número de microalquimistas es infinitamente superior a la población humana. En un sólo envase de un litro de yogurt puede haber más microorganismos que seres humanos sobre toda la Tierra...

¿Cuál es el secreto de estos microalquimistas?

"La vida es un sistema evolutivo y autorreplicante, basado en reacciones químicas y bioquímicas que suceden en un determinado ambiente físico-químico"

Las reacciones químicas siguen siendo protagonistas. El secreto del funcionamiento de los microalquimistas es lo que se denomina "metabolismo": un conjunto de reacciones que sostienen el complejo mecanismo de los seres vivos. Todo el ciclo de vida (desarrollo, crecimiento y reproducción) está condicionado por las reacciones químicas que puedan o no ocurrir dentro de las células. Los procesos metabólicos se llevan a cabo por medio de un conjunto muy ordenado de estas reacciones. Así, la química de los seres vivos (o *bioquímica*) puede describirse como una serie de cambios químicos que ocurren dentro de la célula a medida que esta crece y se multiplica para dar origen a otra célula. Es mediante algunas de estas reacciones químicas que obtienen la energía necesaria para procesar las materias primas o nutrientes disponibles y construir su propio material celular. En un organismo unicelular "sencillo" como la bacteria *Escherichia coli*, un simple Procariota, coexisten al menos un millar de estas reacciones (Alberts y cols., 1994; Nelson y cols., 2006).

La supervivencia de cada especie de seres vivos depende de su habilidad para sentir las alteraciones de su entorno y poder responder poblacionalmente en forma apropiada a la nueva situación. Durante mucho tiempo reinaron los microalquimistas estrictamente anaerobios que no pueden vivir en presencia de oxígeno. Como vimos, la fotosíntesis no fue un requerimiento para la formación de los primeros seres vivos en la Tierra, ya que en el momento en que estos se formaron, todavía no existía la molécula de clorofila y por lo tanto, la fotosíntesis no podía ocurrir como proceso bioquímico. Sin embargo, al ir cambiando la composición atmosférica, los microorganismos anaeróbicos siguieron subsistiendo relegados a ambientes minoritarios; y, aún hoy, siguen formando parte de la vida en nuestro planeta.

Haciendo uso de los microalquimistas...

"Un suceso probable es un suceso posible de alta probabilidad de ocurrencia en la realidad"
(Jorge Wagensberg)

"En esta casa se respetan las Leyes de la Termodinámica"
(Homero Simpson)

Y ya cuando el hombre empezó a poblar la Tierra, aún sin conocerlas, se sirvió de estas eficientes fábricas de productos químicos tan inmensamente variada. Antiguas civilizaciones como la egipcia, desconocían la existencia y los complejos procesos químicos que llevaban a cabo en sus metabolismos los microorganismos involucrados; pero aún sin saberlo, hicieron uso de ellos para la elaboración del pan, la cerveza o el vino.

Probablemente a fuerza de prueba y error, lograron elaborar estos productos gracias a la intervención predominante de las que hoy conocemos como *levaduras*: células Eucariotas que están naturalmente en el aire, las frutas y los cereales, y que cuando las condiciones ambientales les resultaban favorables, espontáneamente se ponen a “trabajar” (Spencer y Spencer, 1997). Según las materias primas que las levaduras encuentran, harina de trigo, malta, o uva, el resultado “inevitable” de sus procesos bioquímicos en funcionamiento resulta en la fermentación de dichas materias primas, que originarán, luego de cocción, maduración, etc., el pan, la cerveza o el vino, respectivamente.

Simplemente, nuestros antepasados supieron aprovechar los resultados del trabajo de los microalquimistas, y las experiencias cotidianas les permitieron diseñar y perfeccionar los procesos de elaboración de estos productos. También es probable que ocasionalmente, otros microalquimistas “autoconvocados” les hayan dado algún disgusto, malogrando la producción³.

Pero es asombroso que con tan escasa base teórica estos pueblos hayan sabido, sin embargo, obtener estos alimentos relativamente complejos. Recién en el siglo XVII, gracias a sus observaciones en un rudimentario microscopio, Antonie van Leeuwenhoek “descubrió” la existencia de estos seres diminutos. Al observar una gota de cerveza con este instrumento, describió la presencia de “pequeños animáculos”, pero quizá no llegó a relacionarlos con los procesos de fermentación propios de la elaboración de la cerveza. Ya en el siglo XIX, otros investigadores describieron a las levaduras como organismos vivos responsables de las reacciones químicas involucradas en la *fermentación* y establecieron que esta era precisamente el resultado de las actividades de los microorganismos durante su crecimiento. El término “fermentación” (del latín, *fervere*), significa “hervir”, y se debe a que durante el proceso metabólico que realiza la levadura, produce el gas CO₂, que forma burbujas en el mosto de la cerveza⁴. Hoy en día, el término “fermentación” se define técnicamente como la capacidad de transformar compuestos orgánicos mediada por enzimas (Najafpour, 2007).

También en el siglo XIX, Louis Pasteur reafirmó estos conceptos acerca del crecimiento y la reproducción de las levaduras y su relación con los procesos metabólicos, echando por tierra a la “Teoría de la Generación Espontánea”. Hoy en día, la acumulación de estudios de los microbiólogos, permitieron dilucidar paso a paso las reacciones químicas que ocurren cuando las levaduras se ponen en contacto con los azúcares, así como qué condiciones de temperatura, humedad, y concentración de oxígeno favorecen cada una de ellas. Ha quedado fehacientemente demostrado que la fermentación, y el crecimiento y reproducción de las levaduras son procesos conectados. Se sabe también que estas fermentaciones proceden a través de

una serie de reacciones químicas, que conducen a la formación de etanol, CO₂, agua y energía, a partir de azúcares simples como la glucosa. Y que son también reacciones químicas conectadas con estas las que conducen a la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares primordiales.

Cuando los microalquimistas encuentran las materias primas y un ambiente (condiciones de temperatura, humedad, etc.) más o menos adecuados, ponen en marcha sus sistemas metabólicos sin mayores exigencias. Es que estas reacciones químicas que tanto aprovechamos, a partir de compuestos químicos tan variados como exóticos, son justamente su forma de supervivencia. Esas condiciones muchas veces pueden resultar absolutamente inadecuadas para nosotros: temperaturas extremas, condiciones de acidez inaceptables e incompatibles con nuestros usos y costumbres. Pero dada la enorme variedad de microalquimistas existente, siempre daremos con alguno que las encuentre medianamente o muy favorables.

Actualmente, con frecuencia preferimos seguir recurriendo a estos microalquimistas antes que reproducir paso a paso en nuestros laboratorios las reacciones químicas que ellos espontáneamente producen. Es por eso que, al igual que los pueblos antiguos hace tantas generaciones, los seguimos utilizando para elaborar desde los tradicionales panes, cerveza, vino, hasta los más recientes productos del mercado tales como los publicitados “probióticos”. Los utilizamos para producir las promocionadas enzimas que dejan nuestra ropa limpia y con colores brillantes, y hasta recurrimos a ellos para obtener antibióticos. Hoy en día, se está trabajando en la utilización de los microalquimistas para producir combustibles ante el panorama del agotamiento de los de origen fósil. Los usamos para descontaminar el suelo y el agua, y para sintetizar una innumerable lista de productos que nosotros consideramos de “alto valor agregado” a partir de lo que consideramos desechos.

Y hablando de fermentaciones...

La cerveza

Cuentan que hace más de 9000 años, los sumerios pudieron haber sido los primeros en servirse de estos microalquimistas para hacer cerveza, aunque luego los egipcios mejoraron el proceso obteniendo un producto más cercano al actual (An, 2005). La cerveza se convirtió en la bebida preferida de los faraones, y se conservan grabados egipcios datados en el año 2400 a.C. que reproducen distintas etapas de la elaboración tanto de la cerveza como del pan.

Los egipcios fabricaban morteros en los que molían granos de cereales, y es probable que alguna mez-

3. Las condiciones favorables al desarrollo de las levaduras utilizadas para la elaboración del pan, vino o cerveza, resultan en general propicias para el crecimiento de las bacterias lácticas, también de ocurrencia natural en el ambiente. Cuando estas bacterias alcanzan una concentración importante, modifican el aroma y sabor de los productos elaborados. Asimismo, el crecimiento de mohos en un bollo de pan antes del horneado, arruinaría la producción.

4. Este burbujeo puede considerarse visualmente como una analogía al agua que hierve, por cuanto en ese proceso físico se producen burbujas de aire —que se hace insoluble— y de vapor de agua.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

cla de granos molidos humedecidos dejada un cierto tiempo, haya sido fermentada por los microorganismos presentes. En las cervezas elaboradas en aquellas épocas, probablemente habrán intervenido mezclas de distintos microorganismos presentes en los cereales y en el aire, en las cuales pudo haber predominado la levadura llamada *Saccharomyces cerevisiae*. El término "*Saccharomyces*" indica su idiosincrasia: "hongo del azúcar"; y "*cerevisiae*" se refiere a uno de sus *habitats* naturales: los cereales, que a su vez nos remite a Ceres, la diosa romana de la agricultura.

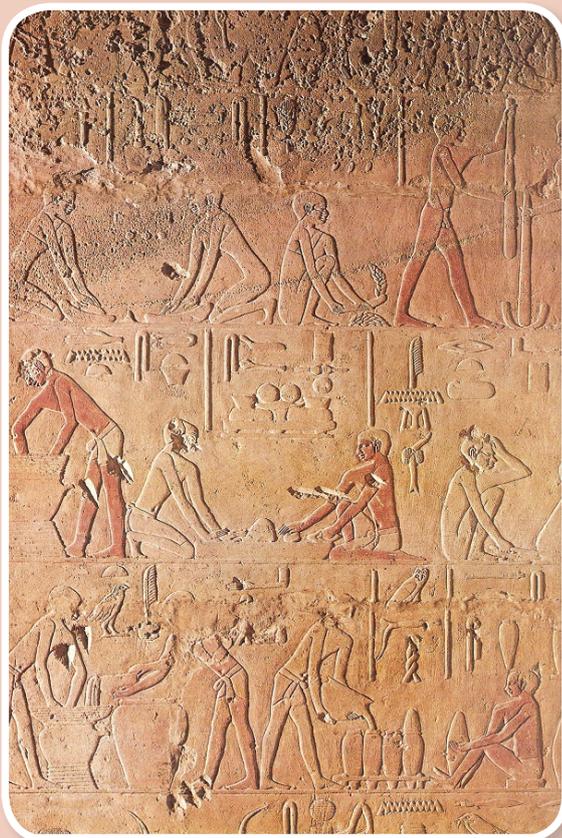


Figura 1: Relieve perteneciente a la colección del Museo Nacional de Antigüedades de Leiden (Holanda), en el que se muestran escenas de molienda de granos, y distintas etapas de la elaboración de cerveza y pan correspondientes a la civilización egipcia, de aproximadamente 4400 años de antigüedad.

Espontáneamente, las levaduras del género *Saccharomyces*, son capaces de fermentar el mosto clarificado obtenido al hervir granos de cebada germinada y producen a partir de los azúcares contenidos en él, una mezcla de etanol y CO_2 . Actualmente, es habitual el reemplazo de parte de la cebada por otros cereales que aportarán el almidón que, enzimas de la

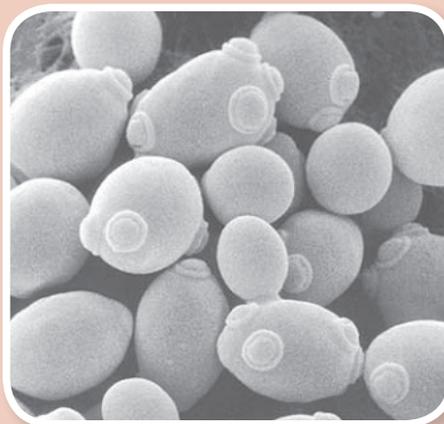


Figura 2: Micrografía de barrido de células de *Saccharomyces cerevisiae*, microorganismo unicelular que se reproduce por brotación. Al separarse el brote, queda una cicatriz en la célula "madre". Aquí se observan las células, algunas de ellas con brotes y cicatrices. <http://yeastcell.com/wp-content/uploads/2010/07/yeastcell.jpg>

cebada germinada (malta) mediante, proveerán los azúcares que las levaduras fermentarán. En realidad, las levaduras ponen en marcha las reacciones bioquímicas de la fermentación que darán etanol y CO_2 a partir de los azúcares que encuentra en el mosto, con la principal finalidad de obtener energía para crecer y reproducirse. Mientras tanto, el CO_2 producido en estas condiciones, en conjunción con componentes del lúpulo⁵ y proteínas presentes en el mosto de la cerveza, dan lugar a la valorada espuma (Zimmermann y Entian, 1997). Pero, además, las levaduras producen otras sustancias químicas volátiles que junto con el lúpulo que se agrega, le darán un aroma particular. Y son justamente esas "otras sustancias aromáticas" las que hacen irremplazable el uso de las levaduras. En principio, podríamos producir en el laboratorio etanol, CO_2 , y agregar lúpulo, pero sería prácticamente inviable sintetizar en forma comercial la variedad de compuestos y en la proporción adecuada para obtener una cerveza "artificial" tan gustosa como la "natural", sin la intervención de las levaduras. Es que en el caso de la cerveza, además de etanol, las levaduras producen compuestos aromáticos como alcoholes amílico e isoamílico, ácidos como el acético y butírico, y ésteres en cantidades muy bajas (aproximadamente diez mil veces menores que el etanol). Lo mismo se comprueba cuando se hace una masa para pizza reemplazando a las levaduras por "polvo leudante": podemos producir CO_2 y obtener así una masa esponjosa, pero faltarán los "aromas"⁶...Y también sucede con el vino, en donde estos aromas se deben a sustancias químicas tales como ésteres, otros alcoholes distintos del etanol, aldehídos, cetonas y ácidos grasos, en una proporción programada "de fábrica" que las levaduras producen

5. En la elaboración de la cerveza se utiliza las inflorescencias femeninas de la especie vegetal *Humulus lupulus* que aportan el "sabor amargo" de la cerveza, estabiliza la espuma y contribuye a la conservación microbiológica del producto. Actualmente se agregan directamente extractos de estas inflorescencias, que contienen los compuestos químicos responsables de estos efectos. Se cree que las primeras cervezas se elaboraron sin lúpulo.

6. Las propiedades que son captadas por los sentidos, tales como color, sabor olor, etc., se conocen como "propiedades organolépticas" y son determinantes a la hora de definir la aceptabilidad de un alimento.

a partir de las uvas. En todos estos casos, son los productos "secundarios" minoritarios los que hacen la diferencia.

El pan

Los grabados egipcios los muestran elaborando panes, que en principio fueron "planos", es decir, sin fermentar, y cuya masa amasaban con los pies. Es probable que, casualmente, alguna vez una masa "contaminada" con levaduras y bacterias lácticas, haya sido dejada en reposo unas horas antes de ser cocida. Este hecho habría permitido que los microalquimistas aprovecharan ávidamente los azúcares de la masa, produciendo nuevamente etanol y CO₂, dando origen al pan esponjoso que conocemos hoy. Muchos años más tarde, los babilonios ya editaban documentos que trataban sobre la elaboración de la cerveza y el pan, pero se indica que las primeras *panaderías* fueron egipcias (Hiron y Godon, 1994).

Para la elaboración de pan, es preciso mezclar fundamentalmente harina, malta, sal, agua y células de levaduras. Nuevamente, en los tiempos de los antiguos egipcios habrán intervenido varios tipos de microorganismos que estaban en los cereales, entre los cuales pudo haber predominado *Saccharomyces cerevisiae*. Hoy en día, en la elaboración del pan se utilizan exclusivamente cepas puras de esta reconocida levadura, lo que permite obtener partidas de productos más uniformes. Asimismo, se obtuvieron cepas mejor adaptadas para fermentar masas más azucaradas o adecuadas para trabajar a distintas temperaturas ambiente teniendo en cuenta las temporadas invierno o verano.

El vino

Según estudios arqueológicos realizados, hace más de 5000 años los iraníes de Hajji Firuz Tepe ya elaboraban vino. La zona del Cáucaso haya sido quizá la cuna vitivinícola de la humanidad (Lambert, 2005). De modo semejante al pan y la cerveza, la elaboración de los primeros vinos pudo deberse a la acción espontánea de levaduras naturalmente presentes en las cáscaras de las uvas: Es probable que turcos, armenios o iraníes obtuvieran jugo de uvas para beber, simplemente por aplastamiento de la fruta. Quizá las uvas expuestas a temperaturas ambientales favorables durante varios días, posibilitaron que los microalquimistas pusieran en funcionamiento su maquinaria metabólica, siempre con la finalidad de obtener energía para crecer y reproducirse aprovechando los azúcares de la uva, y dejaban como "subproductos" el etanol, el CO₂ y otros compuestos minoritarios pero muy importantes a la hora de producir aromas. El alto contenido de azúcares y la alta acidez de la uva, pudieron haber favorecido selectivamente el desarrollo de ciertos tipos de microorganismos. Y nuevamente, las probabilidades estuvieron a favor de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Como sucede frecuentemente en la práctica, cuando estas levaduras organizan su banquete, las bacterias llamadas *lácticas* "tratan de colarse en la fiesta" y hacen lo suyo. En el caso del vino, estas

bacterias transforman (nuevamente, reacciones químicas mediante) un ácido presente en el mosto (ácido málico) en otro ácido (ácido láctico), modificando las características del producto final (Smith, 2000). Antiguamente estas bacterias podían o no estar espontáneamente presentes en el banquete; pero, hoy en día, se las agrega o no en función de las necesidades de acidez del producto final.

Las tan cotizadas y "marketineras" bacterias lácticas

Como en los casos anteriores, es probable que productos lácteos de antigua data tales como el queso, el yogurt y otras leches fermentadas, hayan sido el resultado de hechos fortuitos. En el caso del yogurt, la leche almacenada pudo haberse contaminado con el grupo de bacterias hoy llamadas "lácticas", que tienen la habilidad de fermentar un azúcar presente en la leche (la "lactosa") y producir un ácido (el "láctico") y otros compuestos aromáticos, provocando sensibles cambios de sabor, textura y aroma.

Cualquiera que compare las características sensoriales de un yogurt con las de la leche, podrá verificar de qué estamos hablando. Pero nuestros antepasados aprovecharon un "plus": estos productos fermentados se podían conservar más tiempo que la leche de partida, y es por eso que fueron tan útiles en la antigüedad, cuando las heladeras no existían. Entre las causas de esta mayor estabilidad podemos citar la mayor acidez del yogurt debida fundamentalmente a la producción de ácido láctico; pero también a otras sustancias, productos del metabolismo de estas bacterias lácticas,



Figura 3: Micrografía de barrido de bacterias lácticas del género *Lactobacillus*.

www.dicat.csic.es/rdcsic/images/lactobacillus.jpg



Figura 4: Micrografía de barrido de bacterias lácticas de la especie *Lactococcus lactis*.

<http://genome.jgi-psf.org/laccl/laccl.jpg>

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

tales como ciertas sustancias químicas que inhiben el desarrollo de bacterias indeseables, patógenas incluidas (Smit, 2003). De este modo, bacterias inocuas como las lácticas, permiten obtener un producto diferente, y a la vez, más estable y seguro.

Pero los microbiólogos fueron por más, y a partir de los conocimientos ancestrales legados, seleccionaron cepas de bacterias lácticas con mejores propiedades, no sólo en cuanto a la apariencia de los productos lácteos, sino también a los efectos benéficos que producían en nuestra salud. Como es costumbre humana, estas nuevas cepas fueron clasificadas y bautizadas: son los "probióticos" y se los define como "organismos vivos que administrados en cantidades adecuadas, producen un efecto beneficioso en la salud del huésped" (o sea, de quien los consume). La mayor parte de los probióticos son bacterias lácticas de origen intestinal, y las encontramos en el supermercado sobreviviendo refrigeradas en leches fermentadas, bajo el auspicio de distintas marcas comerciales. Se dice de ellas que nos protegen de bacterias patógenas con las sustancias antimicrobianas que producen, que nos regalan sus vitaminas, que mejoran nuestra absorción de nutrientes y nuestro sistema inmunitario, que regulan nuestro metabolismo de lípidos, y que bajan nuestros niveles de colesterol (Smith, 2000; Chaila y cols., 2005). Tanto las bacterias lácticas en sí como sus interesantes propiedades eran desconocidas por las antiguas poblaciones rurales, que sin embargo disfrutaron de estas ventajas mucho antes que nosotros.

Moraleja

Después de lo charlado, podemos reconsiderar la fama de los microorganismos. Muchas veces se los asocia solamente con enfermedades, intoxicaciones, alteraciones de alimentos y peligros inciertos varios. Cuando se habla de "la levadura" para hacer pizza, vino o cerveza, no todos reparan que se trata de organismos vivos. Quizá la irrupción de los probióticos haya comenzado a revertir estos prejuicios. De todos modos, nos convengan o no sus actividades, ellos lo único que hacen es aprovechar las sustancias que encuentran a su alrededor, para, reacciones químicas mediante, obtener energía y fabricar su material celular, creciendo y reproduciéndose, sin tener conciencia si en el camino nos favorecen o no.

Cada tipo de microalquimista tiene en su material genético información con "determinadas instrucciones", tales como qué y cuánto fabricar, según las materias primas y las condiciones ambientales disponibles. Algunas veces, los productos de estas reacciones nos resultan muy útiles; otras veces, nos perjudican; y algunas otras, nos resultan indiferentes. Pero es justo reivindicar a estos primeros habitantes del planeta que moldearon el ambiente e hicieron posible nuestra existencia, la de los seres "más evolucionados". Porque es claro: les debemos la vida, tal como la conocemos actualmente. Nuestra aparición y supervivencia en la Tierra, fue y es posible gracias al trabajo silencioso de estos supernumerarios microalquimistas...

Y continuando la labor iniciada por los alquimistas humanos, los químicos siguen estudiando las reacciones químicas, ahora incluyendo las involucradas en el metabolismo de una inmensa cantidad de microorganismos. Se dilucidan también las condiciones que permiten inducir la ocurrencia de una vía metabólica respecto de otra. Con todos estos conocimientos, podemos actualmente adjudicarles un comportamiento bastante rutinario y predecible. Se puede además "cambiarles la programación" introduciéndoles genes que modifican su comportamiento. Así, tenemos microorganismos que producen insulina humana o enzimas animales como la renina utilizada para la elaboración de quesos, que antes se obtenía de estómagos de terneros... Sobre las bases sentadas por los antiguos alquimistas, los químicos siguen investigando, ahora con equipamientos mucho más sofisticados, manejando volúmenes de información impensados en épocas remotas. Se combina también el trabajo realizado por los microorganismos con reacciones químicas "de laboratorio", obteniendo compuestos "semisintéticos". Las nuevas necesidades tecnológicas plantean nuevas posibilidades de uso de los microorganismos: la posibilidad de generar energía a partir de desechos y su rol en la descontaminación de aguas y suelos son algunos de ellos. Desde los antiguos alquimistas se ha recorrido un largo camino, pero sin embargo aún queda mucho más por recorrer...

Referencias Bibliográficas

Alberts, B., Bray D, Lewis, J, Raff, M, Robens, K, Watson, JD. (1994). *Molecular Biology of the Cell*. USA, Garland Publishing.

An, Z. (2005) *Handbook of Industrial Mycology*. NewYork. Marcel Dekker.

Chaila, Z., Ortiz Zavalla, J., Alarcón, O., Moreno, R., Gusilis, C., Gauffin Cano, P., Oliver, G., Gonzalez, S. (2005). Relation between probiotic milk administration and some bone turnover markers. *Journal of Food Technology*, 3, pp. 135-142.

Goldblatt, C., Lenton, T.M., Watson, A.J. (2006). Bistability of atmospheric oxygen and the Great Oxidation. *Nature*, 443, pp.683-686.

Hiron, H., Godon, B. (1994). *Historia de la panificación, en La panificación*. Barcelona- España, Montagud Editores.

Lambert, J.B. (2005). The deep history of chemistry. *Bull. Hist. Chem.*, 30 (1), pp.1-9.

Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker, J. (2007). *Brock, Biología de los Microorganismos*. Madrid, Prentice Hall. Najafpour G.D. (2007). *Biochemical Engineering and Biotechnology*. Amsterdam, Elsevier.

Nelson, D.L., Cox, M., Lenhinger, A.L. (2006). *Lenhinger. Principios de Bioquímica*. Barcelona, Ediciones Omega. Smit, G. (2003). *Dairy Processing- Improving Quality*. Cambridge- England, CRC Press and Woodhead Publishing Limited.

Smith, J. (2000). *Biotechnology*. Cambridge- England, University Press.

Spencer, J.F.T y Spencer, D.M. (1997). *Yeasts in Natural and Artificial Habitats*. Germany, Springer.

Trevors, J.T. (2006). The Big Bang, Superstring Theory and the origin of life on the Earth. *Theory in Biosciences*, 124, pp. 403-412.

Zimmermann, F.K. y Entian, K.D. (1997). *Yeast Sugar Metabolism: Biochemistry Genetics, Biotechnology, and Applications*. USA. Technomic Publishing Co. Inc.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

20

POLÍMEROS: DESDE GOODYEAR HASTA LOS MICROCHIPS

Dra. Mirta Liliana Fascio, Dra. Melisa Elsa Lamanna y Dra. Norma B. D'Accorso
 CIHIDECAR (CONICET). Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.
 Email: norma@qo.fcen.uba.ar

Desde los comienzos de la civilización el hombre encontró en la naturaleza una fuente inmensa proveedora de materiales tales como piedras, metales, algodón, madera, gomas naturales, que le permitieron satisfacer sus necesidades a lo largo de su evolución, respondiendo a demandas cada vez más exigentes.

Una nueva era surgió con la aparición de nuevos materiales capaces de imitar y superar las prestaciones de los naturales, que evidentemente, fueron quedando obsoletos. La sociedad cada vez más consumista y exigente ha impulsado, en gran medida, la investigación y los avances en la ciencia y la tecnología de polímeros.

Los polímeros sintéticos empezaron a producirse recién en el siglo XX. En las últimas décadas, hubo innumerables avances tecnológicos acompañados del desarrollo de nuevos materiales poliméricos con propiedades sorprendentes y con aplicaciones en diversas áreas, desde las electrónicas hasta las medicinales.

En este capítulo se presentará cómo el azar, el espíritu científico e innovador, junto con la razón se combinaron para suplir las necesidades humanas, que tuvieron y siguen teniendo distintos grados de demanda.

¿Qué macromoléculas conocemos y usamos?

Si hablamos de macromoléculas, no resulta extraño para todos nosotros que pensemos en polisacáridos (celulosa, almidones), proteínas, ADN, ARN, es decir macromoléculas biológicas, debido a la importancia que cumplen en variadas funciones vitales de los organismos vivos.

Por otra parte, todos conocemos los usos que desde tiempos lejanos el ser humano le dio a los algodones, madera, papel y gomas naturales. Las propiedades que ofrecían estos materiales, no satisfacían todas las demandas existentes, motivo por el cual los químicos empezaron a experimentar buscando nuevos productos que suplieran estas carencias. Así comenzó a desarrollarse la investigación en el campo de los polímeros sintéticos, más conocidos como plásticos. Hoy, los materiales plásticos son parte de nuestras necesidades, ya que sustituyen con ventajas a los vidrios, cueros, algodones, cerámicos, sedas y hasta metales.

Pero, la primer pregunta que nos podemos hacer es ¿qué son los polímeros?

Un polímero es un material formado por la unión de un gran número de moléculas pequeñas llamadas monómeros, siendo el producto resultante una macromolécula de elevado peso molecular. Para ilustrar este concepto podemos pensar en un collar de perlas, donde cada perla sería una unidad de monómero y el collar el polímero. Puede ocurrir que los collares tengan algunos colgantes es decir que no sean collares lineales entonces decimos que tienen ramificaciones; o bien que esos colgantes estén unidos a varios collares dando como resultado redes tridimensionales. En virtud de esta representación los polímeros se clasifican en lineales, ramificados y entrecruzados (Ver Figura 1).

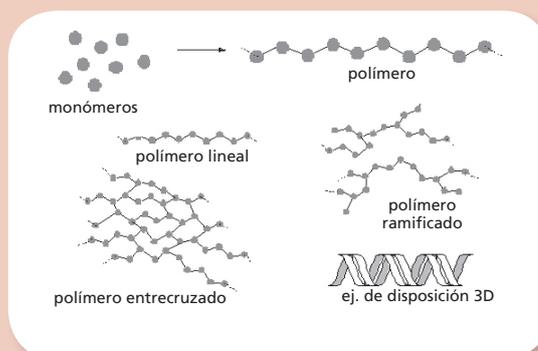


Figura 1: Esquema de la reacción de polimerización y estructuras de los polímeros.

Por otro lado, como podemos ver en la Figura 2, en el mundo de los polímeros existen homopolímeros, que son resultado de la unión de un mismo tipo de monómero, pero también encontramos copolímeros, los cuales son formados a partir de distintos tipos de unidades monoméricas. Estos copolímeros pueden tener una distribución de monómeros al azar o ser alternante.

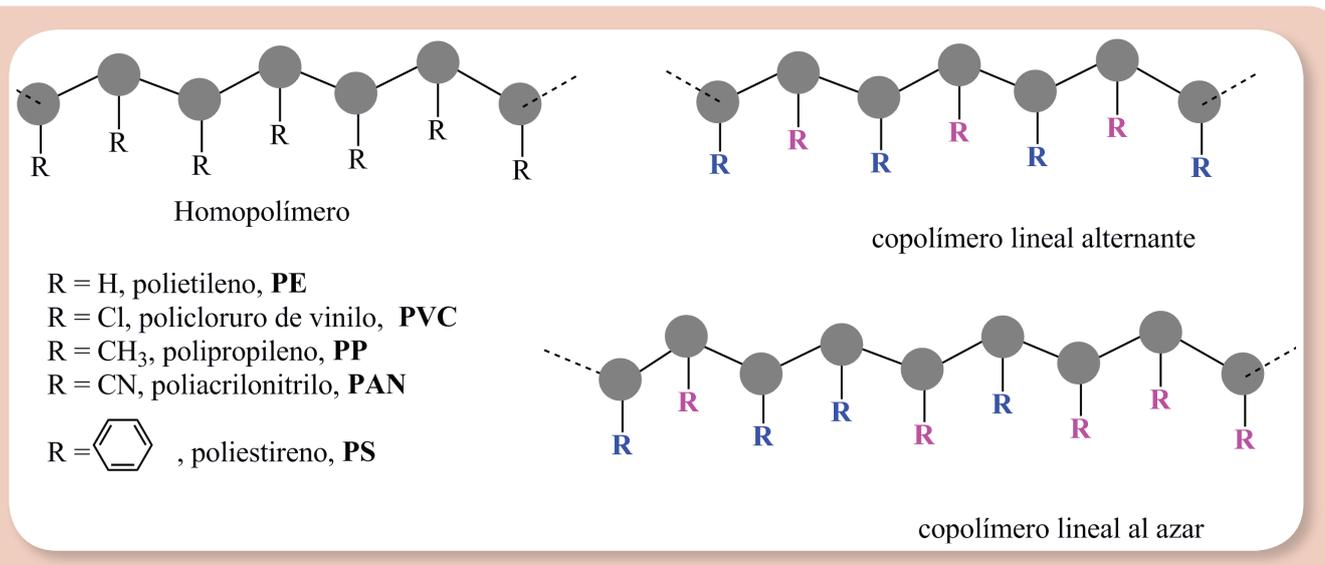


Figura 2: Representaciones simple de tipos de copolímeros.

Hagamos historia....

Tomemos el caso del “caucho”, un elastómero¹ natural proveniente de la secreción lechosa de la *Hevea brasiliensis*, de la familia de las Euforbiáceas y cuya suspensión acuosa se conoce como látex. Esta especie, originaria de Sudamérica, fue llevada al sudeste asiático haciendo que Indochina se convirtiese en productor de caucho.

Si bien el caucho tiene interesantes propiedades elásticas, también presenta algunos inconvenientes, es un material que no soporta condiciones de temperatura extremas: a bajas temperaturas es quebradizo, mientras que a altas temperaturas es demasiado viscoso. Sin embargo fue Charles Goodyear, en el año 1839, quien descubrió accidentalmente cómo resolver estos problemas cuando, como consecuencia de un derrame no intencional de azufre y caucho natural sobre una estufa caliente, obtuvo un material más elástico y resistente al calor que el producto de partida. El procedimiento se conoció como vulcanización² y consiste en la construcción de nuevas uniones con azufre que entrecruzan las cadenas del polímero natural (García, 2009).

En todas partes se intentó fomentar la producción de caucho y, en vísperas de la Segunda Guerra Mundial, Indochina figuraba ya entre los primeros exportadores mundiales de este material. Francia puso mucho interés en conservar sus colonias asiáticas principalmente por la producción de caucho, arroz y opio. La importancia política y económica del caucho natural se puso en evidencia durante los años que duró la guerra cuando se terminó el suministro de este producto. Este fenómeno además de otros problemas derivados del hecho que el caucho es un producto que proviene de la naturaleza y, por lo tanto, está condicionado a una serie de factores difíciles de regular (invasión por plagas, condiciones climáticas adversas) aceleró el

desarrollo de materiales sustitutos producidos en los laboratorios. La investigación científica permitió la obtención de un material con prestaciones similares al caucho natural, proveniente de la reacción de polimerización radicalaria de dos hidrocarburos insaturados: butadieno y estireno (D’Accorso, 2005).

Si bien otros polímeros fueron sintetizados y utilizados desde el siglo XIX, Leo Baekeland, químico estadounidense, genera en el año 1909 una revolución en el mundo de las macromoléculas cuando crea el primer plástico sintético termoestable³, dándole su nombre al nuevo producto que se conoce hasta hoy en día como bakelita (Ver figura 3). Se trata de una combinación de fenol y formaldehído en presencia de un catalizador (Seymour, 1998). El mérito de este químico estadounidense fue darse cuenta que debía detener la reacción antes de su término para obtener un material fluido y susceptible de ser moldeado que, luego de enfriarse, genera un material rígido. Es así como la bakelita se usó en muchísimos productos de uso cotidiano: teléfonos, asas de las cacerolas, materiales eléctricos.

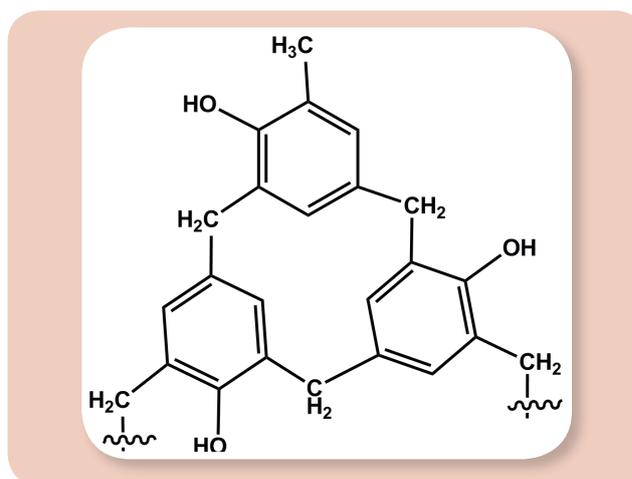


Figura 3: Estructura química de la bakelita.

1. Elastómero: material que puede estirarse varias veces su tamaño original y regresar a su forma inicial casi sin deformarse.
 2. Vulcanización: término que proviene del dios Vulcano (dios del fuego).
 3. Termoestables: materiales rígidos, son polímeros entrecruzados en los cuales la movilidad de la cadena está muy restringida por el alto grado de entrecruzamiento. Imposible de trabajar una vez formado, se degrada más que fundirse por calentamiento.

El rápido éxito de la bakelita desencadenó una oleada de innovaciones e investigaciones sobre la síntesis de polímeros en Europa y América. Al aumentar los intereses financieros y no satisfechos con tratar simplemente materias primas y diversos métodos de procesamiento, los científicos comenzaron una investigación básica y sistemática tendiente a comprender la estructura molecular de los polímeros. Fue en 1920 que el químico orgánico alemán Hermann Staudinger⁴, fascinado por las propiedades aparentemente únicas de los polímeros, comenzó a investigar su comportamiento y características químicas (*Staudinger, 1920*). La investigación realizada por Staudinger indicaba que los polímeros están compuestos por largas cadenas de moléculas de varias unidades químicas. Además, sugirió que la inusual elasticidad y resistencia a la tensión que los caracteriza se debe a su gran longitud o, en términos químicos, a su elevado peso molecular. Es posible que las ideas de este notable químico no suenen especialmente innovadoras hoy en día, pero en esa época tuvo que aparecer el trabajo Kurt Meyer y Herman Mark, quienes en 1928 observaron por rayos X la estructura cristalina de los polímeros, para aceptar la existencia de moléculas de cadenas de polímeros (Meyer, 1928). En ese mismo año, la compañía DuPont contrató al químico Wallace Hume Carothers para crear nuevos tipos de polímeros en un laboratorio dedicado a la investigación básica. Para probar la teoría de Staudinger, que aún resultaba polémica, Carothers unió con extrema precaución compuestos orgánicos muy pequeños formando cadenas de gran longitud y examinó las propiedades de los productos obtenidos. Más adelante veremos en detalle cómo algunos de estos descubrimientos forman parte de nuestra vida cotidiana.

Todos estos antecedentes hicieron de los polímeros parte de nuestras vidas resultando difícil prescindir de ellos, pero **¿en qué se usan los polímeros?**

Desde la prehistoria el hombre tuvo la necesidad de proteger y conservar los alimentos principalmente del paso del tiempo. Así, el hombre usaba vasijas de arcilla, canastas tejidas y pieles de animales para conservar las comidas. Recién en el siglo XIX comenzó a usarse la hojalata soldada para almacenar alimentos secos. Aunque el vidrio se conoce desde antes de la era cristiana, recién en el año 1700, Dom Pérignon envasa el champagne en fuertes botellas con apretados corchos. Tanto el vidrio como los metales presentan serios inconvenientes para almacenar alimentos. Los metales son sensibles a los medios ácidos de muchos productos, por lo tanto deben usarse recubrimientos adecuados para evitar la corrosión. Los envases de vidrio, si bien son resistentes a la presión, presentan poca resistencia al impacto y se rompe con facilidad. El envasado de bebidas en botellas retornables tiene el inconveniente del lavado apropiado del envase para ser reutilizado. Estas dificultades sumadas a la creciente necesidad de transportar todo tipo de productos hicieron que el hombre y la ciencia se aboquen al de-

sarrollo de nuevos materiales capaces de suplir dichos problemas, siendo actualmente la fabricación de envases el principal el consumo de polímeros sintéticos (CAIP, 2007).

En 1927 aparece en el mercado comercial el polícloruro de vinilo (PVC) y se usa para la fabricación de tapones plásticos y posteriormente de botellas. En los años treinta, ICI⁵ desarrolla el polietileno (PE) que fue el primer plástico utilizado para embalaje, mientras que actualmente se emplea para hacer films destinados a bolsas plásticas y para envases de productos de consumo masivo (productos de limpieza, cosmética, alimentos). En la misma década, en Alemania se desarrolla el poliestireno (PS) que, por sus características rígidas, se ha concentrado en su tradicional función como materia prima para la elaboración de envases con esas características. Un nuevo material, el polipropileno (PP), se presenta en Italia a fines de los años cincuenta, utilizándose primariamente como envoltorio de envases flexibles destinados principalmente a la industria alimenticia. Recién en 1977 se comienza a utilizar el tereftalato de polietileno (PET)⁶ para envasar bebidas gasificadas y aguas minerales, resultando ser el producto más destacado en la última década del siglo pasado, registrando puntualmente un gran crecimiento entre los años 1992 y 1998.

¿Cuándo comenzaron a usarse polímeros en la construcción de viviendas?

Los primeros asentamientos humanos fueron en cuevas, hasta que progresivamente se pasó a pequeñas cabañas hechas con ramas. El primer material estable que se empleó para la construcción fue la piedra, por su inalterabilidad y su disponibilidad, siendo el mejor ejemplo las pirámides encontradas en Egipto, tanto por el tamaño de sus construcciones como por su belleza y durabilidad. Los arquitectos griegos trabajaban ya con ladrillos de adobe⁷. Este material, menos pesado y más manejable, permitió a los griegos aplicarlo para la construcción de edificios de varias plantas. Los romanos descubrieron un cemento natural que utilizaron para construir obras que se cubrían luego con mármoles o estucos. Posteriormente en el siglo XIX se inventó el cemento Portland, material completamente impermeable, base para el moderno hormigón.

A mediados del siglo pasado, a raíz de la "revolución del plástico", la sociedad y este sector tuvieron un cambio excepcional con la entrada de los polímeros sintéticos. Gracias a que los arquitectos, ingenieros y especialistas empezaron a adquirir conocimientos de las ventajas que pueden brindar estos materiales, a saber: durabilidad, resistencia a la corrosión, buena aislación tanto térmica como acústica, liviandad y una buena relación costo/beneficio, se comenzaron a utilizar en la construcción de viviendas y obras públicas.

4. Premio Nobel de Química en 1953.

5. ICI: Imperial Chemical Industries.

6. Tereftalato de polietileno: éster del ácido tereftálico y etilenglicol.

7. Adobe: mezcla de barro, agua y paja con la que se hacían pequeños bloques que se dejaban secar al sol hasta que se endurecían.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

Existe una gran variedad de polímeros utilizados en la construcción pero sin duda el más usado es el PVC. Más del 50% de la producción anual del PVC se emplea en este sector (AAPVC, 2010). Su uso va desde la fabricación de una gran variedad de caños, como aislante de cables, enchufes y caja de distribución, hasta ventanas, puertas, persianas, recubrimiento de paredes, techos y piscinas. El PVC se caracteriza por ser resistente a la abrasión, al impacto y a la corrosión. Esta lista de usos del PVC en la construcción abarca las demandas actuales del mercado. Sin embargo, la versatilidad de este polímero para recibir una variedad de aditivos que mejoran su rendimiento en las etapas de transformación y uso, dejan abierto un inimaginable espectro de aplicaciones.

Además de PVC, una variedad de polímeros se utilizan habitualmente como materiales de construcción, ¿cuáles son y dónde podemos encontrarlos?

Las principales causas de desperdicio de energía en la mayoría de los hogares se deben al aislamiento inadecuado y fugas de aire. Uno de los materiales que se utilizan para solucionar estos inconvenientes es el poliestireno expandido (EPS)⁸, que se usa principalmente como aislante térmico en suelos flotantes, techos y paredes, aumentando de esta manera la eficiencia energética por su baja conductividad térmica y su estabilidad a altas y bajas temperaturas. El poliestireno extruido (XPS), se utiliza como láminas para calefacción de suelos radiantes, aislamiento de cubiertas inclinadas de techos y suelos industriales y su uso supone un importante ahorro energético.

La espuma de poliuretano⁹ rígida se utiliza también como material de aislamiento en techos y cañerías desde el principio de la década del sesenta. Los poliuretanos son uno de los polímeros más versátiles que existen: pueden utilizarse como fibras (Spandex), adhesivos, elastómeros o pinturas. Adhesivos y selladores de poliuretano se usan, cada vez más, en la industria de la construcción debido a que poseen adherencia a diferentes sustratos, como hormigón, madera, plástico y vidrio debido a su elasticidad.

Las fibras para techos y membranas asfálticas se refuerzan con PP. Como fibra, el polipropileno se utiliza para hacer alfombras de interior y exterior, porque no absorbe el agua y es fácil de teñir.

Los vidrios también están siendo reemplazados por polímeros que ofrecen la ventaja de tener alta transparencia, alta resistencia a la temperatura y buenas propiedades mecánicas. Los policarbonatos se utilizan en techos brindando mayor seguridad, así como en vallas y cercos transparentes. El polimetacrilato

de metilo (PMMA)¹⁰, conocido industrialmente con el nombre de Plexiglás o Lucite, se utiliza para hacer las superficies de las bañeras, piletas de cocina y las siempre populares tinas de baño y duchas de una sola pieza, entre otras cosas. El PMMA tiene la ventaja de ser muy transparente por eso se utiliza para hacer ventanas pero sobre todo para fabricar inmensos acuarios, cuyos paneles deben ser lo suficientemente gruesos como para soportar altas presiones de agua. De hecho, el acuario Okinawa Churaumi, situado en Japón, el segundo más grande del mundo, cuenta con un tanque principal compuesto por placas de PMMA de 8,2 metros por 22,5 metros con un espesor de 60 centímetros. Sin ir más lejos, en nuestro país, tanto las ventanas del acuario de Temaikén, que nos permite visualizar la diversidad de la fauna marina, como los cercos transparentes de animales terrestres, fueron íntegramente realizados con placas de dicho material.

Un área dentro de la industria de la construcción que no podemos dejar de mencionar es el de las pinturas. El hombre siempre tuvo la necesidad de expresar sus sentimientos así como de registrar los acontecimientos más relevantes de su entorno. Las pinturas rupestres más antiguas se hallan en las Cuevas de Altamira (España) y Lascaux y Font Gaume en el sur de Francia. A medida que la población mundial creció y comenzó a viajar, comercializar, la necesidad de protección y de crear recubrimientos decorativos fue creciendo. Nuestros ancestros aplicaban recubrimientos a sus barcos, utensilios, instrumentos musicales, armas y palacios, en una siempre creciente variedad de pigmentos y resinas. Con la entrada del siglo XX, la industria de las pinturas, como cualquier otra industria manufacturera, experimentó cambios dramáticos (Brock, 1999). Aglutinantes tradicionales se fueron sustituyendo por resinas sintéticas, la fabricación de la primera pintura en emulsión a base de estireno después de la segunda guerra mundial, dio origen a un rápido crecimiento de este tipo de productos. Hoy en día una gran variedad de emulsiones, esmaltes y barnices se encuentran disponibles en el mercado para múltiples aplicaciones.

¿Qué influencia tuvieron los polímeros en la industria textil?

El transcurso del tiempo y la evolución convirtieron la necesidad primaria de proteger nuestro cuerpo mediante el uso de vestimentas, en una necesidad más compleja. La utilización de distintas indumentarias en función de las diversas actividades sociales y la necesidad de crear fibras textiles más económicas y vistosas, condujeron a desarrollar una gran industria a nivel mundial.

Las primeras fibras empleadas fueron las que la propia naturaleza ofrecía tales como la seda, cuyo descubrimiento se remonta al año 2.600 A.C. Xi Linghsi, emperatriz China, observó que existían larvas que de-

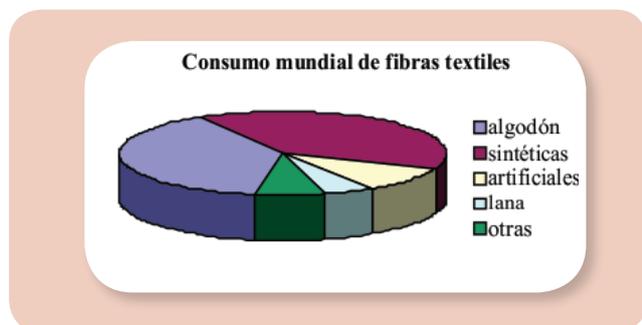
8. Poliestireno expandido: material resultante del tratamiento de PS con un agente de expansión, que generalmente es un hidrocarburo.

9. Poliuretano: polímero que se obtiene mediante condensación de polioles combinados con poliisocianatos.

10. Polimetacrilato de metilo: homopolímero de 2-metilpropanoato de metilo.

voraban las hojas del árbol de morera que tenía en sus jardines de palacio. Se trataba de orugas, que producían capullos de mucha suavidad. Cuidadosamente, los chinos desenredaban estos capullos de seda en forma manual, consiguiendo hebras que podían alcanzar hasta más de un kilómetro de largo por cada capullo. Sin embargo, a pesar que existen más de quinientas fibras naturales, muy pocas son en realidad las que pueden utilizarse industrialmente, pues no todas se pueden hilar, ni todos los pelos y fibras orgánicas son aprovechables para convertirlos en tejidos. En este punto es importante el rol del químico, ya que logró fabricar fibras de longitud indefinida, que resultan similares al hilo producido en el capullo del gusano de seda, susceptibles de ser cortados para asemejarse a las fibras naturales. Como ejemplo de un logro del estudio y la investigación química, podemos citar el caso del polar, que es una fibra textil cien por ciento poliéster. Su característica más relevante, es que pesa poco en relación a lo que abriga.

El consumo mundial de fibras textiles, se puede visualizar en la siguiente gráfica. Las fibras naturales son aquellas que se encuentran en estado natural y que no exigen más que una ligera adecuación para ser hiladas y utilizadas como materia textil. El segundo grupo importante está constituido por aquellas fibras que requieren procesos químicos para su producción; estas fibras pueden ser productos provenientes de transformaciones químicas de macromoléculas



naturales denominadas artificiales o ser íntegramente provenientes de reacciones químicas, conocidas como fibras sintéticas (de Perinat, 2004).

Las fibras artificiales más importantes son las manufacturadas a base de celulosa y entre ellas se destacan la viscosa; el acetato o acetato de celulosa y el rayón (Seymour, 1998). El modal, que es otra modificación de celulosa, ganó terreno en el campo textil debido a que tiene características de alta pureza, brillo sedoso, y suavidad al tacto.

En cuanto a las sintéticas podemos mencionar las ya conocidas fibras de nylon. Estas fibras fuertes y elásticas fueron creadas y patentadas en el año 1938 por Carothers, quien como ya dijimos trabajaba en los laboratorios DuPont; luego de su muerte la patente fue propiedad de esta empresa. Se supuso que este inven-

to tendría gran éxito en dos ciudades New York (NY) y Londres (Lon) y de allí su nombre. Estas fibras revolucionaron el mercado de las medias y reemplazaron en parte a la seda y al rayón. En el mercado existen distintos tipos de nylon, como por ejemplo nylon-6,¹¹ el nylon-6¹² (Feldman, y col., 1996). El nylon se utiliza en la industria textil, en la fabricación de alfombras, piezas para automóviles, films, aplicaciones medicinales, mangos de cepillos y peines. La excelente combinación de propiedades y precio han hecho que más del 60% de los nylons utilizados en el mundo sean nylon-6.

Otras fibras sintéticas de gran aplicación en la industria textil son las fibras poliéster que se obtienen como producto de la condensación de alcoholes y ácidos orgánicos o de hidroxiaácidos (Odián, 2004). DuPont las fabrica desde 1954 bajo el nombre comercial de dacrón. El dacrón es blanco y puede variar de lustroso a semilustroso, mate u opaco y se emplean desde la fabricación de ropa hasta bandas transportadoras y mangueras contra incendios. Sus propiedades de mayor importancia son: tenacidad y alargamiento, reversibilidad del estirado, resistencia a la torsión y no se degradan por tratamientos normales de blanqueo.

¿Hacia dónde apuntan las innovaciones en la industria textil?

La nanotecnología no dejó al margen la industria textil, es así como podemos citar un nuevo método de preparación de novedosas fibras antiestáticas de PAN modificadas con nanopartículas de antimonio y óxido de estaño (Wang, 2004). Por otra parte Philip Brown y su equipo en la Universidad de Clemson¹³, trabajan con la planta de loto, con la esperanza de crear tejidos recubiertos con una capa protectora con nanopartículas de plata, para darle un efecto "piel" a las fibras comunes, repeliendo a la vez el agua y la suciedad (Ramaratnam y col., 2008).

¿Para qué utilizamos polímeros en agricultura?

Los plásticos permitieron convertir tierras aparentemente improductivas en modernísimas explotaciones agrícolas así como incrementar los rendimientos y la calidad de la producción, adelantar cosechas, controlar malezas e insectos y, además, hacer un uso eficiente de agua, suelo, fertilizantes y mano de obra. Una amplia variedad de plásticos son utilizados en agricultura para invernaderos, macrotúneles, microtúneles, acolchados, mallas, control de plagas, control de enfermedades y riego.

En invernaderos, el material ideal sería el que cumpliera los siguientes requisitos: buen efecto de abrigo, gran retención de calor, gran rendimiento térmico, transparencia a las radiaciones solares, opacidad

11. Nylon 6,6: polímero que se obtiene por reacción de un derivado del fenol (ácido adipico) y de un derivado del amoniaco (hexametilendiamina).

12. Nylon 6: material proveniente de la polimerización de ϵ -caprolactama.

13. Universidad pública ubicada en la ciudad de Clemson, en el estado estadounidense de Carolina del Sur.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

a las radiaciones infrarrojas largas emitidas por suelo y planta durante la noche (*abcAgro.com*). Los materiales más adecuados que se emplean son: el PMMA que ofrece buena resistencia mecánica y estabilidad; el policarbonato (PC) que posee buena resistencia al impacto; poliésteres con fibra de vidrio cuya principal ventaja es la opacidad a la radiación; el polietileno de baja densidad (PE) que se utiliza fundamentalmente debido a su bajo precio.

Las técnicas modernas agrícolas incluyen, entre otros, los acolchados de suelos (que consiste en cubrir la parte superior del surco con una capa de plástico con una serie de perforaciones) y los minitúneles (pequeños invernaderos). El material por excelencia en estos casos es el PE. Por ejemplo, en el norte de Argentina para preservar los cultivos de tabaco, se fabricaron láminas de grandes extensiones para proteger las plantaciones durante la temporada fría permitiendo su desarrollo en un ambiente controlado. También se utilizan copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA) principalmente y cubiertas flotantes de PP que se elevan con el crecimiento de los cultivos.

También es fundamental el uso de plásticos en los sistemas de riego. El manejo eficiente del agua empleada en la agricultura se basa en la modernización de los sistemas de riego y actualmente ello no se concibe sin el empleo masivo de los materiales plásticos. La distribución de agua potable, evacuación de aguas residuales, pluviales y drenaje, se realizan habitualmente con tuberías PVC y polietileno.

Un interesante invento desarrollado recientemente por Barazani son las "láminas para control de plagas" (Barazani, 2007). Estas láminas presentan dos capas de material polimérico: una capa inferior que contiene un herbicida y una superior que puede contener opcionalmente un insecticida o un fungicida. Los materiales poliméricos utilizados para estas láminas son PE, PP, EVA y copolímeros de etileno-acrilato de metilo (EMA).

Otra reciente innovación en este campo es el uso de geles granulares conocidos como hidrogeles o polímeros superabsorbentes. Son copolímeros de derivados de ácido acrílico entrecruzados (Finch, C. A, 1998). Pueden absorber cien veces en peso de agua, pero lo interesante es que adsorben también soluciones de fertilizantes y otros agroquímicos. Su uso reduce la frecuencia de riego, disminuye el lixiviado de nutrientes y por lo tanto minimiza costos de riego y fertilización.

¿Qué polímeros usamos para cocinar y por qué?

Un material que podemos incorporar dentro de "polímeros de uso domésticos" es el politetrafluoretileno, más conocido como teflón. Su historia comenzó en 1938 cuando Plunket sintetizaba tetrafluoroetileno y lo almacenaba en cilindros de gas refrigerados. Al

abrir estos cilindros encontró en su interior una sustancia blanca en forma de polvo (teflón) y que recién durante la Segunda Guerra Mundial, fue rescatado para guardar compuestos de uranio. Los polímeros fluorados son materiales extremadamente inertes a todos los productos químicos y solventes (Alger, 1998). Sin embargo el teflón es reconocido en todos los hogares por sus propiedades antiadherentes asociadas con su uso como recubrimiento sobre utensilios de cocina; sartenes, ollas y otros utensilios son actualmente insustituibles en la cocina moderna. Estas propiedades hacen, además, que este material sea requerido en áreas tales como la aeroespacial, comunicaciones, electrónica, en procesos industriales y en arquitectura.

¿Qué problemas nos traen los polímeros y qué hacemos para solucionarlos?

En la actualidad resultaría difícil prescindir de los plásticos, no sólo por su utilidad sino también por su importancia económica. Los plásticos son baratos y parecen durar indefinidamente. La mayoría de los polímeros sintéticos se obtienen de productos petroquímicos y por lo tanto de fuentes de energía ya no renovables. Por otro lado, se acumulan en el ambiente, permaneciendo inalterables por muchos años, produciendo una gran cantidad de residuos, los que podrían ser disminuidos por técnicas de reciclado. El reciclado es un procedimiento que consiste en diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son degradadas (rotas), dando origen nuevamente a la materia prima básica que puede ser reutilizada para fabricar nuevos plásticos. La industria petroquímica comenzó a utilizar este procedimiento para optimizar los recursos y resolver en parte el problema global de este tipo de contaminación (Patel, 2000; Santos y col., 2005).

Otra aproximación para disminuir la cantidad de residuos plásticos es la modificación química de polímeros residuales, para ser utilizados en diversas aplicaciones. Este proceso surge como una opción interesante ya que no sólo disminuye los residuos químicos sino que también le otorga un nuevo valor agregado a esos plásticos (Vega, 2008; Martins Alho, 2009). En los últimos años se han multiplicado los esfuerzos por reemplazar los polímeros sintéticos por polímeros biodegradables.

¿Cuáles son los polímeros biodegradables?

En el campo de los materiales biodegradables, el uso de biopolímeros como el almidón resulta atractivo para la industria porque son materiales que provienen de la biomasa renovable y por ende de bajos costos. Así, el desarrollo de materiales formados por una matriz polimérica biodegradable se presenta como un gran desafío para los tecnólogos. Los residuos agrícolas de la industria azucarera y alimenticia, son la op-

14. Bioabsorbible: material compatible con el tejido y se degrada tiempo después.

ción de suministro más prometedora debido a que no sólo son baratos, sino que su utilización resuelve el problema de su acumulación en el medio ambiente. Además, hay un importante campo de investigación dirigido a la creación de polímeros sintéticos biodegradables para aplicaciones biomédicas o biomateriales.

Pero ¿qué son los biomateriales o materiales biomédicos?

La medicina tampoco quedó al margen del uso de polímeros sintéticos, por eso es interesante conocer la historia de los hilos de sutura. Estos productos inicialmente fueron obtenidos de fuentes naturales, por ejemplo algodón, seda o lino. Sin embargo, estos materiales al ser provenientes de la biomasa renovable, presentan variabilidad en sus propiedades, hecho que origina muchos inconvenientes como son la: dificultad en la uniformidad del diámetro; variación en la fuerza de tensión; reacción sobre el tejido durante la degradación e irritación mecánica. Para poder solucionar estos problemas, se pensó en utilizar polímeros sintéticos y en lo posible materiales bioabsorbibles¹⁴. La consecuencia de su uso daría por un lado la posibilidad de utilizar fibras uniformes capaces de fijar los tejidos, y al ser degradados en el organismo, evitar el paso de retirar el material una vez cumplida su misión.

Los hilos de sutura sintéticos absorbibles surgieron en 1966 cuando Kulkarni y colaboradores encontraron que el ácido-L-poliláctico (PLA)¹⁵ resultaba un material sintético absorbible (Kulkarni, 1966 y 1971), no tóxico y no irritable.

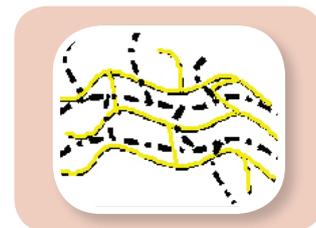
¿Por qué el ácido láctico?

Debido a que el ácido láctico es un intermediario común en el metabolismo de los carbohidratos en nuestro organismo, el uso de este hidroxácido es generalmente visto como la situación ideal desde el punto de vista toxicológico. Los α -poliésteres, como el PLA, se degradan inicialmente por hidrólisis que puede ser acelerada in vivo por la presencia de enzimas, hecho que conlleva a la liberación de sus respectivos monómeros: ácido láctico en este caso (Serna, 2003). Estos monómeros son incorporados dentro de los procesos fisiológicos a nivel celular, donde continúa su degradación y da inicio a la ruta metabólica. Además de la aplicación como hilos de sutura también se utiliza en implantes temporarios, en ingeniería de tejidos (Vink, 2003).

Otros materiales biomédicos importantes son los copolímeros de ácido láctico y glicólico (ácido hidroxietanoico) que se usan para la liberación de esteroides, agentes anticancerígenos, péptidos, proteínas, antibióticos, anestésicos y vacunas. Sus propiedades fisicoquímicas vienen determinadas por la composición, arquitectura y el peso molecular del copolímero (Marín Ruiz, 2009). Aunque se han desarrollado implantes

en forma de pastilla o de pequeños cilindros, desde hace pocos años aumentó el uso de estos polímeros en forma de inyectables conteniendo microesferas. Estas microesferas se degradan en moléculas más pequeñas en contacto con los fluidos biológicos; con este sistema se ha elaborado un anticonceptivo inyectable que contiene microesferas portadoras de esteroides. Los beneficios que proporciona este sistema son: una magnífica biocompatibilidad, unida a una excelente reproducibilidad tanto en el proceso de microencapsulación como en el de liberación del principio activo (Ramos Pico, 2000).

Entre otros sistemas de liberación controlada de medicamentos se destacan los liposomas y ciclodextrinas (Vargas Berenguel, 2002; Ribeiro de Araújo, 2003), como macromoléculas biológicas

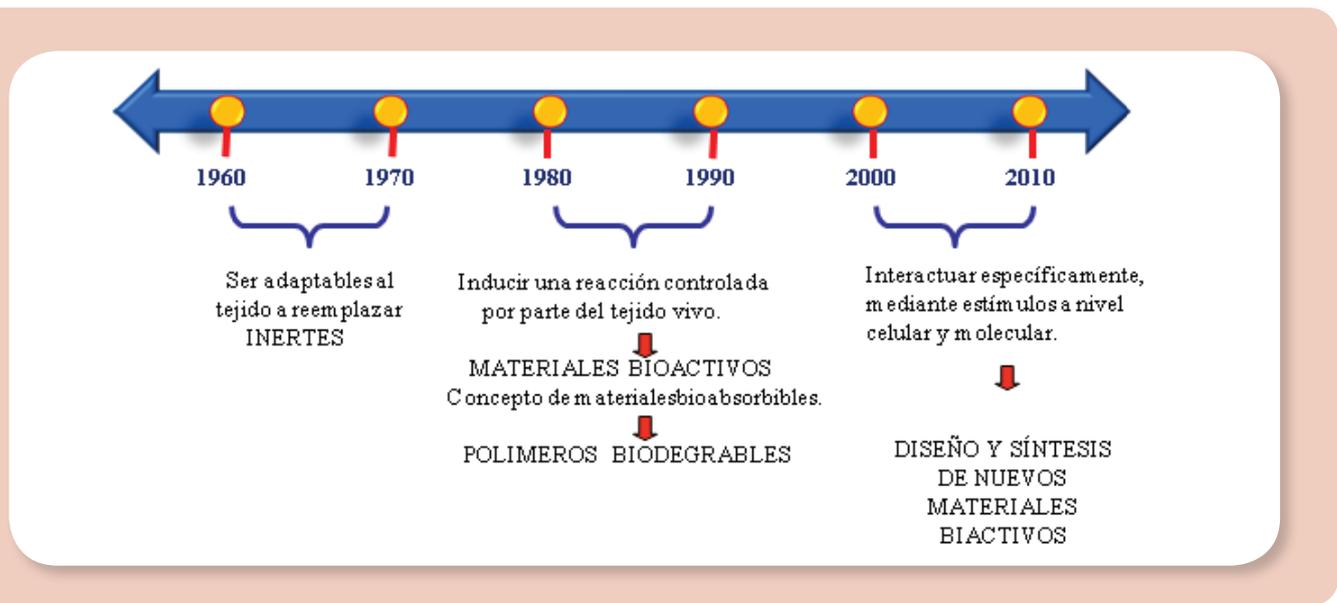


y redes interpenetradas (Ver figura) como materiales sintéticos. Estas últimas son materiales que están constituidos por dos o más redes poliméricas independientes, de distinta naturaleza, que se encuentran ocupando el mismo espacio físico, por entrelazamiento de sus cadenas, pero no existen uniones químicas reales entre las distintas redes (Vega, 2005). Por su estructura, los antibióticos o medicamentos pueden ocupar los espacios libres, luego la red es implantada en el organismo donde se va liberando el antibiótico en el punto del implante y finalmente al ser biodegradables no es necesaria su remoción. Es válido destacar que este tipo de redes se preparan con la finalidad de atacar las difíciles infecciones óseas, ya que la administración por vía oral de antibióticos no permite contar con el medicamento rápidamente en el lugar de la infección (Changez, 2005; Burugapalli, 2001).

Los requerimientos para los biomateriales se fueron modificando con el tiempo, de acuerdo a la evolución de las investigaciones en el campo biomédico. En el gráfico presentamos las condiciones en distintos períodos de tiempo.

Es interesante ver como se produce la evolución de criterios, desde materiales totalmente inertes, pasando productos que presentan alguna interacción con los tejidos como por ejemplo hidroxiapatita hasta llegar actualmente a propiciar la investigación científica en la búsqueda de nuevos materiales bioactivos con interacciones específicas. Sin embargo, esta variación de criterios va de la mano con un trabajo interdisciplinario entre los químicos, biólogos y médicos. Es de esperar que la creación de biomateriales de última generación, conduzca a: evitar intervenciones costosas y dolorosas para la extracción del tejido (caso de autoinjertos); disponibilidad de donantes, reacciones de rechazo, riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas (Duffo, 2006).

15. El ácido poliláctico (PLA) es un poliéster de ácido láctico (ácido 2-hidroxietanoico), es un material termoplástico biodegradable.



¿Qué podemos decir de los materiales odontológicos?

En la sociedad contemporánea altamente competitiva, una apariencia armónica muchas veces significa la diferencia entre el éxito y el fracaso; tanto personal como profesional. Debido al hecho de que la boca esta localizada en uno de los puntos focales de la cara, la sonrisa es uno de los principales aspectos involucrados en el concepto de una apariencia armónica. El tratamiento odontológico para la restauración de dientes afectados por caries y traumas pasaron por transformaciones significativas en las últimas dos décadas. Los primeros polímeros que aparecieron en odontología fueron los polímeros acrílicos, que reemplazaron al caucho vulcanizado que se usaba como base en prótesis removible.

Los principales campos de aplicación de los polímeros en odontología son: dientes y restauración de dentaduras, cementos-impresión instrumental y equipo auxiliar. Las familias de polímeros empleados en cada uno de estos campos de aplicación dependen del tipo de material que se busca. Si se trata de fabricar dientes, deben ser materiales duros, de tipo vítreo, lo cual suele conseguirse con la familia de los PMMA. Los composites dentales son materiales heterogéneos interconectados que generalmente tienen tres fases:

- Una matriz orgánica formada por monómeros dimetacrílicos¹⁶ e iniciadores para una polimerización radicalaria fotoinducida. Estos monómeros polimerizan entrecruzando las cadenas en una malla tridimensional, produciéndose así una mayor resistencia, tanto mecánica como hacia la adsorción de agua o el ataque de otras sustancias presentes en la boca.
- Un relleno inorgánico, fase dispersa que consiste en rellenos de diversos tipos de tamaños, formas y morfologías, constituidos por sílice o cerámica.

- Un agente de enlace que usualmente son vinilsilanos, estos compuestos presentan la doble función por el lado la presencia de una doble unión en su estructura permite que reaccione con la matriz orgánica y la presencia de silanoles que pueden reaccionar con el relleno inorgánico por medio de una reacción de condensación (Antonucci, 2005).

En este campo la investigación odontológica se centra en la búsqueda de nuevos monómeros orgánicos que permitan mejorar las propiedades de contracción, aumentar la durabilidad y mantener el color.

¿Qué son los microchips?

Sin microchips no existirían las computadoras personales, los teléfonos celulares, las calculadoras. También llamados circuitos integrados, almacenan gran cantidad de información en una única pieza de silicio. Esta tecnología se renueva a una velocidad vertiginosa en una carrera por obtener dispositivos cada vez más pequeños, junto al máximo rendimiento (Tregnaghi, 2010). Aunque Gordon Moore, cofundador de Intel, empresa líder en fabricación de microprocesadores, aseguró que no será fácil reemplazar el silicio, muchos creen que el futuro de la computación reside en la invención de microchips a partir de diversos materiales más versátiles y económicos. Es el caso de Henning Siringhaus, científico de la compañía Plastic Logic, que descubrió la manera de construir transistores plásticos lo suficientemente pequeños y rápidos como para ser usados en electrónica. Esta empresa especializada en aparatos electrónicos "orgánicos", fabrica los transistores a partir de polímeros, y no de silicio. Los chips de polímeros tienen menos peso, son difíciles de romper y se volverán prácticos en aquellos casos en que los chips de silicio no lo son. Es tentador imaginar aparatos electrónicos tan baratos que puedan ponerse en

16. Monómero que presenta dobles uniones en ambos extremos de la molécula, se los suele llamar bidentados.

envoltorios descartables, o tan livianos y flexibles que puedan llevarse en la ropa. Se estima que los chips de plástico podrían valer una décima parte del valor de los de silicio. Por lo pronto, Plastic Logic fabricará desde Dresden, Alemania, un display de texto portátil que permitiría llevar toda una biblioteca en tan sólo una hoja de plástico y sería además la primera planta en fabricar a escala comercial los transistores de plástico. En esta nueva línea de productos estarán también los paneles solares de plástico, memory sticks a precio bajo y pantallas de TV que puedan desplegarse y enrollarse a la manera de un mapa de escuela.

El mundo evoluciona y por lo tanto es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías que abarquen los requerimientos de los nuevos tiempos. Está en nosotros que este progreso resulte sustentable e inocuo para nuestro medio ambiente.

Referencias bibliográficas

- abcAgro.com. Los plásticos en la agricultura. Materiales de cubierta para invernaderos. http://www.abcagro.com/industria_auxiliar/plasticos.asp (último acceso julio/2010).
- Alger, M. S. M. (1998). *Specially Polymers*, Capítulo 3, pp 48. R. W. Dyson (Ed.), Blackie Academic & Professional, (Second Edition).
- AAPVC (Asociación Argentina del PVC) (2010). Aplicaciones del PVC en la construcción, <http://www.aapvc.org.ar/aplicacionConstruccion.asp> (último acceso julio/2010).
- Antonucci J. M., Dickens Sabine H., Fowler Bruce O., Xu Hockin H. K., McDonough Walter G. (2005). Chemistry of Silanes: Interfaces in Dental Polymers and Composites. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 110(5), pp. 541-558.
- Barazani, A. (2007). Oficina española de patentes y marcas, Número de publicación: 2 271 087.
- Brock T., Grotklaes M., Mischke P. (1999). *European Coatings Handbook*. Hannover. Vincentz Verlag.
- Burugapalli K., Bhatia D., Koul V. y Choudhary V. (2001). Interpenetrating Polymer Networks Based on Poly(acrylic acid) and Gelatin. I: Swelling Behavior. *J. Appl. Polym. Sci.*, 82, pp 217-227.
- CAIP (Cámara Argentina de la Industria del Plástico) (2007). *Anuario Estadístico de la Industria Plástica Argentina*.
- Changez M., Koul V. y Dinda A K. (2005). Efficacy of antibiotics-loaded interpenetrating network (IPNs) hydrogel based on poly(acrylic acid) and gelatin for treatment of experimental osteomyelitis: in vivo study. *Biomaterials*, 26, pp 2095-2104.
- D'Accorso N. B. (2005). Como imitar a la naturaleza: caucho natural vs. sintético. *Educación en la Química*, 11 (2), 3-9.
- de Perinat, M. (2004). *Tecnología de la confección textil*. Valencia. Edym, Estudios Ediciones y Medios.
- Duffo G. S. (2006). *Biomateriales*. Buenos Aires. Eudeba
- Feldman, D. y Barbalata, A. (1996). *Synthetic Polymers. Technology, Properties, Applications*. Parte 2, Capítulo 4, 186. Londres, Chapman & Hall.
- Finch, C. A. (1998). *Specially Polymers*, Capítulo 4, pp 85-89. R. W. Dyson (Ed.), Blackie Academic & Professional, (Second Edition).
- García, S. (2009). Referencias históricas y evolución de los plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 10 (1), pp 71-80.
- Karthik R., Iyer S. K., Kinnan M., Chumanov G., Brown P. J. y Luzinov I. (2008). Ultrahydrophobic Textiles Using Nanoparticles: Lotus Approach. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 3 (4), pp 1-14.
- Kulkarni R. K., Pani K. C., Neuman C. y Leonard F. (1966). Poly(lactic acid) for surgical implants. *Arch. Surg.* 93, pp 839-843.
- Kulkarni R., Moore R. G., Hegyeli A. F. y Leonard F. J. (1971). Biodegradable poly(lactic acid) polymers. *Biomed. Mat. Res.* 5, 169-181.
- Marín Ruiz M., San Hipólito Marín L., Belarra Arenas C., Martín Gómez F. y Martínez-González J. M. (2009). Injertos sustitutos no óseos. Aportaciones del ácido poliláctico y poliglicólico. *Synthetic grafts materials. Poly(lactide) and poly(glycolide) acid effects in bone regeneration*. *Avances in Periodoncia*, 21, pp 45-52.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

Martins Alho M. A., Grassi D., Fernandez Cirelli A. y D'Accorso N. B. (2009). Cooper recovery from aqueous solution by a modified industrial polymer. *Environmental Chemistry Letters*, 7, pp 271-275.

Meyer K.H. y Mark H. (1928). Über den Bau des krystallisierten Anteils der Cellulose. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 61, pp. 593–614.

Odian G. (2004). *Principles in Polymerization*. Tour Edition. New Jersey, John Wiley & Sons.

Patel, M., von Thenen N., Jochem E. y Worrell E. (2000). Recycling of plastics in Germany. *Resources Conservation & Recycling*, 29, pp 65-90.

Ramos Picos D., Gómez Carril M., Fernández Mena D. y Núñez de la Fuente L. (2000). Microesferas biodegradables de liberación controlada para administración parenteral. *Rev. Cubana Farm.*, 34 (1), pp 70-77.

Ribeiro de Araújo D., de Matos Alves Pinto L. y de Fátima de Assunção Braga A. (2003). Drug-Delivery Systems for Local Anesthetics: Therapeutic Applications. *Rev. Bras. Anestesiol.*, 53 (5), pp 663 – 671.

Santos A. S. F., Teixeira B. A. N., Agnelli J. A. M. y Manrich S. (2005). Characterization of effluents through a typical plastic recycling process: An evaluation of cleaning performance and environmental pollution. *Resources, Conservation and Recycling*, 45, pp 159-171.

Serna L., Rodríguez A. y Albán F. (2003). Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones, *Revista Universidad del Valle, Colombia*, 5 (1), pp 16-26.

Seymour R. B. y Carraher, C. E. Jr. (1998). *Introducción a la Química de los Polímeros*. Barcelona, Reverté S. A.

Staudinger, H. (1920). Über Polymerisation. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 53, pp. 1073-1085.

Tregnaghi, P. (2010). Microchip lo más pequeño. *Cedepad Educación*. Centro de desarrollo de proyectos avanzados. <http://www.cedepapedu.org/>(último acceso julio/2010).

Vargas Berenguel A., Ortega Caballero F., Santoyo-Gonzalez F., García Lopez J. J., Jiménez Martínez J. J., García Fuentes L. y Ortiz Salmerón E. O. (2002).

Dendritic Galactosides Based on a-Cyclodextrin Core for the Construction of Site-Specific Molecular Delivery Systems: Synthesis and Molecular Recognition Studies. *Chem Eur. J.*, 8, pp 812-826.

Vega I. y D'Accorso N. (2005). Polímeros Sintéticos: Aplicaciones en medicina. *Educación en la Química*, 11 (3), 3-11.

Vega I., Sánchez L. y D'Accorso N. (2008). Synthesis and characterization of copolymers with 1,3-oxazolic pedant groups. *Reactive & Functional Polymers*, 68, pp 233-241.

Vink E. T.H., Ra'bago K. R., Glassner D. A. y Gruber P. R. (2003). Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. *Polymer Degradation and Stability*, 80, pp 403–419.

Wang D.; Lin Y.; Zhao Y. y Gu L. (2004). *Textile Research Journal*, 74 (12), pp. 1060-1065.

21

QUÍMICA, BIOMIMÉTICA Y SENSORES.
PARTE I**Dra. Delia L. Bernik***LAMS: Laboratorio de Arreglos Multisensoriales.**Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.**Email: dbernik@qi.fcen.uba.ar***Biomimética**

El empleo y mención específica de la biomimética comenzó a delinarse a mediados del siglo veinte, aunque la tendencia natural del hombre de imitar a la naturaleza no tiene fecha cierta, ya que consciente o inconscientemente la naturaleza ha sido imitada por el hombre desde la prehistoria hasta nuestros días. Según el pensamiento aristotélico, la base del aprendizaje es la mimesis (del griego mimeisis: imitar) que es connatural al hombre, al cual Aristóteles define como un animal mimético.

Ejemplos famosos documentados son los desarrollos de Leonardo Da Vinci en 1500, quien aplicó sus estudios de la naturaleza a prácticamente todos sus diseños (ornitóptero, submarino) y que en su Codex Atlanticus y otros códices describió con absoluto detalle no sólo la anatomía de los animales sino también aspectos físicos del vuelo, flujos de aire y de agua en el caso de los peces.

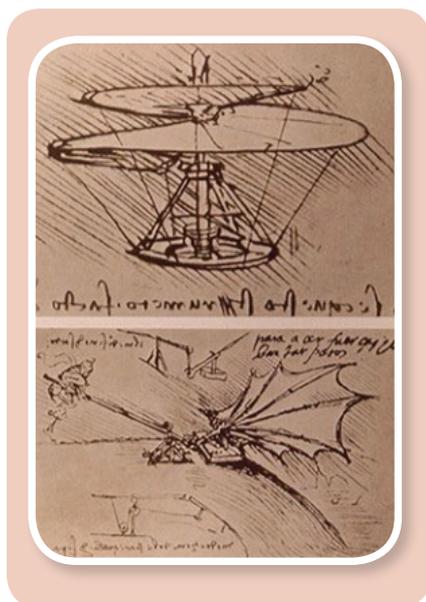


Figura 1: Leonardo da Vinci: bosquejos originales del diseño de un "helicóptero" (arriba) y "alas batientes" (abajo, precursoras del ala delta).

Hay muchísimos ejemplos de la imitación y adaptación de sistemas y procesos biológicos a sistemas y diseños de ingeniería, además de las analogías ya conocidas de peces en barcos y submarinos y de pájaros en aviones. Un ejemplo emblemático es el del jardinero

inglés del siglo XIX Joseph Paxton quien para diseñar la cubierta del Crystal Palace en Hyde Park en 1851, una increíble construcción de vidrio y hierro, se basó en el nenúfar victoria amazonica (planta acuática), cuyas aparentemente delicadas hojas de hasta 2 metros de diámetro podían soportar al menos 40 kg de peso gracias a un sistema de nervaduras que poseen en su reverso.



Figura 2: Dibujo descriptivo del "Palacio de Cristal" de Londres (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crystal_Palace_interior.jpg)



Figura 2: foto del nenúfar victoria amazonica (planta acuática), que fue empleado como modelo estructural.

Gustave Eiffel construyó su estructura basándose en los estudios realizados por el anatomista Hermann Von Meyer y el ingeniero Karl Cullman, quienes estudiaron la red de crestas en la cabeza del fémur las cuales le permiten al hueso soportar cargas fuera de centro. La torre Eiffel usa una serie de tirantes de hierro y clavos que reproducen la estructura del fémur.

En 1960 el comandante Jack Steele, de la U.S. Air Force empleó el término "biónica" para referirse al objetivo de su investigación focalizada en el "Análisis del funcionamiento real de los sistemas vivos y, una vez descubiertos sus trucos, materializarlos en los apa-

ratos.” La biónica (Bionics) puede definirse como una rama de la bioingeniería que busca integrar sistemas biológicos y electromecánicos.

Biosensores

Los llamados biosensores abarcan todo estos aspectos anteriormente descritos en lo que concierne al espíritu biomimético de su diseño. La principal revista internacional dedicada a difundir los resultados de la investigación, diseño, desarrollo y aplicación de biosensores “Biosensors and Bioelectronics”, expone en su página web una definición avalada por la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) la cual describe los biosensores como dispositivos analíticos que utilizan reacciones bioquímicas específicas producidas por “bioentidades” que generan una señal en respuesta a la detección de una sustancia química definida.

En el siglo XX ya se utilizan de rutina diferentes métodos electroquímicos que presentan alta sensibilidad en la detección de distintas moléculas blanco las cuales en el ámbito de la química analítica se denominan analitos. En un proceso de continuos avances los límites de detección van disminuyendo progresivamente hasta llegar a detección en el orden de partes por millón (ppm) y partes cada mil millones (ppb, en inglés). Un nuevo impulso se logra a partir de la segunda parte del siglo XX con el uso generalizado de métodos cromatográficos, aplicados no solamente a la química separativa si no ahora también a la especificación cuantitativa, y el uso de técnicas de detección en flujo reducen aún más los límites de detección hasta determinarse diversos analitos en partes por trillón. Estos avances se producen en paralelo a enormes avances en electrónica, con su hito fundacional a partir de la invención del transistor de estado sólido hacia 1947, que permitió obtener señales con tiempos de respuesta rápidos, mejorar la relación señal/ruido, promediar y almacenar señales, y en términos generales iniciar los procesos de miniaturización y automatización de la instrumentación. Estos desarrollos permitieron en conjunto definir un área específica de investigación dedicada a sensores químicos e instrumentación y llevaron a ampliar el campo de acción de la química analítica hacia sistemas biológicos, principalmente a partir del empleo de macromoléculas biológicas para mejorar la especificidad y los límites de detección.

El uso de biosensores se comienza a popularizar en las últimas décadas del siglo XX, acoplando “bioentidades” con métodos de detección electroquímicos y espectroscópicos, con el fin de realizar reconocimiento molecular. Estas “bioentidades”, que pueden describirse mejor como elementos biológicos de reconocimiento (EBR), pueden ser enzimas, receptores, anticuerpos, ácidos nucleicos, etc, las cuales son en un principio extraídas de su entorno natural para ser reconstituídas y ensambladas en materiales integrados a

un transductor, es decir a un elemento encargado de transformar la señal producida cuando se detecta la molécula blanco o “target” en una señal que puede medirse y registrarse electrónicamente o digitalmente.

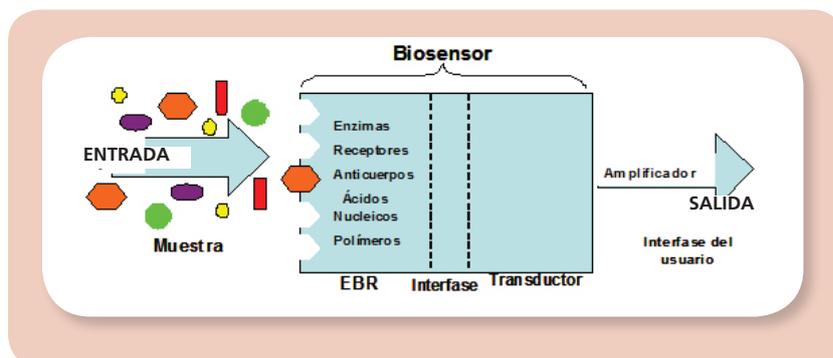


Figura 3: Configuración genérica de un biosensor detallando el elemento biológico de reconocimiento (EBR) asociado al elemento transductor a través de una interfase.

La función del EBR es reconocer una molécula en particular y como producto de ese reconocimiento producir una señal que pueda ser medible y cuantificable. La situación ideal será aquella en la cual dicho reconocimiento sea específico, es decir, el EBR reconozca exclusivamente una sola molécula (llamada blanco) y ninguna otra, por más parecida que esta última fuese a la molécula blanco. Si esto no es posible, se busca un EBR que sea lo más selectivo posible, es decir, que reconozca la molécula blanco y que muy pocas otras moléculas sean asimismo detectadas, preferentemente con menor afinidad.

Los primeros biosensores se obtuvieron en la década del 60 y su campo de aplicación comenzó en el área de medicina, extendiéndose luego a otras áreas tales como investigaciones bioquímicas, desarrollo de fármacos, medio ambiente, industria de alimentos, seguridad y defensa. En estos biosensores los EBR empleados fueron enzimas: macromoléculas biológicas que actúan como catalizadores de reacciones químicas reconociendo las moléculas que transforman (sustrato) con especificidad y que frecuentemente como producto de dichas catálisis dan lugar a la obtención de protones, electrones, luz o calor, los cuales constituyen señales fácilmente detectables.

Sin duda el biosensor más estudiado hasta el presente ha sido el destinado a la cuantificación de glucosa con la finalidad de optimizar un dispositivo eficiente, cómodo y económico para el autocontrol de nivel de azúcar en diabéticos. En 1962 Clark y Lyons describieron el primer biosensor para detección y cuantificación de glucosa basado en la señal producida por un electrodo recubierto de una capa muy fina de la enzima glucosa-oxidasa.

Desde la primera descripción de dicho biosensor de glucosa hasta la fecha, cientos de biosensores han sido diseñados buscando una evolución hacia distintos tipos de estructuras, empleando nuevas herramientas como la nanotecnología y la micromaquinación a fin de optimizar tanto el proceso de detección (obtención del EBR) como el de transducción de la señal obtenida. Ejemplos de la influencia de estos avances

tecnológicos pueden verse con detalle en las revisiones publicadas por Eun-Hyung Yoo y Soo-Youn Lee (2010) y por Harper y Anderson (2010). Por ejemplo, estos investigadores describen nuevos biosensores de glucosa incorporando un mediador redox confinado juntamente con la enzima en un biofilm formado sobre el electrodo, y en un segundo ejemplo utilizando nanotubos de carbono a fin de mejorar el transporte de electrones entre la enzima y el electrodo aumentando por tanto la eficiencia del proceso.

Ejemplos de biosensores basados en el empleo de enzimas como **EBR** son el obtenido por Barhoumi y colaboradores (2006) con la enzima ureasa para cuantificación de urea; el biosensor basado en HRP (horse-radish peroxidase) para la detección de peróxido de hidrógeno desarrollado por Yuan y col. (2010), biosensores descartables para la detección de pesticidas organofosforados (Gan y col, 2010), entre los cientos de biosensores enzimáticos que se podría mencionar con aplicaciones en diagnóstico médico, medio ambiente, agro, etc.

Otros biosensores poseen receptores como elemento biológico de reconocimiento. Sin embargo, los receptores en verdad podrían autodefinirse como un biosensor completo trabajando in vivo en las células, pues estas macromoléculas actúan como elementos de reconocimiento y transductores a la vez, ya que por una parte reconocen específicamente moléculas (llamadas ligandos) tales como hormonas, neurotransmisores, etc, y la fijación de dichos ligandos al receptor desencadena una serie de sucesos asociados a muchos otros efectores (otras proteínas), las cuales pueden como consecuencia activar una síntesis, modificación o liberación de otras moléculas que a su vez actúan como señales formando parte de un mecanismo en cadena altamente organizado.

Por lo tanto el empleo de receptores como **EBR** en biosensores es más complejo debido el receptor se ve aislado de lo que naturalmente es una maquinaria altamente organizada la cual responde a la fijación del ligando al receptor con señales tales como despolarización de membrana, síntesis de segundos mensajeros, activación o inhibición de genes asociados, etc, señales que, aislando al receptor de su entorno natural no son fáciles de registrar y amplificar. Sin embargo, la combinación de estas señales con tecnologías electroquímicas, ópticas o acústicas constituyeron mecanismos valiosos para la construcción de biosensores con diversas aplicaciones (Rogers y Eldefrawi, 2004).

Un ejemplo de ello es el dispositivo desarrollado por Murata y colaboradores (2003), quienes diseñaron un biosensor de afinidad que contiene el receptor de la hormona tiroidea recombinante humana (TRH) inmovilizado en la superficie de un electrodo de oro, lo cual permite una valoración rápida de dicha hormona empleando voltametría cíclica, sin necesidad alguna de preparación previa de la muestra a analizar, y con una sensibilidad comparable a los ensayos de fijación competitiva empleando ligandos radioactivos. Detalles sobre el mecanismo de detección están descritos en un trabajo previo publicado por Murata y colabora-

dores (2001). Este nuevo biosensor permitiría estudiar moléculas capaces de ligarse al receptor de TRH permitiendo de ese modo indentificar nuevos ligandos, así como proveer un método rápido y confiable para la cuantificación de THR, lo cual es relevante en el diagnóstico rápido de anomalías en la función tiroidea, las cuales pueden afectar el crecimiento y otros procesos celulares asociados a dicha hormona.

El desarrollo de sensores que emplean biomoléculas naturales como **EBRs** conlleva problemas asociados a la fragilidad intrínseca de dichas macromoléculas biológicas al ser extraídas de su microentorno natural para ser ensambladas al transductor elegido. Esto es: baja estabilidad, alteración irreversible debido a cambios de temperatura, a la acción de solventes orgánicos y a situaciones de cambios de acidez y presencia de iones que normalmente no las afecta al estar en su ensamble natural. También es frecuente que la obtención de cantidades apreciables de EBR resulte cara y laboriosa. Más aún, a la mencionada fragilidad de las biomoléculas se suma su baja compatibilidad con tecnologías de microfabricación y el hecho concreto de que no existen naturalmente receptores o enzimas para todas las moléculas químicas para las cuales sería deseable obtener un biosensor. Como solución parcial a estas limitaciones, el progreso de la bio y la nanotecnología permitieron en las últimas décadas obtener elementos de reconocimiento derivados de un material biológico empleando anticuerpos recombinantes o ingeniería genética.

En la década del 90 los avances obtenidos en biología molecular permitieron desarrollar y optimizar mediante ingeniería genética nuevas proteínas sensoras que contenían e integraban todas las funciones necesarias para detectar y producir una señal como consecuencia de la fijación del ligando correspondiente, es decir podían trabajar como EBR y parcialmente como transductor a la vez. Así pudieron comenzar a obtenerse biosensores donde el EBR se adapta para acoplarse a un transductor y una instrumentación genérica en vez de tener que adaptar el método de transducción a cada caso de un EBR particular (Brennan, 1995, Marvin 1997, Piervicenzi, 1998).

Un ejemplo emblemático en la obtención de **EBRs** mediante procedimientos químicos es el descubrimiento de los aptámeros, considerados como los nuevos anticuerpos químicos. En 1990, tres grupos de investigación informaron el desarrollo de una nueva tecnología de bioreconocimiento basada en el diseño y síntesis de cadenas simples de ácidos nucleicos denominadas aptámeros (conjunción del latín aptus= a la medida y del griego meros = pieza, parte) capaces de fijarse con alta afinidad a determinadas moléculas (Robertson 1990, Tuerk 1990, Ellington 1990). Estos primeros aptámeros se seleccionan y sintetizan por su capacidad de asociarse de un modo muy selectivo a determinadas moléculas, que estarían actuando como "anticuerpos". Las cadenas, usualmente de entre 70 y 100 nucleótidos tienen una región central aleatoria que adquiere la capacidad de plegarse alrededor de ciertas moléculas y de este modo reconocerlas tridimensionalmente de un modo selectivo. Los dos extre-

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

mos del aptámero son secuencias conocidas que permiten amplificar la respuesta.

Si bien por su definición los aptámeros no son exclusivamente cadenas de ácidos nucleicos, estos polinucleótidos constituyen las moléculas ideales para la construcción de aptámeros, ya que es posible sintetizar tantas secuencias aleatorias como combinaciones haya empleando los nucleótidos que componen cada cadena de ácido nucleico, que además son muy versátiles por las numerosas estructuras secundarias que adoptan lo cual les permite asociarse con distinta afinidad a un gran número de moléculas blanco. De ese modo, una vez hallada la secuencia del aptámero más adecuada para asociarse con alta afinidad a una molécula blanco dada, es posible sintetizar dicho aptámero en la cantidad deseada. Es entonces posible construir "bibliotecas" con las secuencias de nucleótidos que permiten construir distintos aptámeros con distintas especificidades. Estas bibliotecas contienen la descripción precisa del aptámero con mayor afinidad para cada molécula blanco, detallando la secuencia de nucleótidos en dicho ácido nucleico sintético más adecuada para fijar dicha molécula blanco.

Diversos grupos han reportado la selección de aptámeros prácticamente contra cualquier tipo de blanco, desde pequeñas moléculas como aminoácidos o antibióticos hasta grandes conglomerados proteicos como enzimas, la cápside de ciertos virus, etc, con afinidades considerablemente altas. Además tienen importantes aplicaciones analíticas. Por ejemplo, la figura 4 esquematiza que para una misma proteína blanco, variaciones en la estructura del aptámero pueden producir cambios significativos en la afinidad del aptámero por la molécula blanco, lo cual se expresa en el cambio del valor de la constante de afinidad. La figura muestra como ejemplo el empleo de un conjunto de tres aptámeros con distinta afinidad para la misma proteína, donde la constante de disociación del complejo aptámero-proteína sigue el orden $K_{d3} < K_{d2} < K_{d1}$. El hecho de que cada aptámero detecte la proteína en distintos ámbitos de concentración permite implementar la detección analítica de la misma con precisión en un amplio rango dinámico de concentraciones empleando técnicas tales como electroforesis capilar.

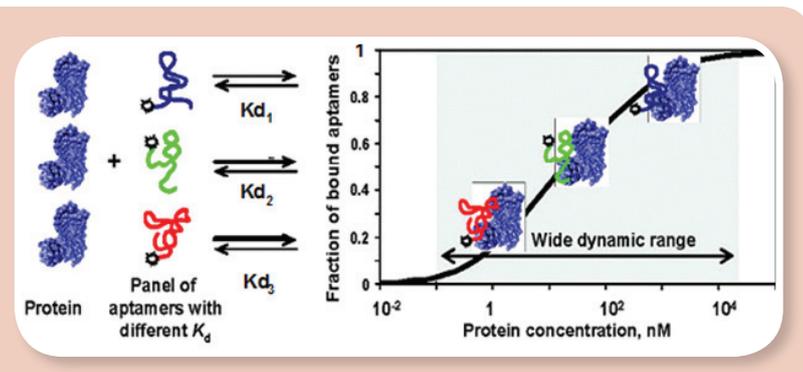


Figura 4: Tres aptámeros con diferentes constantes de disociación para al misma molécula blanco, $K_{d1} > K_{d2} > K_{d3}$. Tomado de Smart Aptamers facilitate Multi-Probe Affinity Analysis of Proteins with Ultra-Wide Dinamyc Ranger of Measured Concentrations. A.P. Drabovich y col., 2007.

Los resultados muestran que un análisis cuantitativo empleando estos tres aptámeros permite detectar la proteína en un rango de concentración de 4 órdenes de magnitud. Este tipo de estudios es importante biotecnológicamente ya que la concentración de proteínas puede variar en varios órdenes de magnitud en muchos procesos fisiológicos y patológicos.

Actualmente los aptámeros son sensores moleculares diseñados mediante un método combinatorial conocido como selección in vitro o evolución in vitro denominado SELEX (Systematic Evolution of Ligands by Exponential Enrichment). La metodología consiste en sintetizar gran cantidad de distintos aptámeros que son enfrentados a la molécula blanco que se desea reconocer. Una vez producido el reconocimiento se separan los aptámeros que se fijan a dicha molécula blanco y realizan sucesivos procesos de selección aumentando los requisitos de selectividad y afinidad. Seleccionada la mejor secuencia, se replica el aptámero elegido empleando las porciones conocidas (extremos) del mismo mediante reacción en cadena de la polimerasa (PCR: polymerase chain reaction). Además de ser extraordinariamente afines por sus blancos, los aptámeros obtenidos mediante el proceso SELEX tienen alta selectividad por los mismos y son capaces de discriminarlos en presencia de moléculas homólogas.

Además de sus aplicaciones en el área analítica (ver revisión de Lee y col., 2008), los aptámeros representan una gran promesa en el área de aplicaciones terapéuticas (ver por ejemplo las aplicaciones descritas por Mairal y col., 2008). Una de ellas, aprobada por la US-FDA (Food and Drug Administration), consiste en un inhibidor del factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF) para tratar degeneración macular. La mácula forma parte de la retina y se encarga de la visión central. Este factor es una proteína vinculada con el crecimiento de vasos sanguíneos y en la tercera edad puede inducir la degeneración macular húmeda que es una de las causas de ceguera. El tratamiento mencionado con aptámeros consiste en que el aptámero se inyecta y se asocia al VEGF en la región del humor vítreo. De ese modo evita que el factor induzca el engrosamiento de los vasos sanguíneos en la región de la mácula, inhibiendo de ese modo el desarrollo de la enfermedad. Otro ejemplo es el empleo de aptámeros en dispositivos de liberación controlada para el tratamiento de HIV y cáncer (Levy-Nissenbaum 2008, Famulok 2007).

Si bien son numerosos los logros obtenidos al presente empleando aptámeros, la expectativa generada por la aparición de esta técnica hace 20 años es creciente y sus aplicaciones aún no ha alcanzado su máximo potencial.

En la naturaleza, el diseño molecular de un ERB (enzimas, receptores) consiste en la biosíntesis de macromoléculas con una estructura estereoespecífica diseñada para interactuar y reconocer un sustrato o ligando en particular. En el afán de biomimetizar ese reconocimiento de las moléculas blanco se desarrolló el método de impresión molecu-

lar o "imprimación molecular" de polímeros (término acuñado en el ámbito científico como traducción de "molecular imprinting") que consiste en el diseño de "elementos de reconocimiento sintéticos" como una alternativa valiosa al empleo de EBR biológicos en términos de robustez, versatilidad y relativa facilidad de obtención. El procedimiento permite obtener una "huella" tridimensional de la molécula que se desea reconocer en un material que se polimeriza en presencia de la misma, generando un molde que luego será capaz de detectar específicamente la molécula gracias a la huella que ha quedado durante el proceso de síntesis del polímero. Este sistema tiene en inglés la sigla MIP ("molecularly imprinted polymers") y es particularmente útil en los casos de moléculas quirales. Así, por ejemplo, si un antígeno se utiliza como plantilla o "template" que actúa modelando una polimerización, al eliminarse dicho antígeno deja una partícula polimérica donde ha quedado su huella y que en consecuencia actuará como un anticuerpo, pues reconocerá otras moléculas idénticas del mismo antígeno que se encuentren presentes en las muestras a analizar. Como ejemplo descriptivo se pueden mencionar la obtención de biosensores para la detección de toxinas de algas en aguas corrientes. En primer término se sintetizó un receptor artificial para la microcistina-LR empleando el diseño MIP en la construcción de un sensor cuyo mecanismo de transducción es un piezoeléctrico (Chianella y col., 2003). El mismo procedimiento se realizó exitosamente para un número considerable de toxinas de hongos y algas (Turner y Piletsky, 2005). Muchos de estos sensores MIP son de aplicación en medicina diagnóstica. Por ejemplo, recientemente un grupo de investigadores (Hong y col, 2010) desarrolló un biochip descartable empleando el método MIP para la detección óptica de un anestésico de uso corriente de aplicación intravenosa, lo cual permitiría realizar dosajes rápidos del nivel de anestésico en sangre con alta sensibilidad y selectividad durante operaciones que requieren anestesia total. Este análisis in situ mejoraría la seguridad sobre los niveles de anestesia en intervenciones quirúrgicas prolongadas, con metodologías de muy bajo costo.

Una última instancia en la evolución de la biomimética aplicada a biosensores es el implícito reconocimiento de la superioridad que millones de años de evolución han otorgado a los mecanismos biológicos presentes en los seres vivos de la naturaleza, los cuales evolucionaron a formas sostenibles.

Surgió entonces en el ámbito científico-tecnológico la tendencia creciente a emplear como elementos biosensores a células enteras y microorganismos vivos, a los que se denomina bioinformadores (bioreporters). Estos constituyen una combinación de células en actividad con las herramientas dadas por la ingeniería genética y la nanotecnología permite emplear una maquinaria completa, evolucionada y eficiente para detectar enorme cantidad de moléculas, tantas como sea posible inducir a partir del reconoci-

miento celular, minimizando reacciones colaterales y producción de desechos.

Los organismos bioinformadores han sido sometidos a modificaciones genéticas que permiten detectar específicamente la molécula buscada y emitir una señal como respuesta a esa detección. Un bioinformador contiene dos elementos indispensables para cumplir su función: un gen promotor y un gen reportero, estos genes son los que se introducen para construir el bioinformador. El gen promotor se activa en las células cuando se detecta la molécula blanco y en consecuencia activa a su vez la transcripción del gen reportero asociado, que como resultado conduce a la síntesis de ciertas proteínas que producen la señal cuantificable que será proporcional a la concentración de molécula blanco detectada. Estos dos genes suelen también llamarse en conjunto "bioinformadores", coincidiendo con el nombre asociado a la célula o microorganismo completo en el cual han sido insertados. Pueden insertarse en bacterias, plantas y otros tipos de células con finalidades tan diversas como la detección de contaminantes, diagnóstico médico, control de alimentos, desarrollos agrotecnológicos, etc. Actualmente existen numerosos laboratorios y empresas que se dedican a desarrollar, producir y proveer un amplio espectro de genes bioinformadores (van der Meer y col., 2010; Islam y col., 2007).

La figura 5 es una representación muy esquemática del proceso completo [reconocimiento del analito-generación de la señal] en un organismo bioinformador. La percepción de la molécula blanco que se desea detectar (en química analítica se la denomina analito) puede suceder tanto a nivel de la membrana celular como a nivel citoplasmático, de acuerdo a donde esté localizado el EBR que produce el reconocimiento. Es decir, el esquema representa la secuencia de eventos desde que el EBR reconoce el analito.

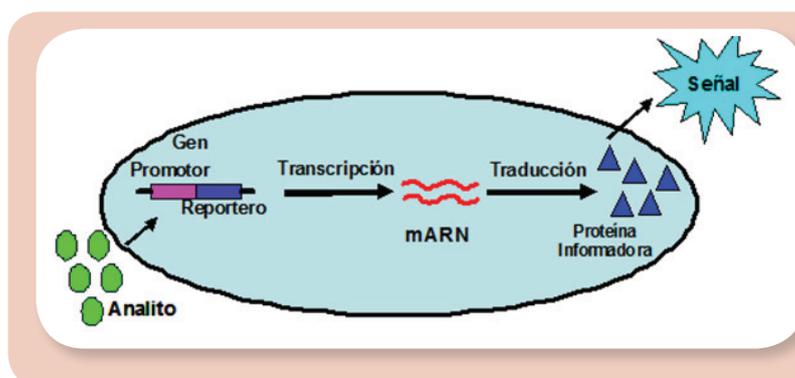


Figura 5: Anatomía de un organismo bioinformador: luego de la exposición a un analito específico (o molécula blanco), el gen promotor activa la transcripción del gen reportero en ARN mensajero (mARN), que luego es traducido en proteínas informadoras que son las responsables de generar una señal.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

Las señales producidas como consecuencia de la detección de la molécula blanco pueden ser colorimétricas, fluorescentes, luminiscentes o electroquímicas. En la mayoría de los casos se utilizan los genes bioinformadores de la familia Lux (Luciferasa), constituida por cinco genes: luxA, luxB, luxC, luxD y luxE. Dependiendo de la combinación de estos genes reporteros y de otros factores tales como temperatura y en algunos casos de la adición de algunos sustratos puede modularse la longitud de onda de la señal bioluminiscente emitida en la región verde-azul.

Otro elemento reportero muy reconocido es la GFP: green fluorescent protein, producida por la medusa *Aequorea victoria*. Esta proteína emite luz en la región visible del espectro cuando se la excita con luz en la región ultravioleta. Las células que se desea emplear como bioinformadores son modificadas genéticamente para producir GFP en respuesta a la detección de la o las moléculas blanco. A su vez, la GFP ha sido clonada y modificada para emitir luz de distintos colores, con lo cual se puede emplear en la detección de diversas moléculas simultáneamente. También puede ser empleada esta técnica de modo inverso para evaluar la toxicidad de un compuesto sobre una célula. Expresando la proteína GFP bajo la regulación de un promotor constitutivo o regulada por un promotor que luego será activado al someterlo a la molécula a la cual es sensible, se logra una determinada intensidad de fluorescencia que luego de exponer a la célula a la toxina en cuestión se verá disminuida debido a la presencia de la misma.

Si bien los primeros bioinformadores se obtuvieron en el área de detección de productos tóxicos (King et al, 1990), la versatilidad y eficiencia del método condujo a numerosas aplicaciones publicadas y patentadas, como las revisadas en Fernández y Bernik (2010). Como ejemplo, podemos mencionar el empleo de cepas bacterianas modificadas que detectan arsénico y zinc y que adicionalmente son capaces de esporular, con lo cual se convierten en bioinformadores portátiles (Daunert y col, 2009). Otros bioinformadores pueden incluso estar constituidos por algas unicelulares vivas, como es el caso del biosensor diseñado por Chovelon y col (2004) que consiste en la detección potenciométrica o conductimétrica de contaminantes que afectan el complejo multienzimático de estas algas, las cuales inmovilizadas en un sensor permiten detectar una serie de compuestos contaminantes. Inclusive se ha diseñado un biosensor constituido por células epiteliales respiratorias que detectan contaminantes en fase aérea produciendo señales cuantificables de distinto tipo (Wei-Chun y Soonjo, 2007), y hasta un biosensor que al detectar la molécula blanco emite olor a metanotiol, un mercaptano, parecido al que se emplea para odorizar el gas natural residencial (Nicklin y col., 2007).

Un aspecto fundamental en el diseño de estos biosensores de célula entera, es el procedimiento mediante el cual la célula o microorganismo se fija al elemento transductor, en los casos en que esto sea necesario. El mantenimiento de la viabilidad y la actividad celular es indispensable. Para ello, se han desarrollado tanto materiales biocompatibles adecuados para "contener" o "sostener" dichas células, como también métodos de conservación tales como secado por vacío o liofilización. Esta área de investigación está actualmente en constante expansión e involucra el trabajo de síntesis química de un modo protagónico. En su máxima expresión, estos biosensores pueden alcanzar plataformas miniaturizadas tales como biochips o fibras ópticas (Bjerketorp y col., 2006).

En otro intento de imitar a la naturaleza, los esfuerzos en química biomimética han buscado aprovechar la habilidad de las plantas en el reconocimiento de sustancias tóxicas en el medio ambiente que las rodea. Algunas plantas intactas nos proveen la oportunidad de monitorear y detectar a nivel molecular la presencia de contaminantes potencialmente dañinos.

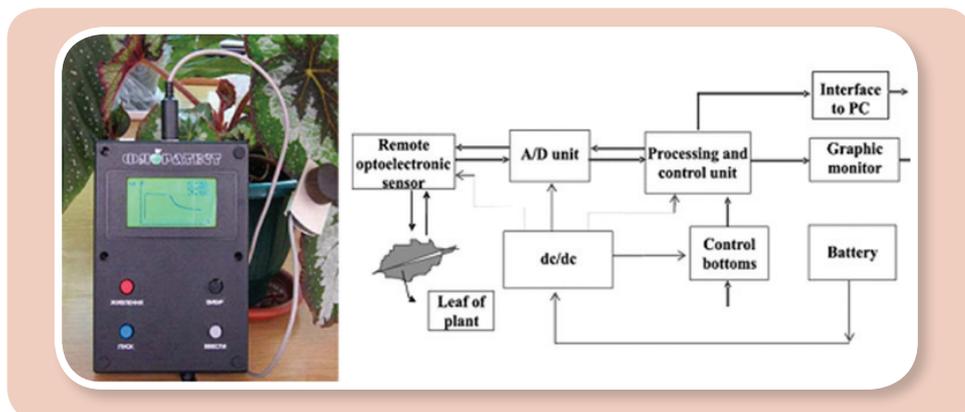


Figura 6: Dispositivo portátil patentado denominado "Floratest" que emplea una planta viva para detectar la presencia de sustancias tóxicas. Consiste en un diodo (LED) empleado como fuente de excitación y en una fibra óptica que permite registrar la curva de fluorescencia emitida por la clorofila, la cual es representativa del estado de la planta y de la respuesta a la presencia de contaminantes. El diagrama a la derecha muestra a los componentes electrónicos y la conexión a una computadora que procesa la información.

La intensidad de fluorescencia de la clorofila depende de la actividad fotosintética de la planta. Cuando la hoja recibe luz la clorofila emite un patrón de fluorescencia (efecto Kautsky o inducción fluorescente de clorofila, CFI, 1931), el cual es muy sensible a la presencia de contaminantes o factores adversos (herbicidas, heladas, etc.). El dispositivo portátil que mostramos como ejemplo (ver figura) permite generar una curva CFI como si fuera un cardiograma que permite descubrir la presencia de estos factores perjudiciales in situ (Palagin y col, 2007).

También investigando los mecanismos ligando-receptor en las plantas se puede monitorear el medio ambiente incorporando genes bioinformadores, lo cual permite obtener biosensores que son plantas completas y se denominan fitobiosensores. En el foro

mundial de negocios BioJapan 2010 que se realizó en la ciudad de Sapporo, la empresa ECONIXE Co., Ltd. presentó su nuevo biosensor ya patentado "Plant Biosensor for detecting hormone-like chemicals" (Yamazaki y col., 2008). El biosensor es una planta a la cual se le ha realizado ingeniería genética y que muestra actividad ante la presencia de estrógenos, emitiendo luz fluorescente, pudiendo ser empleado para detectar hormonas en muestras de alimentos, farmacéuticos y cosméticos. La ventaja es que la detección no requiere preparación de muestra lo cual usualmente requiere procesos de esterilización, además de ofrecer elevada sensibilidad y especificidad.

En el ámbito de la biomimética, otra instancia que la tecnología ha tratado de imitar de la naturaleza son los sistemas biológicos que emplean un conjunto de sensores que trabajan al unísono y cuya información se procesa conjuntamente.

En 2008 Nissan publicó un artículo mencionando una innovación en diseño de autos que serían capaces de evitar choques. Para ello, tomaron como ejemplo el mecanismo de visión de las abejas que les permite evitar choques durante sus vuelos. Así, Nissan en conjunto con la Universidad de Tokio diseñaron un auto con visión a 300 grados, capaz de activar una alarma y un giro, aceleración o desaceleración del automóvil bajo riesgos de un inminente choque.

Los ojos de las abejas están compuestos por numerosas facetas, cada una de las cuales tiene su correspondiente terminal nerviosa que registra una señal y la envía a un centro neural de análisis conjunto (figura 7, partes A y B). En la figura 7 (partes C y D) se muestra un esquema de cual es el mecanismo de visión, que funciona simplemente determinando cuántos sensores registran una señal e informando un ángulo que va aumentando al acercarse el objeto. Estos ojos compuestos pueden detectar objetos en un ángulo de 300 grados.

Para recrear esta función los ingenieros diseñaron el método denominado Laser Range Finder (LRF). El sistema LRF detecta obstáculos hasta dos metros de distancia dentro de un radio de 180 grados al frente del dispositivo que se mueve, y envía las señales a un microprocesador instalado en el dispositivo (el automóvil), el cual es capaz de accionar una respuesta instantánea a fin de evitar una colisión.

Otro ejemplo de la potencialidad del desarrollo biomimético de estos conjuntos de sensores queda demostrada en la obtención de sensores hápticos, cuya denominación proviene de la palabra griega *hápō*: tocar, relativo al tacto, que puede palparse, si bien el uso de la palabra se extiende al conjunto de sensaciones que no sean ni auditivas ni visuales.

Los roedores y otros animales pueden orientarse y discriminar texturas de superficie empleando un conjunto de sensores (en inglés *sensor array*) contenidos en sus bigotes. Los bigotes son los extremos visibles de un sistema sensorial controlado por el sistema nervioso central del animal empleado como regla general con el fin de clasificar objetos y mejorar la orientación.

Actualmente se están modelando estas matrices de sensores empleando microagujas y procesadores digitales de señales, utilizando datos empíricos tomados de mediciones electrofisiológicas. La intención de imitar estas matrices sensoriales en forma artificial es lograr su incorporación en robots para mejorar su orientación en sitios oscuros o visualmente impedidos, como por ejemplo, situaciones de rescate en el caso de derrumbes de edificios o minas (Pearson y col, 2008).

En los dos últimos ejemplos descritos (ojos compuestos y sensores hápticos) el procesamiento de los datos proveniente de un conjunto de sensores implica un salto muy grande en la cantidad y complejidad de la información obtenida lo cual requiere un cambio radical en el procesamiento de las señales obtenidas.

En el capítulo siguiente se abordará en detalle los cambios mencionados en esa área de conjuntos de sensores (sensor arrays).

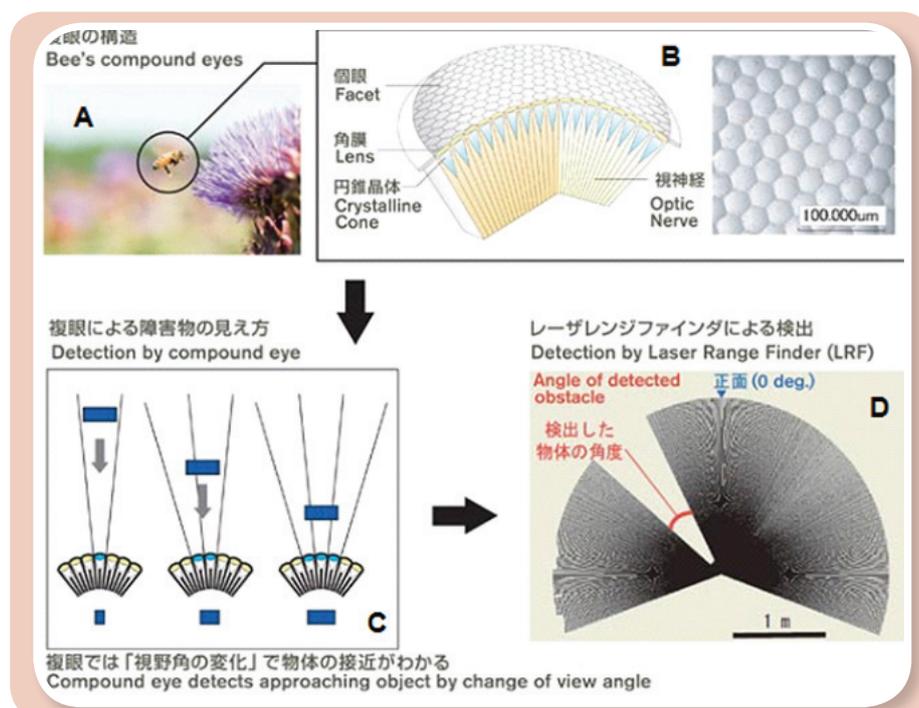


Figura 7: Esquema del mecanismo de visión de los abejorros. Ojos compuestos (parte A y B) y detección de un obstáculo que se acerca (parte C y D). La explicación detallada está en el texto

Agradecimientos

Dra. Delia Bernik es miembro de la Carrera de Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Sus trabajos de investigación reciben financiación de CONICET (PIP-01210), ANPCyT (PICT 2006-568) y UBACyT (X157).

Referencias bibliográficas:

- Barhoumi, A.H., Maaref, A., Rammah, M., Martelet, C., Jaffrezic, N., Mousty, C., Vial, S., and Forano, C. (2006). Urea biosensor based on Zn3Al-Urease layered double hydroxides nanohybrid coated on insulated silicon structures. *Materials Science and Engineering C*. 26, 328–33.
- Basu, S. K. and I. Kovalchuk. (2010) Biosensing with Plants: Plant Receptors for Sensing Environmental Pollution. Chapter 10 in *Recognition Receptors in Biosensors* (Mohammed Zourob Ed.) Springer New York, Part 2, 383-413, DOI: 10.1007/978-1-4419-0919-0_10.
- Bjerketorp J., Sebastian Hakansson, Shimshon Belkin and Janet K Jansson Advances in preservation methods: keeping biosensor microorganisms alive and active. *Current Opinion in Biotechnology* 2006, 17:1–7.
- Brennan, C. A., Christianson, K., La Fleur, M. A. and Mandeckki, W. (1995) A molecular sensor system based on genetically engineered alkaline phosphatase. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 92, 5783-5787.
- Chianella I., Piletsky S. A., Tothill I. E., Chen B., Turner A. P. F. (2003). Combination of solid phase extraction cartridges and MIP-based sensor for detection of microcystin-LR. *Biosensors & Bioelectronics*, 18, 119-127.
- Chovelon, J.M., Durrieu, C., Chouteau, C. (2004) Multienzymatic conductimetric or potentiometric biosensor with unicellular algae, detection method using same. WO2004040004A1.
- Clark, L.C. Jr.; Lyons, C. (1962) Electrode systems for continuous monitoring in cardiovascular surgery. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 102, 29-45.
- Dauert, S., Deo, S., K., Pasini, P., Date, A. (2009) Spores for the stabilization and on-site application of bacterial whole cell biosensing system. WO2009036070A1.
- Drabovich A.P., Victor Okhonin, Maxim Berezovski, and Sergey N. Krylov (2007) Smart Aptamers Facilitate Multi-Probe Affinity Analysis of Proteins with Ultra-Wide Dynamic Range of Measured Concentrations *J. Am. Chem. Soc* 129), 7260–7261.
- Ellington AD, Szostak JW (1990) In vitro selection of RNA molecules that bind specific ligands. *Nature* 346: 818–822.
- Famulok M, Hartig J, Mayer G (2007) Functional aptamers and aptazymes in biotechnology, diagnostics, and therapy. *Chemical Reviews* 107(9):3715-3737.
- Fernández M.R. y Bernik D.L. (2010) Whole-Cell Biosensors: Research and Patents. *Recent Patents on Biomedical Engineering* 3, En prensa.
- Gan N., Xin Yang, Donghua Xie, Yuanzhao Wu and Weigang Wen. (2010) A Disposable Organophosphorus Pesticides Enzyme Biosensor Based on Magnetic Composite Nano-Particles Modified Screen Printed Carbon Electrode. *Sensors* 10, 625-638.

- Harper A. and Anderson M.R., *Sensors* 2010, Electrochemical Glucose Sensors. Developments Using Electrostatic Assembly and Carbon Nanotubes for Biosensor Construction, *Sensors* 2010, 10(9), 8248-8274.
- Chien-Chong Hong, Po-Hsiang Chang, Chih-Chung Lin, Chian-Lang Hong. (2010) A disposable microfluidic biochip with on-chip molecularly imprinted biosensors for optical detection of anesthetic propofol. *Biosensors and Bioelectronics* 25 2058-2064.
- Islam, S.K., R. Vijayaraghavan, M. Zhang, S. Ripp, S. Caylor, B. Weathers, S. Moser, S. Terry, B. Blalock, and G.S. Sayler. 2007. Integrated circuit biosensors using living whole-cell bioreporters. *IEEE Transactions* 54:89-98.
- King, J.M.H. et al. (1990) Rapid, sensitive bioluminescence reporter technology for naphthalene exposure and biodegradation. *Science* 249, 778-781.
- Lee Jeong-O, Hye-Mi So, Eun-Kyoung Jeon, Hyunju Chang, Keehoon Won and Yong Hwan Kim (2008). Aptamers as molecular recognition elements for electrical nanobiosensors. *Anal Bioanal Chem* 390:1023-1032.
- Levy-Nissenbaum E, Radovic-Moreno A, Wang A, Langer R, Farokhzad O (2008) *Trends in Biotechnology* 26(8):442-449.
- Mairal T, Cengiz Ozalp V, Lozano Sanchez P, Mir M, Katakis I, O'Sullivan C (2008) Aptamers: molecular tools for analytical applications. *Anal Bioanal Chem* 390:989-1007.
- Marvin, J. S., Corcoran, E. E., Hattangadi, N. A., Zhang, J. V., Gere, S. A. and Hellinga, H. W. (1997) The rational design of allosteric interactions in a monomeric protein and its applications to the construction of biosensors. *Proceedings National Academy Science USA* 94, 4366-4371.
- M. Murata, M. Nakayama, H. Irie, K. Yakabe, K. Fukuma, Y. Katayama, M. Maeda, and T. Suzutani, *Anal. Sci.*, 2001, 17, i1273.
- M Murata, K Yano, S Kuroki, T Suzutani, Y Katayama *Anal Sci* (2003) 19: 1569-73.
Protein-immobilized electrode for rapid and convenient sensing of thyroid hormone receptor-ligand interaction.
- Nicklin, S., Cooper, M.L., D'Souza N.J. (2007) Whole cell biosensor using the release of a volatile substance as reporter. WO2007083137A1.
- Palagin O., Romanov V., Starodub M., Brayko Yu., Galelyuka I., Imamutdinova R., Sarahan Ye. (2007) Portable Devices for Express-Diagnostics of Photosynthesis, Viral Infections and Mycotocosis // Proceeding of the IV International scientific-practical conference "Urgent question and organizational-lawful aspects of Ukraine-China collaboration in the high technologies field" – Kiev, Ukraine. – 2007, 10 october. – P. 135-138.
- Piervincenzi, R.T., Reichert W.M., Hellinga H.W. (1998) Genetic engineering of a single-chain antibody fragment for surface immobilization in an optical biosensor *Biosensors & Bioelectronics* 13, (3), 305-312.
- Robertson DL, Joyce GF (1990) Selection in vitro of an RNA enzyme that specifically cleaves single-stranded DNA. *Nature* 344:467-468.
- Rogers, K.R., Mohyee E. Eldefrawi. (1998) Receptor biosensors based on optical detection. In *Affinity Biosensors: Techniques and Protocols Methods in Biotechnology Vol: 7: 135-146*. DOI: 10.1385/0-89603-539-5:135.
- Romanov V., Igor Galelyuka, Volodymyr Fedak, Volodymyr Grusha, Dmytro Artemenko, Oksana Galelyuka, Vitalii Velychko, Krassimir Markov, Krassimira Ivanova, Ilia Mitov. Portable device "Floratest" as tool for estimating of megalopolis ecology state. *International Book Series "Information Science and Computing"*.
- Shin'ichiro, K., Yano Kentaro, Katayama Yoshiki, and Murata Masaharu. (2004) A novel biosensor for the rapid measurement of thyroid hormone based on ligand-receptor interaction. *Nippon Kagakkai Koen Yokoshu. Vol 84 (2), 1167-*. ISSN:0285-7626.
- Strehlitz, B.; Stoltenburg, R. (2009): SELEX and its Recent Optimizations in: Mascini, M.: *Aptamers in Bioanalysis*. WILEY Interscience. 1. Auflage - März 2009. 328 Seiten, 109,- Euro. ISBN-13: 978-0-470-14830-3.
- Stoltenburg, R.; Reinemann, C.; Strehlitz, B. (2007): SELEX - a revolutionary method to generate high affinity nucleic acid ligands. *Biomolecular Engineering* 24, 381-403, *Biomolecular Engineering* 24 (4), 381-403.
- Turner A.P.F. y Piletsky S. (2005) Biosensors and biomimetic sensors for the detection of drugs, toxins and biological agents. In: *Defense against Bioterror: Detection Technologies, Implementation Strategies and Commercial Opportunities*, 261-272.. (D. Morrison et al., eds.), Cranfield University.
- van der Meer JR, Belkin S: Where microbiology meets microengineering: design and applications of reporter bacteria. *Nat Rev Microbiol* 2010, 8(7):511-522.
- Wei-Chun, C., Soonjo, K. (2007) Cell-based biosensor for harmful airborne agents. US7195899B1.
- Yamazaki K., Tuda K., Toujyo T., Wada T., Yamashita K. (2008) Method for Detecting Estrogen-Like Chemicals by Plant. US Patent 20080199858.
- Yoo 1, E-H, and Soo-Youn Lee. (2010) Glucose Biosensors: An Overview of Use in Clinical Practice. *Sensors* 2010, 10, 4558-4576; doi:10.3390/s100504558.
- Yuan S., Ruo Yuan, Yaqin Chai, Ying Zhuo, Xia Yang and Yali Yuan (2010) Enzyme biosensor based on the immobilization of HRP on SiO₂/BSA/Au composite nanoparticles. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 162, 2189-2196.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

22

QUÍMICA, BIOMIMÉTICA Y SENSORES. PARTE II: DISPOSITIVOS ANALÍTICOS

Dr. Martín Negri

LAMS: Laboratorio de Arreglos Multisensoriales.

Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE).

Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Email: rmn@qi.fcen.uba.ar

Introducción

Como se destacó en la Parte I, la búsqueda de mejoras en los métodos analíticos para el análisis de muestras químicas y biológicas representa una actividad científica continua e interdisciplinaria, para su aplicación en sistemas basados en diferentes formas de procesamiento de muestra (separativas, en flujo o no, etc.), en distintos métodos de detección (espectroscópicos, electroquímicos, etc.) y en nuevas formas de tratamiento de datos. Incluye las temáticas de química analítica, ciencia de materiales, ingeniería electrónica y diseño industrial, entre otras. Comúnmente es motivada por la detección de un problema económico o social, como por ejemplo la reducción de costos de análisis en un dado proceso de interés industrial o la aparición de una problemática de contaminación ambiental específica. En cada caso, es necesario hacer una definición lo más explícita posible de cual es el problema que se quiere resolver (por ejemplo si es necesario hacer especiación química o no, cuales son los límites de detección a los que es necesario llegar, etc.) y posteriormente una evaluación de costos/beneficios al momento de decidir una determinada metodología de análisis. Este proceso se encuentra dentro del contexto tecnológico contemporáneo que incentiva las mejoras en tres aspectos: miniaturización (basada en microelectrónica), automatización (robótica, transmisión de información, etc.) y optimización de métodos de análisis de datos (optimización de la extracción de información principal, reducción del tiempo de análisis, etc.). Paralelamente las investigaciones en ciencias de materiales buscan la obtención de nuevos materiales, como nanopartículas, nanohilos, polímeros conductores, etc, para ser usados como agentes activos en sensores que contribuyan a mejorar los denominados parámetros de mérito o calidad: límite de detección, especificidad, sensibilidad, rango de concentraciones de trabajo, relación señal/ruido, velocidad de la respuesta, reproducibilidad, robustez, costo, etc.

En este marco de permanente optimización de metodologías y búsqueda de nuevas alternativas, se encuentra el desarrollo de sistemas analíticos inspirados en sistemas naturales, como las Narices, Lenguas y Pielas Electrónicas. Estas metodologías se proponen abordar un determinado problema analítico, que es el de discriminar muestras de composiciones complejas y similares, por ejemplo formulaciones farmacéuticas multicomponentes, sin necesidad de separar los com-

ponentes de la misma (o sea, sin "cromatografiar" las muestras) y en general con la menor perturbación de las mismas. Como se ve el objetivo no es hacer determinaciones específicas de los compuestos que componen el sistema (especiación), si no identificarlo como un todo, o en otros términos, realizar un reconocimiento de los patrones asociado a las muestras que se busca discriminar. Para ello, se utilizan conjuntos de sensores químicos ("arreglos") con diferentes sensibilidades frente a los componentes químicos que constituyen el sistema de estudio. El paso de utilizar un sensor al de emplear un arreglo de sensores representa un cambio sustancial en las capacidades del sistema. Por ejemplo, consideremos que se ha instalado en una fábrica un único sensor de gases para detectar escapes de compuesto volátiles inflamables (alcoholes, aromáticos, etc.). Dependiendo de la selectividad del sensor es posible que se active la alarma no solo cuando haya escapes de volátiles, sino también cuando alguien encienda un cigarrillo, si se acerca un perfume, etc., o sea que podría generar falsos positivos pues no tiene capacidad de discriminar los distintos olores. Esto se debe a que los sensores de gases suelen ser altamente *inespecíficos*. Por este motivo es necesario utilizar un conjunto de sensores de gases, con *sensibilidades* parciales diferentes, que provean no ya una única señal, sino un patrón de señales o huella digital para cada olor. Esto implica a nivel de instrumentación un cambio de dimensionalidad: se pasa de una única señal (información *escalar*) a un conjunto de señales (información *vectorial*), con lo cual el sistema es más complejo, pero muchísimo más rico en posibilidades. En el caso de un arreglo de sensores de gases se trata de Narices Electrónicas, mientras que en el de sensores de iones en solución se habla de Lenguas Electrónicas.

Narices y Lenguas Electrónicas: presentación del problema analítico.

El desarrollo de las Narices Electrónicas alcanzó su mayoría de edad a mediados de la década de los noventa. La concepción inicial de un robot que pueda "oler", como mecanismo de alarma mientras ejecuta otras labores, dio paso al desarrollo de sistemas de control de calidad y comparación de formulaciones por medio del olor para las industrias de alimentos, bebidas, cosmética, farmacéutica y en monitoreo ambiental. Como se mencionó en la introducción y

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

se destaca aquí, este paso se debió a que se explicitó una problemática analítica definida: en sistemas de composición compleja se busca reconocer distintas muestras de interés (discriminación o clasificación de muestras), que son levemente diferentes en su composición, sin tener que hacer determinaciones específicas de los compuestos químicos o biológicos presentes en las mismas, buscando reducir costos y tiempos de operación. Esta problemática analítica aparece en una amplísima variedad de situaciones de alto interés económico, si bien es en las industrias y áreas mencionadas donde alcanza un muy alto grado de interés. Se está en presencia de esta problemática cuando, por ejemplo, en química cosmética o en industria farmacéutica se desarrolla una nueva formulación, modificando una ya existente, ya sea agregando un agente activo a una formulación farmacéutica compleja, o al agregar un nota en partes por millón a una fragancia. Las Narices Electrónicas procuran discriminar la nueva formulación de la vieja, o la fragancia que tiene la nota de la que no la tiene, sin necesidad de identificar los compuestos que la componen. Al reducir dicha complejidad, se procura obtener ventajas en relación costo/beneficio con relación a técnicas de separación e identificación como las cromatográficas. Estas posibilidades están dadas por las posibilidades de elegir sensores según el tipo de muestra, la reducción del costo de los equipos y de su mantenimiento, las posibilidades de obtener dispositivos trasladables de pequeñas dimensiones, el diseño y/o adaptación relativamente fácil para procesos *in situ* y en línea (*on line*).

La concepción de las Narices Electrónicas puede correlacionarse con la forma en que los mamíferos “huelan”, como se ilustra en la siguiente figura 1:

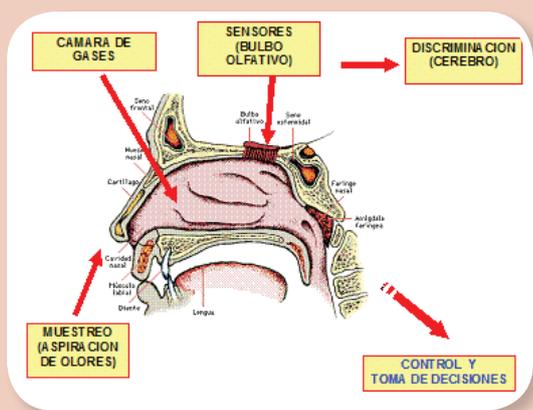


Figura 1: las distintas etapas del proceso olfativo, que son incorporadas en las narices electrónicas.

Cavidad nasal adaptada de <http://www.blogodisea.com>.

El sistema olfativo puede “aspirar” los olores (toma de muestra), que son conducidos a la cavidad nasal (cámara de sensores) donde se encuentran los receptores olfativos (sensores), los cuales producen señales eléctricas en presencia del olor (transducción de señal) que son enviadas al cerebro (plataforma de adquisición de datos), en donde son analizadas (reconocimiento de patrones) para la posterior toma de decisión (por ejemplo, rechazar un alimento por su “mal olor”). En comparación con los sistemas naturales, todos estos

pasos son toscamente implementados por los sistemas artificiales, que sin embargo presentan todavía la ventaja de poder registrar señales numéricas para su análisis matemático, particularmente para el análisis comparativo de muestras como en los ejemplos descriptos.

Sensores químicos y biosensores

Todas las disciplinas de la química realizan aportes centrales al desarrollo de nuevos sensores, procurando obtener mejoras en los parámetros de mérito. En el capítulo anterior (Parte I) se describieron cronológicamente diversos ejemplos de biosensores. El uso de biosensores con elementos de reconocimiento biológicos y transducción electroquímica es usual en Lenguas Electrónicas aunque recientemente se han publicado avances en el área de Narices Electrónicas. Misawa y colaboradores han desarrollado sensores de gases utilizando células viables del sistema olfativo de diferentes insectos, siguiendo la inspiración en los sistemas naturales que se describió en la Parte I (Misawa et al, 2010). Estas innovaciones constituyen excelentes alternativas para las Narices Electrónicas, en donde lo tradicional es utilizar sensores químicos. Los sensores químicos, a diferencia de los biosensores, son inespecíficos. Están basados en que la presencia del olor induce cambios en alguna propiedad fisicoquímica del material activo. Por ejemplo, los sensores conductimétricos que utilizan óxidos semiconductores (SnO_2 , ZnO), se basan en que las moléculas del olor son oxidadas en la superficie del óxido y en consecuencia se produce un aumento de la conductividad del material. Otros tipos de sensores son los denominados sensores de “ondas acústicas superficiales”, en donde el olor se adsorbe sobre la superficie de un material piezoeléctrico (SiO_2 , BaTiO_3) modificado con una película polimérica y produce cambios en las propiedades mecánicas del material asociadas con la transmisión de deformaciones. También han cobrado un importante impulso los sensores basados en transistores de efecto campo, en donde los terminales del transistor se conectan entre sí por medio de una película sensible a las moléculas del gas a detectar, utilizándose polímeros conductores (típicamente tiofenos y ftalocianinas), semiconductores inorgánicos o enjambres de nanohilos de carbón. Si bien las mejoras en cuanto a disminución de límites de detección son muy importantes, todos estos sensores son inespecíficos, o sea que presentan señal frente a la gran mayoría de las sustancias volátiles habituales. Entonces, para poder discriminar entre mezclas de olores, donde cada mezcla está compuesta por muchas especies químicas, es necesario implementar “arreglos” de sensores y emplear métodos de reconocimientos de patrones, los cuales se describen en la siguiente sección.

Métodos matemáticos de Reconocimiento de Patrones

La metodología de las Narices y Lenguas Electrónicas está basada en el *reconocimiento de patrones* de las muestras que se busca discriminar. Para dar un

ejemplo fuera del ámbito de la química, se está en presencia de un reconocimiento de patrones cuando se discriminan patologías similares posibles de un paciente a partir de un análisis comparativo de información, tal como el conjunto de síntomas descritos por el paciente, sumado a los resultados de un análisis de sangre y a otros estudios posibles.

La temática es muy amplia y abarca el reconocimiento visual de huellas digitales, el reconocimiento de un código de barras y la discriminación de espectros de absorción o emisión. En química analítica el reconocimiento de patrones que son leve, pero sistemáticamente diferentes, se hace en forma matemática mediante el "análisis de datos multivariado", temática que forma parte de la subdisciplina denominada "quimiometría". A su vez, el análisis de datos multivariado es en sí misma una temática muy amplia, pues incluye numerosos métodos matemáticos para hacer el análisis.

El primer paso es determinar si es posible agrupar las muestras de interés a partir de las señales del conjunto de sensores. Para ello se utilizan métodos matemáticos que resaltan o "amplifican" las diferencias entre los patrones de señales observados. Ahora bien, es necesario distinguir entre "agrupar" y "clasificar" muestras, pues son conceptos distintos: clasificar es un paso más de complejidad. Por ejemplo, puedo determinar con un dispositivo que ciertas muestras de vino son distintas a otras, es decir "agruparlas" (las muestras están en grupos distintos), pero eso no significa que las pueda "clasificar" por ejemplo, decir que el primer grupo es Malbec y el otro Merlot. La clasificación permite poder asociar a los grupos encontrados con tipos (clases) previamente determinados y que el dispositivo de Nariz o Lengua Electrónica haya "aprendido" a reconocer. Esto implica que previamente al ensayo final, el equipo fue "enseñado" a reconocer patrones: se le dice que ciertas muestras de entrenamiento son vinos Malbec y otras Merlot. Este proceso de entrenamiento también está inspirado en la forma de aprendizaje de los seres humanos y constituyó la inspiración para el diseño de Redes Neuronales Artificiales, que es uno de los métodos para reconocimiento de patrones a partir de la clasificación de muestras.

En general, el uso de qué métodos utilizar para el reconocimiento de patrones depende de cual es el problema analítico a resolver. En algunos casos, por ejemplo cuando solo se busca discriminar pero no clasificar, se utilizan métodos sencillos donde el equipo no es entrenado previamente. Estos métodos se llaman "no-supervisados", su uso requiere menor volumen estadístico de muestra, son fáciles de operar por personal de formación intermedia, son altamente sensibles a diferencias sutiles de las muestras y proveen la información en forma muy rápida y visual. Pueden mencionarse los métodos denominados "Análisis de Componentes Principales" (comúnmente designado por las siglas PCA, por su nombre en inglés, *Principal Component Analysis*) y "Análisis de Clústeres", entre los más comunes. Sin embargo, cuando el problema analítico requiere clasificar muestras como se men-

cionó en el párrafo anterior, o bien si los métodos de agrupación no supervisados no discriminan con suficiente resolución, entonces es necesario usar métodos "supervisados", como es el caso de las redes Neuronales Ratificales más comunes. Estos métodos son más potentes, pero en términos generales contribuyen a aumentar el costo del análisis, ya sea por la necesidad de contar con mayor cantidad de muestra y/o en las horas dedicadas al análisis. Estos factores deben considerarse, evaluando la relación costo/beneficio cada caso.

Como ejemplo de representación gráfica de patrones de olores medidos con una nariz electrónica, se muestran los patrones medidos con un equipo desarrollado en el LAMS para el caso de olores provenientes de un pescado. El problema analítico consistió en determinar en forma rápida y sin necesidad de hacer homogenatos ni de hacer cortes de filetes, si un filete de merluza había estado más de un día en heladera. Para ello fue necesario diseñar una nariz electrónica que permitiera poner un filete entero en su interior, concretamente en una cámara donde se incorporaron 12 sensores de gases para detectar los olores desprendidos desde la muestra. En la figura 2 se muestran patrones obtenidos para distintos filetes, de pesos similares, que estuvieron todos menos de un día en heladera desde el momento de recibido. Se puede comprobar la alta reproducibilidad del sistema.

Señales de sensores de gases

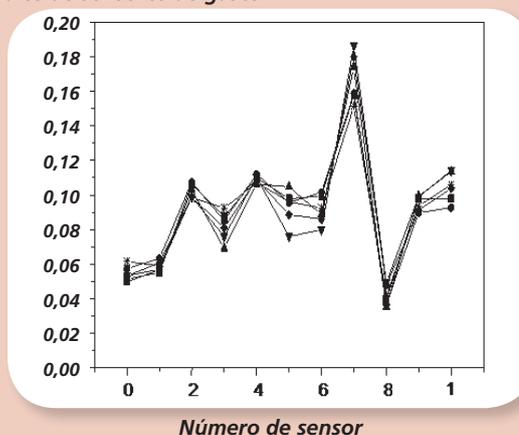


Figura 2: Patrones de filete de merluza, del mismo peso, que estuvieron menos de 24 hjs en heladera. En estos gráficos, el eje de X se representa el número de sensor de la nariz electrónica, y las señales obtenidas en el eje Y. Se observa la alta reproducibilidad del sistema.

En la figura 3 se hace una representación en gráficos radares. Cada vértice representa un sensor de la nariz electrónica, y las señales correspondientes están unidas por debajo, encerrando el área coloreada. En este caso se representan los patrones de nariz electrónica obtenidos para un dado filete de merluza cuando está recién comparado (Figura 3a) y luego de transcurrir 24 horas, observándose claramente los cambios de patrón de señales. En este caso la identificación es visual y directa, no habiendo sido necesario emplear métodos de análisis multivariado.

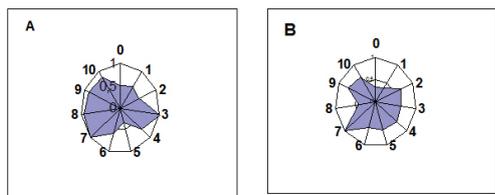


Figura 3: patrones de nariz electrónica obtenidos para un dado filet de merluza, en forma, donde cada vértice representa un sensor- (a). medido recién comparado. (b): pasadas 24 horas.

Como ejemplo ilustrativo del uso de métodos de análisis multivariado, se muestran resultados de PCA obtenidos en el LAMS para el problema analítico de discriminar olores conteniendo esencias presentes en perales (y también para el caso de manzanas), que provienen de dichas plantaciones, de aquellos olores que además contienen una feromona de la mosca XXX, utilizada como agente de confusión sexual para disminuir la población de la plaga. El método de PCA hace un análisis de la varianza estadística de los datos, buscando extraer las principales contribuciones a la variación de los datos a partir del patrón de señales de los sensores. Los patrones son empelados como datos de entrada (*inputs*) consideradas como coordenadas de un vector (vector "medición"). El método devuelve otras variables, las denominadas componentes principales, que son las coordenadas del vector medición en la base de coordenadas orientadas en las direcciones de la mayor variación (varianza) de los datos (considerados como un sistema estadístico). Por lo general, el conjunto de las dos o tres primeras componentes principales suelen contener un porcentaje elevado de la varianza estadística total del sistema, típicamente superior al 90 %, con lo cual se reduce la dimensionalidad del sistema desde el número total de sensores hasta dos o tres según el caso. Como consecuencia de ello, un mapa en 2D (o 3D) donde se ubican las dos (o tres) componentes principales relevantes para cada medición, permite agrupar naturalmente (método no-supervisado) las muestras medidas, buscando observar si muestras distintas se ubican en lugares distintos del mapa de componentes principales. Esto se ilustra para el ejemplo de las feromonas en la figura 4.

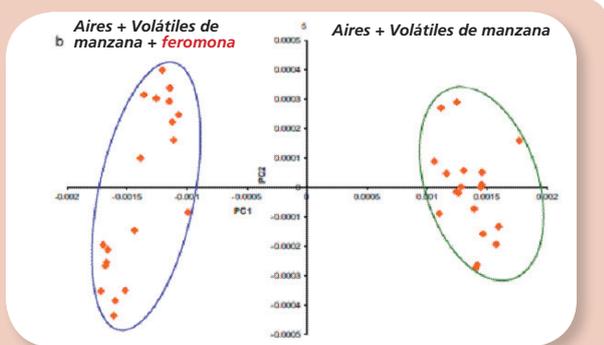


Figura 4: mapa de PCA (componente principal 1 versus componente principal 2). Cada punto representa una medición. Se observa que las muestras conteniendo feromona se ubican en zonas del mapa que están claramente separadas de aquellas que no contienen la feromona (ambas contienen una mezcla de compuestos volátiles asociadas con cultivos industriales). Adaptado de Bernik & Negri, Crop Protection (2008), 27, 1295-1302.

En la figura 5 se muestra un sistema de muestreo utilizado para medir olores provenientes de muestras de feromona líquida en presencia de convecciones de aire y emitidos distintas fuentes ubicadas en el recinto.

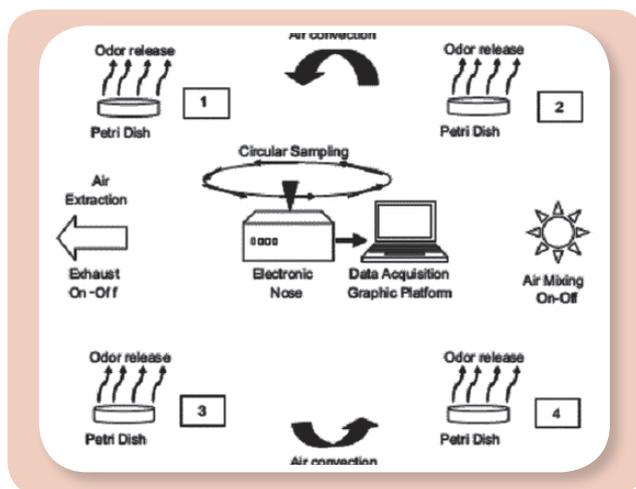


Figura 5: Diseño experimental para detectar plumas de olores- Se colocaron fuentes emisoras de olores en distintos puntos del laboratorio y se realizaron mediciones de nariz electrónica cada 20 minutos, n presencia de convección (sistema feromona+volátiles). Adaptado de Bernik & Negri, Crop Protection (2008), 27, 1295-1302.

Desarrollo de dispositivos

El desarrollo de instrumentación analítica presenta diversos desafíos, que, como en toda situación de alto interés, requiere un abordaje interdisciplinario. Cuando se desarrolla un dispositivo es necesario integrar aspectos de electrónica, computación, ciencias de materiales y química analítica. El objetivo analítico planteado determina la forma en que se toman las muestras y la selección de la modalidad de medición, por ejemplo en flujo o en *batch*. Es necesario, discutir la portabilidad o no del dispositivo final y su presentación. El diseño electrónico es central y está determinado fundamentalmente por el tipo y cantidad de sensores a utilizar. La computación está estrechamente vinculada con la electrónica a través de la programación de microprocesadores, y también se involucra a través del diseño de software de adquisición de datos, la licencia de uso de programas de análisis, etc. El desarrollo de la ciencia de materiales, que incluye la síntesis de nuevos materiales, permite el desarrollo de nuevos sensores con mejores límites de detección, sensibilidad, etc. El análisis químico está presente no sólo a partir de la forma de muestreo, si no a través del análisis de datos para el reconocimiento de patrones (quimiometría). Todos estos factores influyen en los costos, si bien no constituyen su totalidad, pues deben incluirse costos de operación, mantenimiento, insumos, etc. Dichos aspectos deben tenerse en cuenta al desarrollar instrumentación científica, siendo la premisa base el poder definir explícitamente los alcances y limitaciones de la metodología implementada. En el Laboratorio de Arreglos Multisensoriales (LAMS) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales en la UBA,

hemos desarrollado diversos tipos de Narices Electrónicas que fueron aplicados en estudios de investigación de descomposición de pescados (O'Connell et al, 2001), discriminación de perfumes (Branca et al, 2003), aceites esenciales (Monge et al, 2004-a; Monge et al, 2008), detección de volátiles en agua (Diz et al, 2006), detección de feromonas (Negri & Bernik, 2008), seguimiento de reacciones químicas (Lovino et al, 2005) y liberación de compuestos encapsulados (Monge et al, 2004-b; Rodríguez et al, 2010).

Lenguas Electrónicas

Volviendo al ejemplo del robot que "deguste" una bebida o un alimento, supongamos a fines de ilustrar el concepto que se quiere diseñar un robot "ciego" que discrimine vino blanco de vino tinto sin mirar el color, donde tampoco interese discriminar la cepa, cosecha, etc. Para abaratar costos, el diseñador propone que el robot use solamente un electrodo de pH. El resultado será un fracaso total: todos los vinos blancos y tintos tienen pH entre 3 y 4. El electrodo de pH permite al robot discriminar si el vaso que le acercan tiene agua o vino (el agua de mesa tiene pH cercano a 6), pero no si el vino es blanco o tinto. Por lo tanto el siguiente paso será incorporar otro sensor, pero hacerlo con cierto criterio sobre las propiedades de lo que se busca discriminar. Dado que para preparar el vino blanco se separa tempranamente el mosto, sin duda se deben haber separado moléculas orgánicas que no estarán presentes durante la fermentación. Por lo tanto, parece razonable que la conductividad eléctrica del vino blanco sea menor que la del tinto, hipótesis que será fácil de comprobar o descartar empleando un conductímetro como "sensor". La diferencia es sistemática para los vinos ensayados, como puede observarse en la siguiente figura verificándose que los vinos tintos tienen mayor conductividad eléctrica.

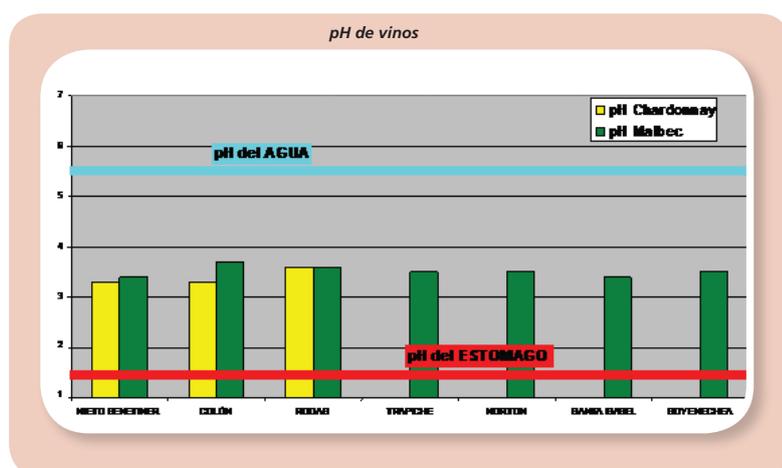


Figura 6: comparación de pH de algunos vinos argentinos blancos (barras amarillas) y tintos (barras verdes).

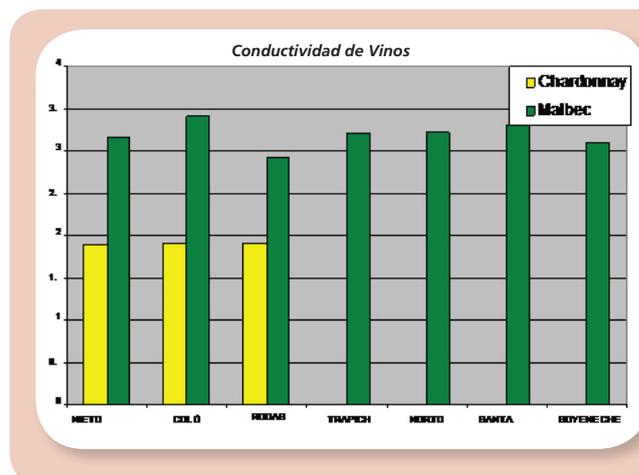


Figura 7: conductividad eléctrica de vinos argentinos blancos (barras amarillas) y tintos (barras verdes).

Flavorímetro: olor y sabor

El proceso de degustación de un alimento o bebida involucra el sabor y el olor en forma indudablemente integrada. Esto se vuelve muy evidente cuando nos resfriamos: perdemos gran parte de la capacidad de oler y degustar simultáneamente. En la UBA desarrollamos entonces un nuevo dispositivo innovador denominado Flavorímetro, el cual provee la detección simultánea de olores y sabores inspirándose en el hecho de que en los mamíferos ambos sentidos no están desacoplados, si no que actúan simultánea y sinérgicamente. El Flavorímetro surgió como propuesta para abordar el problema analítico de discriminar entre vinos tintos de distintas marcas de la misma cepa. Para ello no alcanzaba con un electrodo de pH y un conductímetro como en el ejemplo de la Figura 7, sino que en un primer paso era necesario agregar sensores sensibles a iones, como los denominados ISE por sus siglas en inglés "ion-selective-electrodes", es decir electrodos selectivos de iones, que, al detectar la presencia de ciertos iones en la muestra, proveen una señal fácilmente detectable. En nuestro caso usamos electrodos sensibles a sulfatos, sulfuros y aminas. Sin embargo la discriminación fue mucho mayor cuando se utilizó el "Flavorímetro", un dispositivo que combina Nariz y Lengua Electrónica, que fue patentado por la Universidad de Buenos Aires (Negri, 2007). Permite sensar simultáneamente la fase líquida, (actuando como Lengua) y los vapores (Nariz), sin necesidad de extraer los vapores o de separar las fases. El mismo se ilustra en la figura siguiente:

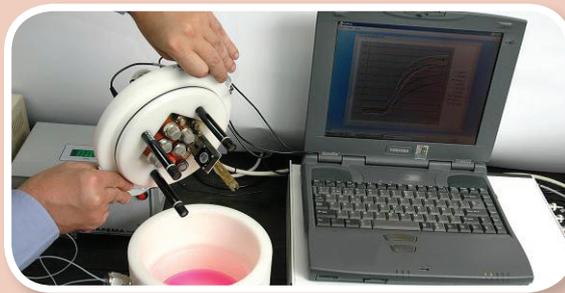
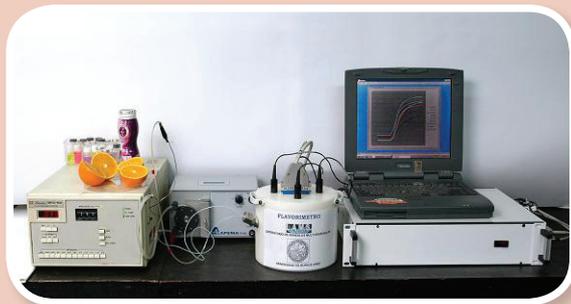


Figura 8: Flavorímetro patentado por UBA (izquierda, acoplado aun detector UV-Vis de cromatografía)

Utilizando el Flavorímetro fue posible discriminar vinos Malbec de cinco bodegas diferentes con un porcentaje de acierto del 90%, sin necesidad de emplear Redes Neuronales en el análisis Cabe destacar que el concepto subyacente es incorporar todas las sensaciones organolépticas asociadas con la "muestra", incluyendo no solo olor y sabor, sino también textura y color. La incorporación de sensores de textura y color podría entonces permitir el desarrollo de un nuevo dispositivo innovador que supere al Flavorímetro actual.

Narices Electrónicas en robots

Si bien se han desarrollado algunos sistemas, la incorporación de "olfato" y "gusto" en robots está en sus comienzos. Por ejemplo, un grupo de ingenieros de China (Zhang et al, 2008) diseñaron una "cavidad nasal" para acoplar una Nariz Electrónica a un Robot. La cavidad está inspirada en la cavidad de los mamíferos, tiene forma alargada como la de los caninos, con una sección de preconcentración de gases. Investigadores de las universidades de Tübingen (Alemania) y Orebro (Suecia) (Dres. Lilienthal y Duckett) colocaron sensores de gases dentro de tubos ubicados al costado de un robot móvil (de los llamados "Koala"), con un ventilador de aspiración, que envía el olor hasta los sensores (ver siguiente figura).

El grupo de Udo Weimar en la Universidad de Tübingen (Alemania) desarrolló un equipo móvil denominado Robonose (<http://www.escape-project.org/somefiles/weimar.pdf>) que contiene no solamente un sistema para discriminar gases, si no también un dispositivo ultrasónico para determinar distancias a objetos y un sistema de visión:

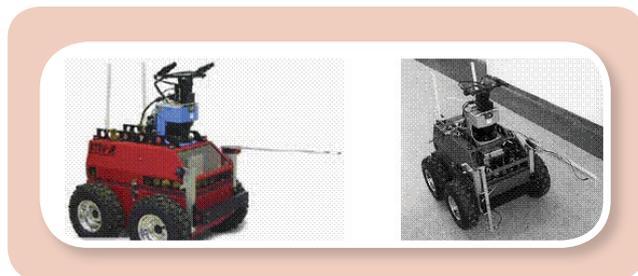


Figura 10: Robot diseñado por la Universidad de Tübingen, conteniendo una nariz electrónica.

En estos sistemas el principal desafío no es solo detectar la presencia del gas, sino y principalmente, desde dónde proviene. Matemáticamente se trata de determinar el "gradiente" de olor, o sea la dirección en el espacio de máxima variación del olor.

Pieles Electrónicas

Una Piel Electrónica es un dispositivo cuyos mínimos requisitos son que sea flexible y que proporcione un mapa de las presiones que recibe. Sin embargo, una piel no solamente determina un mapa de presiones, si no también de temperatura, humedad, esfuerzos de corte y fricción. Alcanzar estos objetivos es todavía un hecho lejano, si bien los avances han sido significativos (Wettels et la, 2008). Al presente las investigaciones están dirigidas a obtener mapas de presión empleando "electrónica flexible", es decir donde una serie de sensores de presión de dimensiones milimétricas son incorporados, junto con todas las "pistas" eléctricas necesarias, en una superficie flexible (silicona) que se puede adaptar para agarrar objetos. Este es un campo creciente de investigación y es la primera etapa para incorporar estos dispositivos en un robot.

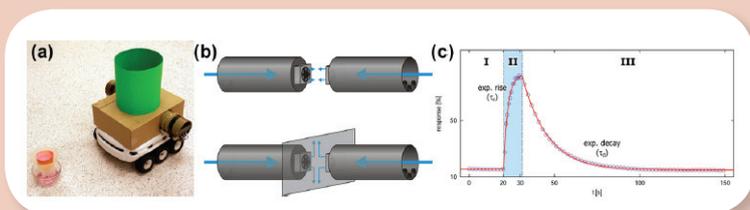


Figura 9: (a): Robot Koala (<http://www.k-team.com>) con una Nariz Electrónica desarrollada en los grupos del Dr. Achim Lilienthal (Universidad de Tübingen) y el Dr. T. Duckett (Universidad de Orebro). (b) Sistema de aspiración de olores desde el ambiente hacia Koala. (c) Variación de la señal con de uno de los sensores (ordenada) en función del tiempo a medida que el sensor atraviesa una pluma de olor.

En los Estados Unidos cabe destacar los avances obtenidos por los grupos de Zhenan Bao (Universidad de Stanford; Mannsfeld et al, 2010), Sigurd Wagner (Universidad de Princeton; Kunigunde et al, 2009; Graz et al, 2009), Chan Liu (Universidad de Illinois en Urbana-Champaign; Engel et al, 2005). Algunos ejemplos de electrónica flexible se ven en las siguientes figuras (Katragadda et al, 2008; Yang et al, 2008):

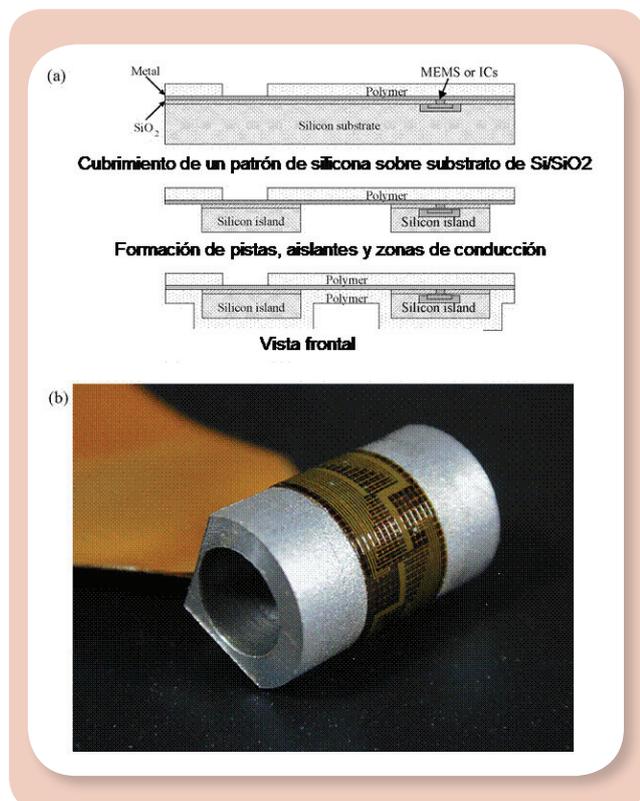


Figura 11: Electrónica "flexible". Adaptado de R.B. Katragadda, Y. Xu / *Sensors and Actuators A* 143 (2008) 169–174. En la figura (a) se resalta el uso e la tecnología usual de microelectrónica para depositar láminas flexibles de silicón sobre obleas de silicio, formando las conexiones de sensores de presión. En la figura (b) el sistema anterior es arrollado sobre un bloque de aluminio para ilustrar la flexibilidad del sistema.

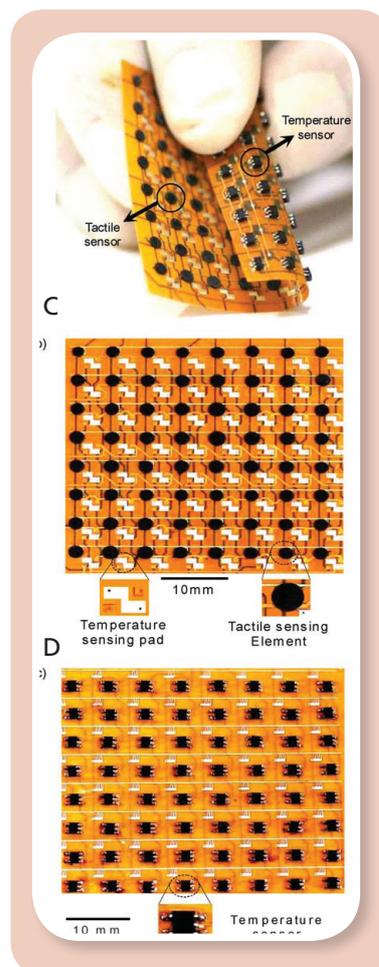
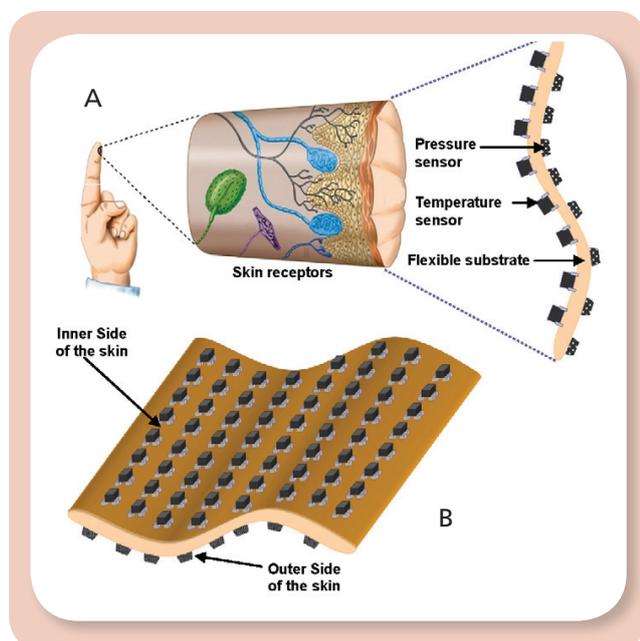


Figura 12: Electrónica "flexible" con sensores de presión para mapeo táctil. Adaptado de Y.-J. Yang et al. (2008) / *Sensors and Actuators A* 143 (2008) 143–153. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Taiwán. A: Esquema de los sensores de presión y temperatura en la piel humana. B y C: Modelado de la piel en un sustrato elástico, observando que de un lado se colocaron sensores de temperatura y del otro los sensores táctiles. D: detalle del arreglo. Nótese que la distancia entre sensores vecinos es menor a 10 mm

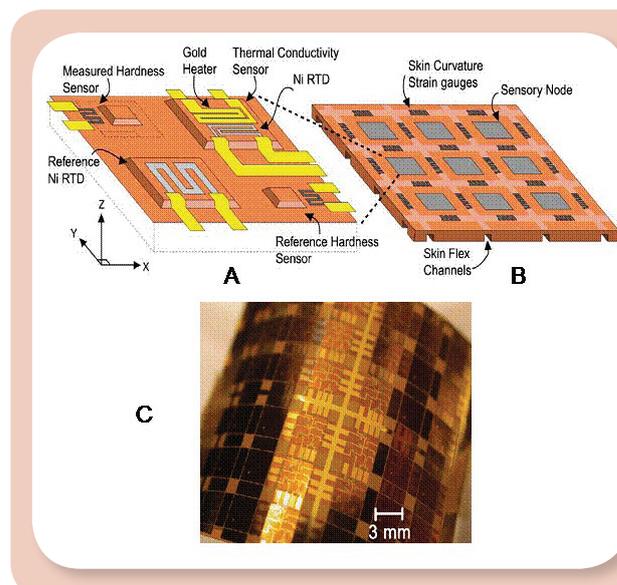


Figura 13: Electrónica flexible, incorporando sensores de temperatura. Adaptado de J. Engel et al. / *Sensors and Actuators A* 117 (2005) 50–61. Laboratorio de Micro y Nano Tecnología, Universidad e Illinois en Urbana-Champaign. A y B: esquemático de la disposición de sensores táctiles (hardness) y de conductividad térmica. C: fotografía de la "piel", ilustrando su flexibilidad.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

El siguiente paso es, como se mencionó, incorporar las pieles en robots. Entre los principales investigadores, responsables de grupos de investigación en esta área, se puede mencionar a Takao Someya (Universidad de Tokio; Sundar et al, 2004) y Ali Javey (Universidad de Berkeley; Takei et al, 2010). El grupo de Takao Someya en Tokio diseñó una mano como la ilustrada en la siguiente figura, mientras que el de Zhenan Bao (Stanford) un sistema (array) de sensores táctiles que permite detectar cuando se posa una mariposa:

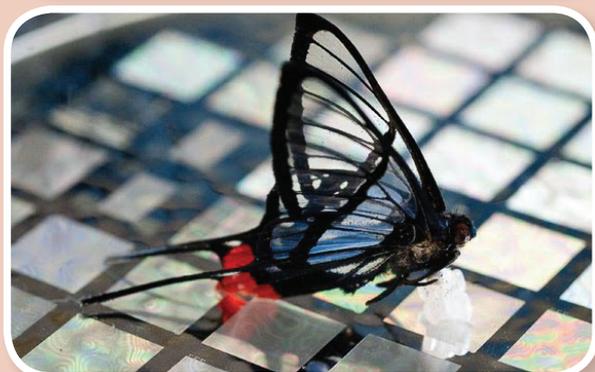


Figura 14: Arriba: mano robótica Adaptado de <http://www.ntech.t.u-tokyo.ac.jp>; Quantum Phase Electronics Center, Facultad de Ingeniería, Universidad de Tokio. Abajo: arreglo de sensores táctiles que detectan cuando se posa una mariposa (Zhanon Bao, Universidad de Stanford).

El grupo de Javey en Berkeley, diseñó arreglos de transistores de bajo consumo (Takei et al, 2010), mientras que el de Zhenan Bao se concentró en optimizar la sensibilidad a la presión aplicada aún a costo de mayor consumo eléctrico. La NASA ha desarrollado un robot para misiones espaciales, denominado *Robonaut*, que utiliza dedos sensibles a presión, con sensores provistos por la compañía inglesa Peratech:



Figura 15: Robonauta, <http://robonaut.jsc.nasa.gov/default.asp>

Finalmente, con el fin de ilustrar la integración de diferentes sensores en robots, se muestran dos robots diseñados para jugar ajedrez “en persona”. Estos robots contienen sensores ópticos y sistemas de reconocimiento visual (ver las piezas), sensores de presión (sujetar la pieza sin romperla), además de utilizar programas de juego de última generación que actualmente superan ampliamente en nivel de juego a todos los grandes maestros.

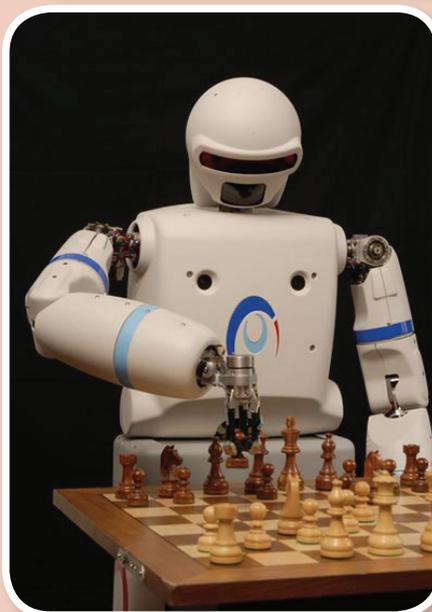


Figura 16: Izquierda: Robot haciendo demostración de simultáneas contra dos grandes maestros en el Campeonato Ruso de Ajedrez Masculino, diciembre 2010 (adaptado de www.chessbase.com). Derecha: Robot ajedrecista de PAL Technology Robotics.

Conclusiones

El diseño de nuevos y variados elementos de reconocimiento híbridos biológicos y sintéticos empleando nuevas tecnologías y asociado a la imitación de los mecanismos biológicos, han permitido en las dos últimas décadas una evolución considerable en la obtención de nuevos biosensores y arreglos de sensores, que emulan mecanismos y procesos naturales a los cuales se les da un sesgo más analítico, con aplicaciones diversas en diagnóstico médico, farmacéutica, biorremediación y control ambiental, etc.

El área de sensores y dispositivos inspirados en los sentidos humanos es un área transversal de investigación y desarrollo, que atraviesa los campos de química, física, biología, matemática aplicada e ingeniería. Incluye disciplinas en ciencias de materiales, nanotecnología, microelectrónica, computación y robótica. Las aplicaciones son muy extensas y cada vez se irán ampliando más, en vinculación con los desafíos tecnológicos y las diferentes necesidades en controles de calidad, seguridad ambiental, manipulación industrial, investigación espacial, medicina, etc. En particular, dado que los desarrollos e investigaciones en el área de robótica han crecido exponencialmente en los últimos años, la integración de biosensores y arreglos de sensores con la robótica generan un área de investigación y desarrollo donde es difícil percibir un techo o límite para la imaginación.

La química juega un papel central: síntesis de macromoléculas como agentes activos en la detección de diferentes analitos (ionóforos, agentes quelantes, compuestos corona, etc.), obtención de nuevos materiales orgánicos e inorgánicos para su incorporación en sensores (nanotubos modificados, polímeros conductores) modificación de superficies (sistemas autoensamblados), formación de compósitos cerámicos para microelectrónica (transistores de efecto campo, celdas solares, sensores de gases), producción de macromoléculas luminiscentes, etc. La exploración de estas áreas constituye un desafío permanente para la química, dentro de un contexto altamente interdisciplinario como medio de resolver los problemas de alta complejidad que se plantean actualmente en las áreas de energías alternativas, alimentos y salud. Esto requiere la necesidad de formación de recursos humanos con conocimientos académicos y técnicos, así como con capacidad de innovar y buscar nuevas rutas de conocimiento.

Agradecimientos

Dr. Martín Negri es miembro de la Carrera de Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Sus trabajos de investigación reciben financiación de CONICET (PIP-01210), ANPCyT (PICT 2006-568) y UBACyT (X157).

Referencias bibliográficas:

- Branca, A. P.Simonian, M.Ferrante, E.Novas, R.M.Negri. "Electronic Nose Based Discrimination of a Perfumery Compound in a Fragrance". *Sensors & Actuators B, Chemistry* (2003). 92, 222-227.
- Diz, V., M. Cassanello, R.M.Negri. "Detection and discrimination of phenol and primary alcohols in water using electronic noses". *Environmental Science & Technology* (2006). 40(19); 6058-6063.
- Engel, J., J. Chen, Z. Fan, C. Liu. "Polymer micromachined multimodal tactile sensors". *Sensors and Actuators A* (2005) 117, 50-61
- Graz, I.,M.. Krause, S. Bauer-Gogonea, S. Bauer, S. P. Lacour, B.Ploss, M. Zirkl, B.Stadlober, S. Wagner. "Flexible active-matrix cells with selectively poled bifunctional polymer-ceramic nanocomposite for pressure and temperature sensing skin". *J. Appl. Phys.* (2009);106, 034503.
- Katragadda,R.B., Yong Xu. "A novel intelligent textile technology based on silicon flexible skins". *Sensors and Actuators A* (2008) 143, 169-174.
- Kunigunde H. Cherenack, Alex Z. Kattamis, Bahman Hekmatshoar, James C. Sturm and Sigurd Wagner, Amorphous Silicon Thin-Film Transistors made on Clear Plastic at 300 °C, *J. Korean Phys. Soc.*, 54, 415-420 (2009).
- Lovino, M., M.F.Cardinal, D.B.V.Zubiri and D.L.Bernik. "Electronic nose screening of ethanol release during sol-gel encapsulation. A novel non-invasive method to test silica polymerisation" *Biosensors & Bioelectronics* 21 (2005) 857-862.
- Mannsfeld, S.C.B., B.C-K. Tee, R.M. Stoltenberg, C.V. H-H. Chen, S. Barman, B.V. O. Muir, A. N. Sokolov, C.Reese, Z. Bao. "Highly sensitive flexible pressure sensors with microstructured rubber dielectric layers". *Nature Materials* (2010), 9, 859-864.
- Misawa, N., H. Mitsuno, R.Kanzaki, S.Takeuchi. "Highly sensitive and selective odorant sensor using living cells expressing insect olfactory receptors". *Proceedings of the National Academy of Sciences PNAS* (2010) 107 (35) 15340-15344.
- Monge, M.E. D.Bulone, D.Giacomazza, D.L.Bernik, R.M.Negri. "Detection of Flavour Release form Pectin Gels Using Electronic Noses". *Sensors & Actuators B, Chemistry* (2004-a). 101, 28-38.
- Monge, M.E., D.Bulone, D.Giacomazza, R.M.Negri, D.L.Bernik. " Electronic Nose Screening of Limonene Release from Multicomponent Essential Oils Encapsulated in Pectin Gels" *Comb. Chem. & High Throughput Screening.* (2004-b). 7, 337-344.
- Monge, M.E., R.M.Negri, D.Giacomazza, D.Bulone. "Correlation between rheological properties and limonene release in pectin gels using an electronic nose". *Food Hydrocolloids* (2008) 22, 916-924.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

Negri, R.M. Patente concedida en Estados Unidos (United States Patents & Trademarks Office, USPTO): "Device for analysing matter" N° 7,103,481. Propietaria: UBA. Inventor: R.M.Negri.2007.

Negri, R.M. Patente concedida en Argentina (INPI), AR043163B1. Propietaria: UBA. Inventor: R.M.Negri. 2007.

Negri, R.M., D.L. Bernik. "Tracking the sex pheromone of codling moth against a background of host volatiles with an electronic nose". *Crop Protection* (2008) 27, 1295-1302.

O'Connell, M., G.Valdora, G.Peltzer, R.M.Negri. "A practical approach for fish freshness studies using a portable electronic nose". *Sensors & Actuators B, Chemistry* (2001) 80, 149-154.

Rodriguez, S.D., M.E.Monge, A.C.Olivieri, R.M.Negri, D.L.Bernik "Time Dependence of the Aroma Pattern Emitted by an Encapsulated Essence Studied by means of Electronic Noses and Chemometric Analysis". *Food Research International*, (2010) 43, 797 – 804.

Sundar, V. C., J. Zaumseil, V. Podzorov, E. Menard, R. L. Willett, T. Someya, M. E. Gershenson, J. A. Rogers, "Elastomeric transistor stamps: Reversible probing of charge transport in organic crystals", *Science* (2004), 303 (5664), 1644-1646.

Takei, K., T. Takahashi, J.C. Ho, H.Ko, A.G. Gillies, P.W. Leu, R. S.Fearing, A.li Javey. "Nanowire active-matrix circuitry for low-voltage macroscale artificial skin". *Nature Material* (2010), 9, 821 - 826.

Wettels, N., V. J. Santos, R. S. Johansson, G. E. Loeb. "Biomimetic Tactile Sensor Array". *Advanced Robotics, "Special Issue on Tactile Feedback for Humanoids and Humans,"* Vol. 22, No. 7 (June 2008).

Yang, Y.-J., M.-Y. Cheng, W.-Y. Chang, L.-C. Tsao, S.-A. Yang, W.-P. Shih, F.-Y. Chang, S.-H. Chang, K.-C. Fan. "An integrated flexible temperature and tactile sensing array using PI-copper films". *Sensors and Actuators A* (2008)143, 143–153.

Zhang, X, M.Zhang. "Design of a Bionic Electronic Nose for Robot". 2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management.

23 DE LOS PLÁSTICOS QUE CONDUCE LA ELECTRICIDAD Y LA ELECTRÓNICA MOLECULAR. EL VALOR DE LA CIENCIA INESPERADA

Dra. Andrea Bruttomesso

Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad de Buenos Aires.

Email: aachiocc@qo.fcen.uba.ar

"El conocimiento en profundidad y extensión es prerrequisito indispensable. A menos que la mente esté concienzudamente cargada, la proverbial chispa del genio, si se manifestara, probablemente no encontraría nada que prender" (Paul Flory, Premio Nobel Química 1974)¹

¿En qué momento la ciencia ficción deja de serlo y pasa a ser ciencia? ¿Con qué velocidad lo que ayer pertenecía sólo a la imaginación, con los nuevos avances tecnológicos, hoy se ha transformado en artículos de uso diario y uno ya no les presta más atención?

La investigación científica y el desarrollo tecnológico se asocian en nuestras mentes con proyectos cuidadosamente planificados, financiados, coordinados y llevados a cabo. Proyectos que, finalmente, desembocan en descubrimientos, productos, inventos o dispositivos que nos cambian la vida. Y algo de verdad hay en ese estereotipo.

Sin embargo, muy a menudo, los descubrimientos más significativos, los productos más útiles e incluso los materiales o inventos más revolucionarios se cuecen en cocinas insospechadas.

¿Cuánto tienen que ver el azar y la sagacidad en los más increíbles adelantos tecnológicos?

De vez en cuando la ciencia da un salto hacia adelante. Recordemos...

Hasta hace poco, por ejemplo, los teléfonos (en los '70) eran enormes aparatos de color negro o gris en los que la marcación se realizaba levantando el auricular y haciendo girar el disco. Aún hoy, queda alguno funcionando.

¿Alguien se acuerda de la Commodore 64? Una computadora doméstica de 8 bits y 64 kilobites de RAM muy avanzada en los '80, con gráficos y sonido muy por encima de otros equipos contemporáneos. Usaba un monitor blanco y negro de rayos catódicos y tenía una tecla especial, la tecla Commodore, que daba muchas funciones al presionarla combinada con otras teclas, al igual que los actuales teclados con el logo de Windows o de Apple.



Figura 1: Tecnología décadas '70 y '80.²

¿Quién podría siquiera imaginar mirando Viaje a las Estrellas, en los '60, que la electrónica avanzaría tan deprisa que los teléfonos no sólo dejarían de ser "alámbricos" sino que podríamos tener un celular réplica de la famosa serie? Hasta el pobre Superman, que quienes lo idearon podían hacerlo volar pero no pudieron desprenderse de la idea de los teléfonos alámbricos, tuvo que cambiar de vestidor, desde los '80 hasta el 2006 su última aventura (Paenza, 2011).

La verdad es que hay momentos en los que la ciencia de los humanos, la nuestra, la única que tenemos, alcanza a rozar la fantasía, perdemos de vista la frontera y llegamos a creer que todo es posible (Paenza, 2011).

Pero miremos un poco detrás de bambalinas, una historia acerca de cómo el azar y la investigación científica de personas reales se mezclan para hacer real lo imaginable.

El Premio Nobel de Química del año 2000 fue concedido al químico japonés Hideki Shirakawa (por aquel entonces, Instituto Tecnológico de Tokio), el neozelandés Alan G. MacDiarmid (Universidad de Pensilvania, Filadelfia) y al físico estadounidense Alan J. Heeger (Universidad de California, Santa Bárbara) (Figura 2)³.



Alan J. Heeger Universidad de California, Santa Barbara, EEUU. Hideki Shirakawa Universidad de Tsukuba, Japón. Alan G. MacDiarmid Universidad de Pensilvania, Philadelphia, EEUU.

Figura 2: Premio Nobel de Química 2000.⁴

1. En 1974 le fue concedido el Premio Nobel de Química por sus estudios, teóricos y prácticos, en la fisicoquímica de las macromoléculas. Cita extraída de Roberts (1989).

2. <http://www.inetgiant.com.mx/addetails/telefono-antiguo-de-pared/305862>, <http://elpilotohernan.wordpress.com/2011/02/04/drean-commodore-64/>

3. Academia Sueca, para más información puede visitarse su página web: <http://www.nobelprize.org/chemistry/laureates/2000/index.html>.

4. <http://www.fisicanet.com.ar/biografias/nobelquimica/bibliografias3/heeger.php>, <http://www.fisicanet.com.ar/biografias/nobelquimica/bibliografias3/shirakawa.php>, http://www.ingenieriaplastica.com/novedades_ip/Noticias_mercado/archivo/Nobel_quimica.html

¿Qué descubrieron estos científicos para que se les otorgue el Premio Nobel?

Tradicionalmente se ha tenido la idea de considerar a los polímeros “plásticos” como materiales opuestos a los metales. Prueba de ello, ha sido su empleo como materiales aislantes en recubrimientos de cables eléctricos como protección frente a posibles cortocircuitos.

Los polímeros sintetizados por los químicos cambiaron de manera histórica muchas actividades humanas a mediados del siglo XX. Los plásticos por sus propiedades mecánicas, aislantes y térmicas han invadido sectores amplios sectores de la industria química en la producción de infinidad de materiales.⁵

Existen, también, polímeros naturales de gran importancia en biología: los carbohidratos, las proteínas, los ácidos nucleicos.

Recordemos que un polímero está formado por moléculas que repiten su estructura en forma periódica, dando como resultado una cadena muy larga. Un compuesto orgánico (monómero M) puede unirse a otro igual sucesivamente formando cadenas largas conocidas como polímeros



Los principales componentes de dichas moléculas son átomos de carbono e hidrógeno, además de otros elementos como el nitrógeno, el azufre, el oxígeno y el cloro. Ninguno de estos elementos se destaca como buen conductor de la electricidad.

¿Es posible, entonces, la existencia de un material plástico que pueda tener la propiedad de la conductividad eléctrica o es posible un metal que no pese más que una pluma?

Suena como a un mundo al revés.

El plástico es liviano, barato y es un aislante eléctrico. El metal es resistente y conduce la electricidad, pero también es caro y pesado. Hasta ahora, no había sido posible combinar las propiedades de estos dos materiales.

Un material con estas características poseería un gran valor científico y tecnológico, ya que en ellos se combinarían las propiedades tecnológicamente más relevantes de los polímeros y de los metales, es decir, una gran resistencia mecánica, flexibilidad, ligereza, una alta conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión, bajo costo de fabricación y fácil preparación.

Esta idea, que a principios del Siglo XX era inimaginable, es hoy una realidad, gracias al descubrimiento realizado por Sirakawa, McDiarmid y Heeger (Figura 3).



Figura 3: Polímeros aislantes o conductores. (adaptado de Nazario, 2009)

Veamos cómo fue la historia...

En el año 1977 un estudiante de Hideki Shirakawa estaba sintetizando un polímero conocido como poliacetileno, a partir de acetileno. En lugar de obtener el polímero usual original, que tiene una apariencia de polvo oscuro y opaco, el estudiante obtuvo una película lustrosa, similar al aluminio pero, al mismo tiempo, plegadiza, como el plástico que se utiliza en las envolturas de productos comerciales. Y lo más sorprendente es que la película obtenida presentaba además una conductividad elevada. Al investigar el origen de estos sorprendentes cambios resultó que tal sustancia había sido originada por un error (Shirakawa, 1977 a) y b)).

Durante el proceso de polimerización el estudiante había agregado una cantidad mil veces superior del catalizador requerido en el protocolo de la síntesis.

Aunque la función del catalizador es favorecer la reacción de polimerización, una cantidad excesiva de este reactivo provocó importantes cambios en la estructura del polímero, volviéndolo conductor. Además variando las condiciones y empleando un catalizador Ziegler-Natta, pudieron controlar la geometría del producto obtenido (láminas de aspecto metálico, flexibles y plateadas: trans-poliacetileno ó de color cobre: cis-poliacetileno (Shirakawa, 1971; Shirakawa, 1974) (Figura 4).

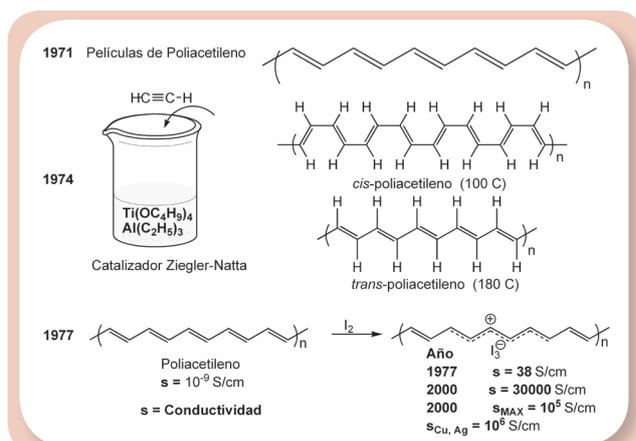


Figura 4: Desarrollo de los polímeros conductores de la electricidad.

5. Ver capítulo de Fascio, Lamanna y D'Accorso (2011), POLÍMEROS: DESDE GOODYEAR HASTA LOS MICROCHIPS, en este libro Química y Civilización.

El descubrimiento de Shirakawa interesó al químico neozelandés Alan G. MacDiarmid y al físico estadounidense Alan J. Heeger, con los que inició una fructífera relación científica e investigadora que dio como resultado la publicación conjunta del artículo *Síntesis de polímeros orgánicos conductores de la electricidad: derivados del poliacetileno* ($(CH)_n$, en el prestigioso *Journal of Chemical Society* en el verano de 1977, en el cual anunciaban el descubrimiento del poliacetileno conductor (Shirakawa, 1977 a)).

Con este revolucionario descubrimiento se inicia la era de los *metales sintéticos*, que abre todo un nuevo campo de investigación interdisciplinario donde participan químicos, físicos e ingenieros (Brédas, 1998; Nalwa, 1997; Skotheim, 1998; Roth, 2004).

Los primeros trabajos sobre polímeros conjugados semiconductores aparecen en la segunda mitad del Siglo XIX (aunque aún no se conocía que los materiales sintetizados eran polímeros). Ya en 1862, H. Letheby, del Hospital Universitario de Londres, obtuvo un material parcialmente conductor, probablemente polianilina. Sustancia que se denominó negro de anilina y fue muy utilizada en imprentas y en todo tipo de tintes (Letheby, 1862; Huang, 1986).

El poliacetileno ya era conocido en los años 50 como un sólido negro infusible, insoluble e intratable. En 1974, se sintetizó poliacetileno con brillo metálico pero no conductor; y como se dijo, en 1977 se sintetizó el primer polímero (poliacetileno) conductor (Figura 4) (Shirakawa, 1971; Shirakawa, 1974).

¿Pero cómo se conduce la electricidad en un polímero como el poliacetileno?

La conductividad eléctrica en los metales depende de la concentración de electrones libres dentro del material. Estos electrones se llaman *electrones de conducción*. Ellos no están unidos a los átomos individuales, ni tampoco participan en los enlaces químicos entre los átomos, sino que crean una especie de "gas (o mar, o sopa) de electrones libres", los que se mueven con facilidad a través del material bajo la influencia de la tensión eléctrica. Metales como el cobre, la plata y el hierro tienen un gran número de electrones de conducción y son excelentes conductores. Por otro lado, los materiales aislantes, como la madera o los materiales plásticos no poseen electrones de conducción (los electrones están involucrados en las uniones entre los átomos).

Para ser conductor de la electricidad, un polímero como el poliacetileno ha de imitar al metal, es decir, los electrones deben moverse libremente a través de la molécula y no estar vinculados a un único átomo. Para ello, el polímero debe poseer una estructura de enlaces carbono-carbono sencillos (C-C), alternados con enlaces carbono-carbono dobles (C=C) a lo largo de la cadena de la molécula polimérica, es decir formando enlaces conjugados.⁶

Dicha estructura no es suficiente. Para ser conductor, el plástico ha de ser alterado, bien mediante la eliminación de electrones (oxidación), o bien insertando electrones (reducción). Esta técnica se denomina contaminación o dopado y es muy conocida en la industria de los semiconductores. Se agregan sustancias que actúan sustrayendo o cediendo electrones libres a los enlaces poliméricos (Figura 5).

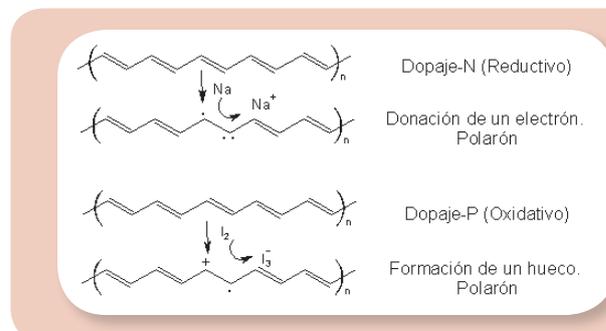


Figura 5: Dopaje de poliacetileno: El sodio cede un electrón a la cadena poliinsaturada; o el yodo saca un electrón a la cadena.

En ambos casos la cadena del polímero se torna eléctricamente inestable y, al aplicar una diferencia de potencial, los electrones se desplazan por el polímero. En el polímero original los electrones no pueden moverse, al oxidarse se produce un vacío o "hueco". Los electrones se mueven entonces desde su posición al agujero dejado vacante por otro. Esto crea un movimiento electrónico a lo largo de la molécula, la corriente eléctrica (Figura 6) (Ramírez Andreu, 2008).

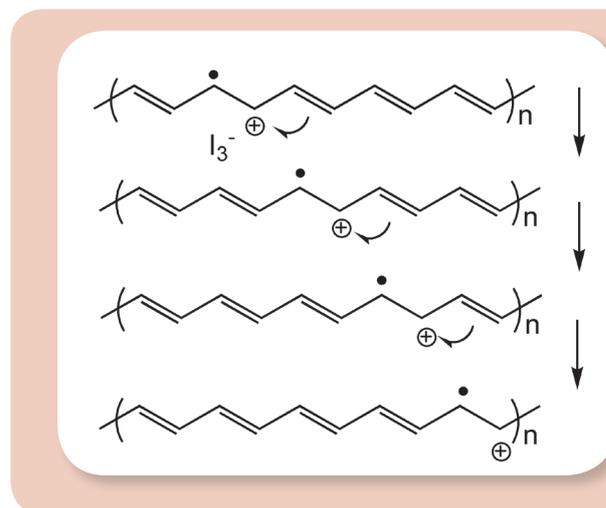


Figura 6: Conducción electrónica en la cadena del poliacetileno: las flechas señalan la secuencia temporal en la que se va produciendo el sucesivo desplazamiento de pares de electrones p (de un doble enlace), para cubrir la deficiencia de carga positiva.

Estas cadenas de enlaces covalentes conjugados, permiten la formación de bandas de conducción. Sin embargo, los polímeros orgánicos presentan irregularidades, como torceduras de las cadenas moleculares,

6. Los dobles enlaces tienen un par de electrones π . Una cadena carbonada conjugada es aquella que tiene una unión simple entre carbonos seguida de otra doble, luego nuevamente simple y la siguiente doble; y así sucesivamente.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

etc., que interrumpen la conducción. Por lo tanto, en los polímeros orgánicos la conducción se da por bandas de energía dentro de las cadenas individuales, o dentro de los segmentos de cadenas poliméricas que no presentan irregularidades, pero entre las cadenas o entre las interrupciones, la conducción, se da por saltos cuánticos, efecto túnel o *hopping* (Figura 7) (Inzelt, 2000; Shirakawa, 1977 a y b).

Para que el material sea buen conductor, los electrones necesitan circular libremente. Es decir, requieren acceso a los "estados vacíos".

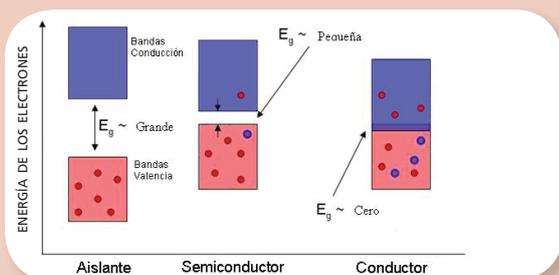


Figura 7: Diagrama simplificado de los niveles de energía para Bandas de Conducción y Bandas de Valencia para diferentes materiales. (Rojo= electrones, azul= huecos)⁷

Un tipo adicional de materiales pertenecientes a la zona intermedia entre los metales y aislantes son los *semiconductores* como el silicio (también los polímeros conjugados sin dopar).

En estos materiales la conductividad puede cambiar en muchos órdenes de magnitud por un cambio de temperatura o por la inserción controlada de impurezas.

Desde mediados de los años 50, cuando *Texas Instruments* desarrolló el primer transistor de silicio, los materiales semiconductores han reinado en los chips de las computadoras. Estos produjeron toda una revolución tecnológica e industrial y fueron los materiales más empleados en la fabricación de dispositivos electrónicos (abarcando desde supercomputadoras a relojes digitales, etc.). A pesar de las numerosas mejoras técnicas logradas con muchos años de investigación y desarrollo, el silicio sigue siendo caro y delicado y los polímeros conductores se presentan hoy día como serios competidores gracias a su bajo costo.

En conclusión, lo que Heeger, MacDiarmid y Shirakawa descubrieron fue que si una delgada película de poliacetileno se oxidaba con vapores de yodo, su conductividad aumentaba mil millones de veces, un incremento de 7 órdenes de magnitud sobre el material sin dopar, pasando a tener así propiedades dentro del rango de la conductividad metálica (Shirakawa, 1977 a y b).

En la historia de la humanidad era la primera vez que se disponía de un material con una propiedad que podía variar su conductividad de forma continua y controlada en un rango tan amplio. Considerando además la baja densidad del polímero y la alta densidad de los metales, si se compara a igualdad de masas, se llega a la conclusión de que este poliacetileno dopado supera con creces la conductividad específica de los metales (Figura 4).

¿Tiene alguna desventaja este poliacetileno modificado?

Como consecuencia directa de la rígida estructura del sistema conjugado, el poliacetileno es difícil de procesar y también es ambientalmente inestable, lo que limita sus aplicaciones. Esto impulsó el desarrollo de nuevas familias de compuestos con grupos aromáticos y heteroaromáticos que presentaron una mayor estabilidad ambiental. Los ejemplos de polímeros conductores más conocidos y más estudiados, además del poliacetileno, son: polipirrol, politiofeno, polianilina y polifenileno (Díaz, 1979; Díaz, 1981; Kanazawa, 1979; MacDiarmid, 1985; Kobayashi, 1984) (Figura 8).

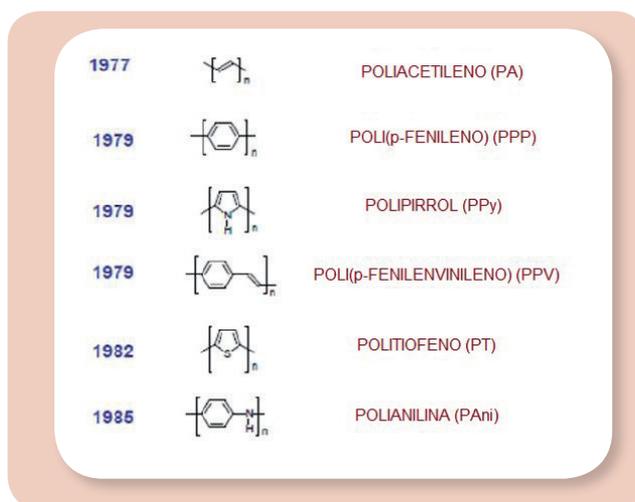


Figura 8: Estructura de polímeros conductores. (Nazario, 2009)

Actualmente está en pleno desarrollo la "tercera generación" de polímeros conductores: sistemas poliméricos basados en la funcionalización específica de los anillos aromáticos, la introducción de cadenas hidrocarbonadas laterales o en la introducción de otras unidades como dobles y triples enlaces entre las unidades cíclicas, obteniéndose una mayor modulación de la movilidad electrónica (Graf, 1997; Otero, 1998; Jen, 1986; Sato, 1986; Hotta, 1987; Zimmer, 1987; Ruiz Delgado; 2006).

En términos de conductividad, medida en Siemens (S), la diferencia entre buenos aislantes y buenos conductores es gigantesca⁸. Como comparación, podemos mencionar que buenos aislantes como el teflón o el

7. Las Bandas de Valencia corresponden a los niveles de energía ocupados por los electrones en estado basal. Imagen adaptada de: http://www.vikdhillon.staff.shef.ac.uk/teaching/phy217/detectors/phy217_det_semiconductor.html

8. Unidad de medida del SI para la conductividad, es la inversa de la resistencia eléctrica en Ohms.

poliestireno poseen conductividades muy cercanas a 0 (cero) S por centímetro, mientras que los buenos conductores como el cobre y la plata tienen conductividades de casi 1.000.000 S por centímetro. Algunos productos comerciales, derivados de una forma muy pura del poliacetileno, pueden llegar a tener una conductividad de hasta 200.000 S por centímetro (Figura 9).

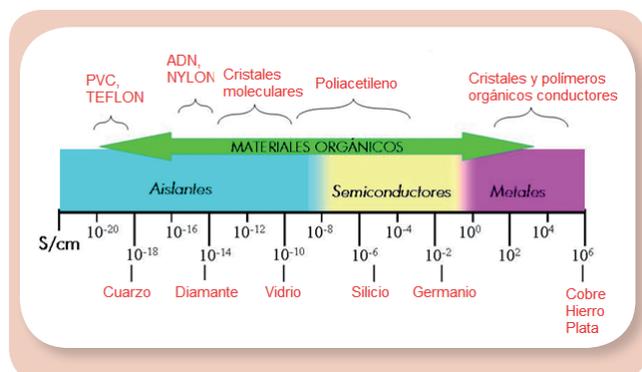


Figura 9.- Comparación de los valores de conductividad eléctrica de distintos materiales orgánicos (arriba) respecto a varios materiales inorgánicos (Ruiz Delgado, 2006)

¿Cuál es la importancia entonces de la conductividad específica de estos materiales?

Como se mencionó antes es muy importante la densidad de los materiales en cuestión. Tanto el cobre como la plata son mucho más densos que el poliacetileno; por lo tanto, si la comparación es realizada a masas iguales, la conductividad del polímero duplica a la del cobre. Esta propiedad es de especial importancia en aplicaciones donde el peso resulta crítico, como es el caso de los transportes aéreos y espaciales. Gracias a las numerosas investigaciones que se han llevado a cabo desde el descubrimiento del primer *polímero conductor*, la idea de que los compuestos orgánicos posean conductividades dentro de un rango tan extenso como en el caso de los materiales inorgánicos, deja de ser algo considerado como prácticamente "ciencia ficción" años atrás, para convertirse en toda una realidad.

¿Cuáles son las aplicaciones tecnológicas más importantes y qué otras propiedades tienen estos materiales?

Una de las grandes ventajas que ofrece este tipo de compuestos es la posibilidad de modular dichas propiedades mediante la introducción de sustituyentes y heteroátomos, así como el nivel de dopado. Estos materiales combinan las propiedades electrónicas y ópticas de los metales y los semiconductores con las interesantes propiedades mecánicas y las ventajas de procesamiento de los polímeros. Las propiedades como la conductividad eléctrica, las transiciones metal-aislante a bajas temperaturas, la posibilidad de ser dopados reversiblemente, etc, hacen de estos materiales componentes electrónicos útiles para el desarrollo de baterías, sensores (narices y lenguas electrónicas)⁹, dis-

positivos electrónicos (diodos, transistores) o células fotovoltaicas (Potember, 1987; Pearce, 2003; Kraft, 1998; Friend, 1999; Dimitrakopoulos, 2002; Yu, 1995; Cano Luna, 2008).

Los polímeros conductores son materiales con enormes posibilidades de aplicación. Ser sustitutos del cobre y otros metales para por ejemplo ser aplicados en la construcción de pantallas de teléfonos celulares y de computadoras portátiles, o para ser utilizados como nervios artificiales, que serían prácticamente inertes dentro del cuerpo humano (Fernández-Otero, 1998; Fernández-Otero, 2003).

La propiedad de disipar las cargas electrostáticas los hace útiles para el apantallamiento electromagnético sirviendo como protección para evitar interferencias entre las señales eléctricas que producen distintos aparatos como, por ejemplo, el instrumental de un avión y los equipos portátiles electrónicos que poseen los pasajeros (por eso, durante el despegue y el aterrizaje, se les pide a los pasajeros que apaguen sus equipos electrónicos) (Naarmann, 2002)

POLÍMEROS DOPADOS

- Materiales antiestáticos
- Cubiertas anticorrosión
- Capacitores electrolíticos
- Baterías
- Ventanas inteligentes
- Sensores

POLÍMEROS NO-DOPADOS

- Diodos emisores de luz
- Fotodiodos
- Células solares
- Láseres
- Materiales para ONL
- Sensores

Figura 10: Diferentes aplicaciones de polímeros conductores. (Nazario, 2009).

¿Pueden ser los polímeros conductores, emisores de luz?

Los cables metálicos que conducen la electricidad pueden emitir luz cuando una corriente eléctrica lo suficientemente fuerte está pasando. Los polímeros, en algunos casos, también pueden emitir luz, pero por otro principio, la electroluminiscencia. En la electroluminiscencia, la luz es emitida por una fina capa de polímero cuando está excitado por un campo eléctrico (Burroughes, 1990).

Tradicionalmente se utilizaban fotodiodos semiconductores de materiales inorgánicos, ahora también pueden utilizarse polímeros semiconductores. Estos fotodiodos en principio ahorran más energía y generan menos calor.

¿Es posible la variación en el color de la luz emitida?

La gran versatilidad de la Química Orgánica es muy importante en el diseño de nuevos sistemas. Esto abre la posibilidad de modular el color de emisión mediante la modificación de la estructura de los polímeros (Figura 11) (Burroughes, 1990, Argun, 2004).

9.. Ver Bernik y Negri (2011), capítulos QUÍMICA, BIOMIMÉTICA Y SENSORES. Partes I y II, respectivamente, en este libro Química y Civilización.

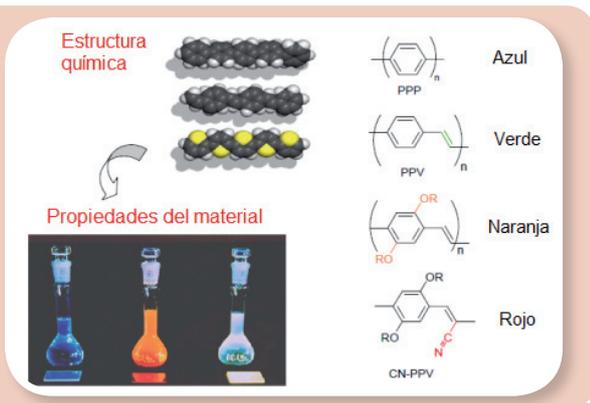


Figura 11: Estructura de los Polímeros y color de emisión (Nazario, 2009).

¿Qué es la tecnología OLED?

Un diodo orgánico de emisión de luz (OLED), es un diodo que posee una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan, a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos.

Existen muchas tecnologías OLED diferentes, tantas como la gran diversidad de estructuras (y materiales) que se han podido idear (e implementar) para contener y mantener la capa electroluminiscente, así como según el tipo de componentes orgánicos utilizados (Chamorro Posada, 2008; Vila, 2009)¹⁰.

En comparación con los LEDs inorgánicos las principales ventajas de los OLEDs son: menor costo, mayor escalabilidad, mayor rango de colores, más contrastes y brillos, mayor ángulo de visión, menor consumo y, en algunas tecnologías, flexibilidad. Pero la degradación de los materiales OLED han limitado su uso por el momento. Actualmente se está investigando para dar solución a estas limitaciones.

En el futuro esta tecnología puede reemplazar a la actual en la hegemonía de uso para pantallas de LCD y de plasma. Es importante tener en cuenta que los LEDs inorgánicos pueden verse como fuentes puntuales de luz, mientras que los OLEDs son superficies emisoras.

¿Cuáles son las aplicaciones de estos materiales en la Industria Electro-Óptica?

Los semiconductores tienen aplicaciones como componentes de: diodos emisores de luz, transistores, pantallas, celdas solares, sensores de luz y láseres.

Las pantallas de plásticos semiconductores tienen la ventaja de ser flexibles; por lo que podrían reemplazar a las pantallas de cristales líquidos que se utilizan en computadoras, teléfonos móviles y mini-televisores.



Figura 13: Productos y prototipos actuales basados en OLED (Nazario, 2009).

Las celdas solares elaboradas a partir de plásticos tendrán impacto en el problema energético, convirtiéndose en una alternativa de bajo costo para aprovechar la energía solar; dichas celdas tienen y tendrán aplicaciones en: invernaderos, industrias e incluso en casas.

Los semiconductores orgánicos poliméricos por sus características de ser solubles en solventes orgánicos conservando sus características semiconductoras pueden ser depositados en grandes áreas y permitir la fabricación de dispositivos como pantallas, papel electrónico, etc, aprovechando así las características mecánicas de flexibilidad propias de los polímeros.

El uso de plásticos semiconductores en el papel electrónico, que es una lámina de plástico flexible que puede desplegar información como un monitor de computadora portátil, en él se puede escribir y borrar llegando a ser utilizado hasta 1000 veces. Este "e-paper" fue creado por la compañía Xerox en el 2003. Figura 14.



Figura 12: Prototipo de pantalla de televisión con tecnología OLED ¹¹



Figura 14: Pantallas de papel electrónico a todo color, plegables. En algunas es posible escribir y borrar sobre ellas ¹²

10. Google, 2004, ¿Cómo funciona la tecnología OLED?, <http://www.oled-display.net/how-works-the-oled-technology>

11. <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/C2%BFque-hay-de-bueno-en-los-oled/>

12. <http://www.configurarequipo.com/doc1092.html>

Otro uso podría ser desde la señalización hasta incluso, como papel decorativo emisor de luz que recubre las paredes de nuestras habitaciones. Dado que estos materiales son sencillos y robustos pueden utilizarse para la fabricación de dispositivos no planos (Figura 15) (youtube, 2007).

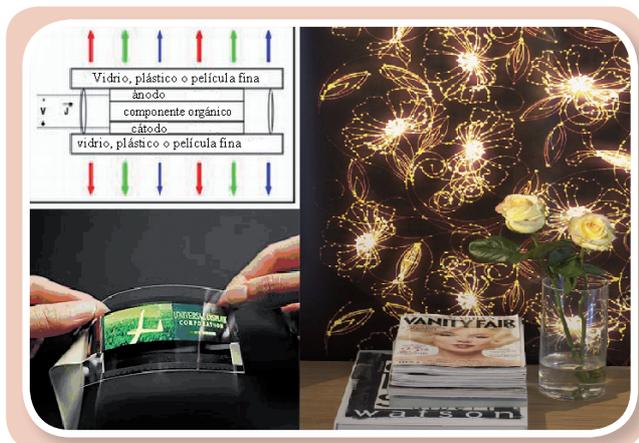


Figura 15: Estructura básica de un OLED. Aplicaciones en la fabricación de dispositivos no planos, como papeles luminosos a base de OLED¹³.

Además por necesitar de procesamientos menos cuidadosos y caros que su contraparte inorgánica, y por poder ser depositados por técnicas menos complejas permiten la fabricación de dispositivos electrónicos a más bajo costo, y plantas de ensamblaje menos complejas y costosas.

Y no piensen que todo se queda ahí ¿Qué aplicaciones futuras pueden imaginarse?

Las aplicaciones del OLED van a ser muchas y muy variadas. Un ejemplo: un teclado que en muy poco tiempo se estará comercializando con tecnología oled en sus teclas; de tal forma que éstas cambian su dibujo dependiendo del uso que le vayamos a dar al teclado, pasando de letras típicas a las propias de los juegos o programas que le hayamos definido (Figura 16).



Figura 16: Teclado con teclas basadas en OLED, en este caso configuradas para un juego¹⁴.

Otro ejemplo. Philips se encuentra trabajando en el desarrollo de paneles OLED transparentes, que podrían ser utilizados en diversas situaciones cotidianas

(Figura 17), como ventanas de una casa, donde se podría regular la entrada de la luz solar según el grado de transparencia que tenga el panel. Dado que estos paneles poseen bajo consumo y un alto contraste, podrían ser utilizados incluso como un nuevo sistema de iluminación. Se espera que este tipo de paneles puedan ser utilizados en unos 3 a 5 años.



Figura 17: Pantallas OLED transparentes¹⁵.

Y hay más !!

El desarrollo de toda un área de investigación en el campo de los músculos artificiales que tiene su origen en las propiedades electroquimiomecánicas que presentan ciertos polímeros conductores.

Otro ejemplo de aplicación muy destacable lo constituyen las baterías recargables.

En los últimos años, ha aparecido un nuevo tipo de batería (baterías de polímero/litio) que almacena más energía que cualquier otra; es flexible, ligera y, como las pantallas OLED, puede fabricarse como láminas del grosor del papel y tomar cualquier forma. Las baterías de polímero/litio han empezado a aparecer en los teléfonos móviles. Una batería de mayor tamaño está siendo desarrollada por 3M e Hydro-Quebec para alimentar coches eléctricos.

Podría ofrecer alimentación para más de 200 Km antes de necesitar recargarse, pesaría menos y ocuparía menos espacio que otras baterías.

¿Qué más ofrece la imaginación hacia el futuro? ¿Moléculas orgánicas individuales cómo elementos electrónicos activos?

El nacimiento de la electrónica molecular...

El desarrollo de los polímeros conductores ha abierto las puertas a la *electrónica molecular*, que consiste en emplear moléculas orgánicas de bajo peso molecular como componentes electrónicos activos, alternati-

13. <http://julitonline.blogspot.com/2006/12/los-oled.html>, <http://www.monografias.com/trabajos82/ensayo-tecnologia-led/ensayo-tecnologia-led.shtml>, <http://www.ddecoracion.com/iluminacion/oleds-atacando-fuerte/>

14. <http://www.configurarequipos.com/doc1092.html>

15. <http://www.tecnogadgets.com/nuevas-pantallas-oled-transparentes/>, http://itampico.blogspot.com/2009_05_01_archive.html

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

va que permitiría miniaturizar aún más el tamaño de los transistores actuales (Reed, 2000; Carrol, 2002).

La evolución de la miniaturización de los dispositivos electrónicos ha llevado naturalmente a la pregunta de si es o no posible el uso de moléculas individuales como elementos activos en nanocircuitos para una variedad de aplicaciones (Bryce, 1995; Nitzan, 2003; Xue, 2003).

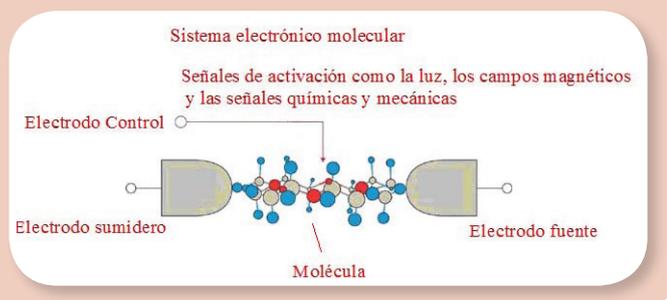


Figura 18: Modelo de un elemento electrónico activo molecular¹⁶.

La reciente evolución de las técnicas de nanofabricación ha hecho posible el viejo sueño de entrar en contacto con las moléculas individuales, la exploración de su electrónica y propiedades de transporte. Por otra parte, se ha demostrado que las moléculas pueden imitar el comportamiento de algunos de los componentes microelectrónicos de hoy, e incluso las estrategias para interconectar dispositivos moleculares ya han sido desarrolladas. Estos logros han dado lugar a lo que hoy se conoce como: Electrónica Molecular (Joachim, 2005; Joachim, 2000; Nitzan, 2001).

La construcción de un sistema electrónico utilizando moléculas individuales es una de las metas fundamentales en la nanotecnología. Para lograr esto será necesario medir, controlar y comprender el transporte de los electrones a través de moléculas en contacto con los electrodos.

Los temas que abarca esta tecnología incluyen cables moleculares, interruptores de dos terminales, diodos, transistores de tres terminales y dispositivos híbridos que utilizan diferentes señales para controlar el transporte de electrones en las moléculas (Joachim, 1995; Datta, 1997). Este transporte de electrones puede ser controlado eléctricamente, magnéticamente, por medios ópticos, mecánicos, químicos y por medios electroquímicos, dando lugar a diversas aplicaciones (Reed, 1997; Kergueriset, 1999).

¿Imitando a la naturaleza? ¿Es posible diseñar células fotovoltaicas a escala molecular?

Los sistemas biológicos pueden proporcionar paradigmas útiles para el desarrollo de dispositivos electrónicos y de computación a nivel molecular. Por ejemplo, los centros de reacción fotosintéticos naturales son dispositivos fotovoltaicos de dimensiones moleculares, y los principios que dictan su funcionamiento pueden ser útiles en el diseño de interruptores optoelectrónicos sintéticos.

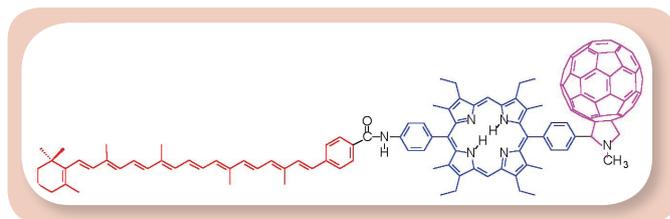


Figura 19: Tríada de carotenoides-porfirina-fullereno (Kuciaukas, 1997; Moore, 1998)

Utilizando las técnicas de la química orgánica sintética se diseñaron y obtuvieron parejas, tríos y otras especies supramoleculares. Las moléculas se estudiaron por una variedad de métodos físicos con el fin de estudiar su funcionamiento como elementos electrónicos-moleculares. La información obtenida puede ser utilizada para diseñar las nuevas generaciones de estas moléculas. La tríada que se muestra arriba es un ejemplo de una molécula que puede ser útil en aplicaciones de electrónica molecular (Figura 19) (Kuciaukas, 1997; Moore, 1998).

Esta "tríada" molecular consiste en una porfirina sintética (azul) unida covalentemente a la vez a un fullereno (violeta) y un polieno carotenoide (rojo).

Esta molécula puede almacenar una parte considerable de la energía de la luz como energía potencial electroquímica. Esta conversión de energía de la luz en potencial electroquímico es análoga a la manera en que las plantas absorben la energía solar durante la fotosíntesis.

Las tríadas son entonces, células fotovoltaicas a escala molecular. Su tamaño nanométrico y su capacidad para generar una respuesta eléctrica a la luz puede ayudar a señalar el camino hacia el desarrollo a la escala molecular de nuevos dispositivos electrónicos para comunicaciones, procesamiento de datos, y sensores.

La electrónica orgánica como hemos visto es una rama de la electrónica que basa su funcionamiento y arquitectura en los compuestos orgánicos y por eso presenta un sinnúmero de materias primas, a diferencia de la electrónica inorgánica, la cual solo tiene como alternativa de materia prima el silicio, el germanio, arseniuro de galio y unos pocos elementos más.

En la actualidad y en el mediano plazo la electrónica orgánica no reemplazará a la electrónica tradicional pero sí será utilizada en nuevas áreas tecnológicas, donde la electrónica tradicional no es viable, por ejemplo para dispositivos de gran área, ó flexibles, ó electroluminiscentes de bajo consumo de energía, músculos artificiales, nervios artificiales, entre otras.

Todavía hay muchos problemas y desafíos para que esta tecnología, ahora en su infancia, despliegue todo su potencial. En este sentido, la electrónica orgánica se ha convertido en un nuevo campo interdisciplinario de la ciencia, en la que el conocimiento de las disciplinas tradicionales como la física, la química, la ingeniería

16. <http://www.galileog.com/tecnologia/nanotecnologia/molecular2.htm>

ría y la biología se combinan para alcanzar la próxima frontera: entender la conducción eléctrica y térmica a escala molecular (Porath, 2000; Reichert, 2002)

Es cierto que a menudo los descubrimientos más inesperados pasan accidentalmente por delante de las narices de los científicos, pero esas narices tienen que estar muy bien entrenadas para captar al vuelo la esencia de lo novedoso para, después investigarlo a fondo. Además del azar, para que el descubrimiento acabe en libros y en aplicaciones son necesarias la sagacidad del investigador para extraer las oportunas conclusiones del "accidente" y su posterior perseverancia para reproducir resultados y analizarlos con rigor.

La ciencia inesperada¹⁷, sin embargo, no se limita a casos de descubrimientos serendípicos. A lo largo de la historia de la ciencia se han dado, y se siguen dando, muchos otros casos de descubrimientos que no son accidentales, pero cuyos efectos de mayor trascendencia no son en absoluto evidentes ni pretendidos cuando se realizan. En el momento de su nacimiento, suelen pasar desapercibidos para una abrumadora mayoría de gente, aún a veces para el mismo investigador.

Dado que la investigación científica es hoy una actividad más extendida, seguramente hoy, ahora, en algún lugar del mundo un nuevo brote de ciencia inesperada está ocurriendo. De vez en cuando estos episodios, iluminan nuestro camino y producen un salto hacia adelante. También nos recuerdan que aunque la ciencia intenta y consigue trascender los límites humanos fundiéndose con la fantasía, el conocimiento científico lo construimos los humanos, armados con nuestros cerebros, inmersos en nuestra sociedad y nuestra cultura. Esta característica de la ciencia, empresa humana/conocimiento universal, lejos de restarle atractivo la hace especialmente apasionante. Es también un punto de reflexión, en tiempos en los que el conocimiento sin aplicación, no es una prioridad entre nuestros dirigentes, en los que los mercados parecen ser las únicas brújulas dominantes para la orientación de nuestros limitados recursos dedicados a investigación, convendría no olvidar la lección que nos brindan los episodios de ciencia inesperada. Episodios que nos devuelven la esperanza en la creatividad humana (Gómez Romero, 2002).

En todo este mundo científico por descubrir y por desarrollar, la química tiene un papel trascendental; y los químicos y químicas, serán quienes puedan llevar adelante estos desafíos, tanto en el campo específico, como en la interacción con profesionales de otras disciplinas científicas y tecnológicas.

Referencias bibliográficas

Argun A., Aubert P. H., Thompson B. C., Schwendeman I., *Chemistry of Materials*, 16, (2004) 4401.

Brédas J.L. (ed.), *Conjugated Oligomers, Polymers, and Dendrimers: From Polyacetylene to DNA*, de Boeck Université, 1998.

Bryce P., Bryce M., *An Introduction to Molecular Electronics*, edited by M. C., Oxford University Press, New York, (1995).

Burroughes J., Bradley D, Brown A., Marks R., MacKay K., Friend R., Burns P., Holmes A., Light-emitting diodes based on conjugated polymers. *Nature* 347 (6293), (1990) 539. doi:10.1038/347539a0.

Cano Luna M., Diseño y aplicación de sensores electroquímicos basados en moléculas orgánicas conductoras, Universidad de Córdoba, (2008), Tesis de Doctorado.

Carrol R., Gorman C. B., *Angew. Chem. Int. Ed.*, 41 (2002) 4378.

Chamorro Posada P., Gil J. M., Ramos P. M., Navas Gracia L. M., *Fundamentos de la Tecnología OLED*, <http://es.scribd.com/doc/13325893/Fundamentos-de-la-Tecnologia-OLED>.

Datta S., *Phys. Rev. Lett.* 79, 2530 (1997).

Díaz A.F., Crowley J.I., Bargon J., Gardini G.P., Torrance J.B., *J. Electroanal Chem.*, 121 (1981) 355.

Díaz A.F., Kanazawa K., Gardini F.P., *J. Chem. Soc. Chem. Commun*, (1979) 635.

Dimitrakopoulos C.D., Malenfant P.R.L., *Adv. Mater.*, 14 (2002) 99.

Fernández-Otero T., Cortés M.T., *Adv. Mater.*, 15 (2003) 279.

Fernández-Otero T., Sansiñena J.M., *Adv. Mater.*, 10 (1998) 491.

Friend R., Gymer R.W., Holmes A.B., Burroughes J.H., Marks R.N., Taliani C., Bradley D.D.C., Dos Santos D.A., Brédas J.L., Lögdlund M., Salaneck W.R., *Nature*, 397 (1999) 121.

Gomez Romero P., *Eureka por azar*, 2002, http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/4700/Eureka_por_azar.

Graf D., Duan R.G., Campbell J.P., Miller L.L., Mann K.R., *J. Am. Chem. Soc.*, 119 (1997) 5888.

Hotta S., Rughooputh S., Heeger A. J., Wudl F., *Macromolecules*, 20 (1987) 212.

Huang W. S.; Humphrey B. D.; Macdiarmid A. G., Polyaniline, a novel conducting polymer, *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, 101 (82), (1986) 2385.

Inzelt G., Pineri M., Schultze J. W., Vorotyntsev M. A., *Electrochim. Acta*, 45, (2000) 2403.

17. Ciencia inesperada sería la expresión en castellano del anglicismo serendipia (serendipity en inglés).

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

Jen K.Y., Elsembaumer R.L., Oboodi R., *Synth. Met.*, 15 (1986) 169.

Joachim C., *Phys. Rev. Lett.* 74, 2102 (1995).

Joachim C., Gimzewski J. K., Aviram A., *Nature* (London) 408, 541 (2000).

Joachim C., Ratner M. A.; *Molecular electronics: Some views on transport and beyond, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, 102, (25), 8800.

Kanazawa K., Díaz A. F., Weiss R. H., Gill W. D., Kwack J. F., Logan J.A., Rabolt J.F., Street G.B., *J Chem. Soc. Chem. Commun.*, (1979) 854.

Kergueriset C., *Phys. Rev. B*, 59, 12 (1999) 505.

Kobayashi M., Chen J., Chung T.C., Maredo F., Heeger A.J., Wudl F., *Synth. Met.*, 9 (1984) 77.

Kraft A., Grimsdale A.C., Holmes A.B., *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 37 (1998) 402.

Kuciaukas D., Liddell P., Moore A.L., *Magnetic Switching of Charge Separation Lifetimes in Artificial Photosynthetic Reaction Centers*, *J. Am. Chem. Soc.*, 119, (1997) 1400.

Letheby H., On the production of a blue substance by the electrolysis of sulphate of aniline, *J. Chem. Soc.*, 15 (1862), 161.

MacDiarmid A.G., Chiang J.C., Halpern M., Mu S.L., Somasiri N.D.L., Wu W., Yaniger S.I., *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 121 (1985) 173.

Moore T.A., Gust D., *J. Am. Chem. Soc.*, 120, (1998) 10880.

Naarmann H., "Polymers, Electrically Conducting" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (2002) Wiley-VCH, Weinheim. doi:10.1002/14356007.a21_429.

Nalwa H.S. (ed.), *Handbook of Conductive Molecules and Polymers*, John Wiley: New York, 1997.

Nazario, M.; 2009, http://www.losavancesdequimica.com/wp-content/uploads/06_quimica_alta_tecnologia_martin_parte_13.pdf

Nitzan A., *Annu. Rev. Phys. Chem.*, 52, 681 (2001).

Nitzan, A.; Ratner, M. A., *Electron transport in molecular wire junctions*, *Science*, 300 (2003) 5624, 1384.

Otero T.F., Villanueva S., Brillas E., Carrasco J., *J. Acta Polymerica.*, 49 (1998) 433.

Paenza A., *Diario Página 12*, Domingo, 03 de abril de 2011.

Pearce T., Schiffman S.S., Nagle H.T., Gardner J.W., *Handbook of machine olfaction: Electronic nose technology*, John Wiley & Sons, (2003).

Porath D., *Nature* (London) 403, (2000) 635.

Potember R., Hoffman R.C., Hu H.S., Cocchiaro J.E., Viands C.A., Murphy R.A., Poehler T.O., *Polymer*, 28 (1987) 574.

Ramírez Andreu M., *Intercambio iónico durante el proceso redox en el sistema polipirrol perclorato de litio. Estudio mediante técnicas experimentales y de simulación de Dinámica Molecular.* (2008) Cartagena, Tesis Doctorado.

Reed M., *Science*, 278, (1997) 252.

Reed M., Tour J. M., *Scientific American*, (2000) 86.

Reichert J., *Phys. Rev. Lett.* 88, (2002) 176804.

Roberts R. M., *Serendipity: accidental discoveries in science*, New York, Wiley, Wiley Science Edition, 1989.

Roth S., Carroll D., *One-Dimensional Metals*, Wiley-VCH: Weinheim, 2004.

Ruiz Delgado M., *Oligotiofenos Funcionalizados Simétrica o Asimétricamente con Aplicaciones en Optoelectrónica: Estudio Espectroscópico y Teórico*, 2006, Málaga, Tesis de Doctorado.

Sato M., Tanaka S., Kaeriyana K., *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, (1986) 873.

Shirakawa H., Ikeda S., *Polymer Journal*, 2 (2), (1971) 231.

Shirakawa H., Ikeda S., *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, 12 (1974) 11.

-a) Shirakawa H., Louis E.J., MacDiarmid A.G., Chiang C.K., Heeger A.J., *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, (1977) 578.

-b) Shirakawa H., MacDiarmid A.G., Heeger A.J.; *Phys. Rev. Lett.* 39 (17), (1977) 1098.

Skotheim T.A., Elsenbaumer R.L., Reynolds J.R. (eds.), *Handbook of Conducting Polymers*, Marcel Dekker: New York, 1998.

Vila M., ¿Qué es la tecnología oled y cómo repercutirá en nuestra vida?, 2009, <http://www.gruponeva.es/blog/noticia/1298/que-es-la-tecnologia-oled-y-como-repercutira-en-nuestra-vida.html>.

Xue, Y. Q.; Ratner, M. A., *Microscopic study of electrical transport through individual molecules with metallic contacts. Band lineup, voltage drop, and high-field transport*, *Physical Review B*, 11, (2003) 68.

Youtube, 2007, Si quieren seguir sorprendiéndose con esta tecnología mirar el siguiente enlace a un video de youtube donde se muestra una pantalla flexible de OLED, <http://www.youtube.com/watch?v=1S1N93E8kd4>.

Yu G., Gao J., Hummelen J.C., Wudl F., Heeger A.J., *Science*, 270 (1995) 1789.

Zimmer H., Cunningham D.D., Lagurren-Davidson L., Mark H.B., Pham C.V., *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, (1987) 1021.

24

EPIDEMIOLOGÍA MOLECULAR: LA CONTRIBUCIÓN DE LA QUÍMICA A LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES DE ORIGEN AMBIENTAL

Dr. Gerardo D. Castro

Centro de Investigaciones Toxicológicas (CEITOX, CITEDEF-CONICET) e Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de General San Martín (UNSAM).
Juan B. de La Salle 4397, B1603ALO Villa Martelli.
Email: gcastro@unsam.edu.ar

Muy pocos resisten impasibles frente al aroma que se desprende de una parrillada... Algo debe haber en ese humito que encuentra una respuesta tan placentera en nuestros receptores olfatorios y despierta el apetito, ¿no? Pocos son también quienes conocen que comidas como la carne asada contienen sustancias que son perjudiciales para la salud. ¿Es que a quién se le ocurriría semejante cosa? ¿Estamos hablando de colesterol, de grasas saturadas? Después de todo, esas sustancias químicas con mala fama podemos encontrarlas también en otras comidas menos sabrosas. Quizás el problema venga por el lado de los hidrocarburos aromáticos policíclicos... ¡Pero tampoco es para tomárselas con el asado!, como si estos malditos no anduviesen dando vueltas en el hollín de la calle, o en el cigarrillo que están fumando en la otra mesa. Desgraciadamente para quienes adoramos un buen asadito, hay algo más que todo eso, que es de cuidado y que es bastante "selectivo" de la carne cocinada; para ser justos, digamos que lo es también de la carne muy cocida en general, aunque no sea asada a la parrilla de leña o carbón. Todos sabemos que las proteínas de la carne están formadas por moléculas llamadas aminoácidos. Bueno, ahí comienza el problema. Algunos de estos aminoácidos, con el calor fuerte, se transforman en otras sustancias, que una vez ingeridas producen toxicidad, y de la sería, porque estamos hablando de cáncer de colon.

Supongamos que a esta altura del relato me creen algo.....siguen ahora las preguntas lógicas ¿Cuál es la solución entonces?, ¿abstenerse? Conocemos mucha gente que come asado y se enferma de otras cosas, si se enferma. Conocemos gente que no come asado y ha tenido cáncer, incluso de colon. ¿Qué pruebas concretas vinculan una cosa con la otra? ¿Cómo se descartan otros factores? ¿Será que puede comerse asado solo de tanto en tanto y así evitar el riesgo de enfermarse? Esta última pregunta nos introduce un concepto, el de *riesgo*, que es muy importante comprender cuando hablamos de enfermedades de origen ambiental. Entendamos por ambiente humano al conjunto de factores que rodea nuestra vida, incluyendo por supuesto, nuestro trabajo, nuestra dieta y nuestros hábitos. ¡Porque sustancias químicas hay por todos lados! Riesgo es probabilidad, y en tal sentido lo que quiero plantear aquí es que al exponernos a estas sustancias que vienen con un alimento tan común y tan rico, lo que hacemos es aumentar esa probabilidad

de enfermarnos de una enfermedad a la cual también se puede llegar de otras maneras (por predisposición genética, por la exposición ocupacional a algunas sustancias tóxicas, por otros factores perjudiciales de la dieta, etc., etc.). Este escenario de multicausalidad es muy frecuente en las enfermedades humanas, y ni hablar entre las de origen ambiental. Elegí este ejemplo del asado como una guía para recorrer juntos todo lo que sigue, y que pretende mostrarles que es posible utilizar herramientas de la química y de la biología para entender el proceso que vincula la enfermedad con sus factores causales o predisponentes, en un grado de detalle tal, que abre la posibilidad de la prevención o de la intervención (cuando se trata de una enfermedad en marcha). Ya no se trata de evitar el asado sino de evaluar cuál es la contribución de esas sustancias perjudiciales presentes en el alimento al riesgo de contraer la enfermedad que le achacamos. Estamos estableciendo las bases para la regulación de la exposición a sustancias químicas peligrosas, algo que requiere hacer mediciones no solo de los tóxicos presentes en tal o cual ambiente, sino de algo mucho más relevante, de los tóxicos dando vueltas dentro de nuestro organismo. El *biomonitoreo* se ocupa de esto justamente, en escenarios tan variados y con distinto grado de complejidad como el ámbito laboral, la contaminación urbana, los aditivos o contaminantes presentes en los alimentos, o la interacción de todo esto.

¿Por qué se necesitan marcadores de la enfermedad?

La *epidemiología* es una disciplina relacionada con la salud pública que evalúa los determinantes y distribución de la enfermedad u otros eventos relacionados con la salud en poblaciones específicas. La *epidemiología molecular* utiliza tanto el conocimiento sobre el mecanismo de la enfermedad como herramientas tales como los marcadores biológicos, desarrollados a partir de las ciencias experimentales básicas e incorporados a los estudios epidemiológicos analíticos, para identificar y comprender mejor la relación exposición-enfermedad. Los estudios de epidemiología molecular combinan el uso de las herramientas más avanzadas de las ciencias básicas con los rigurosos métodos epidemiológicos.

Aunque los marcadores biológicos tales como la medición de las toxinas o agentes infecciosos en los

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

fluidos corporales se han utilizado por varias décadas en los estudios epidemiológicos tradicionales, la disciplina de la epidemiología molecular, que fue propuesta en los años ochenta (siglo XX), amplía éstos, tratando de usar los biomarcadores no sólo para medir la exposición sino también para medir los pasos que median entre la exposición y la enfermedad y los factores que modifican la trayectoria hasta la enfermedad. Así, la epidemiología molecular se superpone tanto con la salud pública como con las ciencias experimentales. La epidemiología molecular contribuye a la salud pública mejorando la evaluación de la exposición (lo cual tiene consecuencias directas sobre la prevención primaria), identificando criterios de valoración tempranos de enfermedad (los que pueden utilizarse con propósitos de rastreo o ensayos clínicos), e identificando individuos que poseen un riesgo aumentado para la enfermedad, y puede ayudar a mejorar la determinación del riesgo proveyendo mejores relaciones exposición-respuesta e información sobre susceptibilidad. Además, incorporando biomarcadores que puedan identificar exposiciones, alteraciones y susceptibilidad a nivel celular y molecular, la epidemiología molecular nos permite una comprensión mecanística del proceso de la enfermedad. Un ejemplo exitoso de la investigación epidemiológica molecular es el estudio sobre la exposición a la aflatoxina, una toxina fúngica presente en comestibles mal conservados, y su relación con el cáncer de hígado. El uso de biomarcadores facilitó la identificación de la aflatoxina como un carcinógeno humano comprobado, mejorando la evaluación de la exposición; también contribuyó a la identificación y medición de una interacción sinérgica con la infección por el virus de la hepatitis B para causar cáncer de hígado y ha provisto una comprensión sobre los mecanismos que llevan al cáncer hepático inducido por aflatoxina en humanos.

¿Para qué sirven los estudios epidemiológicos?

El objetivo de los estudios epidemiológicos es determinar si existe una relación causal entre un riesgo putativo¹ o un factor protector y la enfermedad. Las exposiciones ambientales a sustancias químicas contribuyen de un modo indiscutible a la cantidad de casos de enfermedad. Por ejemplo, se cree que el 60-90% de los cánceres son debidos a exposiciones ambientales (incluyendo los factores relacionados con el estilo de vida y la exposición a tóxicos ambientales). Sin embargo, el impacto de los tóxicos ambientales sobre nuestra salud es heterogéneo, lo cual podría explicarse en parte por las diferencias genéticas en la susceptibilidad. La contribución de la variabilidad genética constitutiva presente en las poblaciones humanas sobre la variabilidad observada de los determinantes de la salud puede estudiarse utilizando diferentes enfoques. Los estudios que apuntan a comprender la contribución de la variabilidad genética a nivel poblacional se realizan típicamente usando un enfoque epidemiológico.

La disciplina de la epidemiología molecular provee

un marco ideal para la investigación del efecto combinado de los tóxicos ambientales y los factores genéticos.

De esta forma, la mayoría de los estudios se diseñan para probar una hipótesis. Retomemos como ejemplo el problema sanitario muy relevante en países occidentales, incluyendo al nuestro por supuesto: ¿La exposición (por ejemplo, el consumo de comidas con carne cocidas) causa enfermedad (por ejemplo, cáncer de colon)? Luego de realizado el estudio, los datos se analizan y se calcula la magnitud de la asociación putativa entre exposición y enfermedad. Entonces el estudio se evalúa para ver si la asociación (si se observara) podría ser el resultado de errores aleatorios o sistemáticos o si otras exposiciones o factores están influyendo la exposición de interés (es decir, si existen modificadores de efecto).

La epidemiología clásica comprende una serie de procedimientos y herramientas que la epidemiología molecular puede intervenir y mejorar muchísimo. (1) diseño de estudios epidemiológicos, (2) medidas de ocurrencia y asociación, (3) errores aleatorios (intervalos de confianza, poder estadístico y pruebas estadísticas), (4) sesgos sistemáticos, (5) factores de confusión y (6) modificadores de efecto. Los estudios epidemiológicos pueden clasificarse en tres tipos principales: (a) descriptivos o estudios basados en datos de rutina, (b) estudios observacionales analíticos, en los cuales el investigador observa la ocurrencia de enfermedad en dos grupos ya separados por enfermedad o exposición, y (c) estudios experimentales en los cuales el investigador asigna individuos al azar a la exposición en cuestión.

Está más allá de la extensión de este capítulo hacer un análisis de las fortalezas y limitaciones de cada metodología de la epidemiología clásica pero podríamos resumir en que, cuando se trata de enfermedades de origen ambiental (léase exposiciones a dosis bajas y efectos demorados), sus herramientas no alcanzan para evaluar el riesgo sanitario. La epidemiología molecular aporta justamente nuevas herramientas para realizar una evaluación más correcta de ese riesgo y ha demostrado ser de mucha utilidad. El ejemplo sobre el cáncer de colon y la carne asada ilustra muy bien este hecho.

¿En qué consiste la epidemiología molecular?

La epidemiología molecular incorpora marcadores biológicos dentro de los diseños epidemiológicos. Los biomarcadores, según fueron definidos por la Organización Mundial de la Salud, son *"cualquier parámetro que pueda ser usado para medir una interacción entre un sistema biológico y un agente ambiental, el cual puede ser químico, físico o biológico"* (WHO International Programme on Chemical Safety, 1993). Como se muestra en la Figura 1, los biomarcadores pueden ser usados para medir *exposición* (incluyendo dosis absorbida y dosis biológicamente efectiva), *efecto*

1. Riesgo putativo: aquel comunmente aceptado o asumido como tal, sin que esté necesariamente demostrado.

(incluyendo respuestas tempranas, alteraciones en la estructura o función, y enfermedad) y *modificadores del efecto (o susceptibilidad)* y la misma enfermedad. También pueden utilizarse para medir factores confundidores. Sin embargo, es importante remarcar que la división entre las diferentes clases de biomarcadores no está siempre clara, y el mismo biomarcador puede emplearse en algunos estudios para medir exposición y en otros estudios para medir efecto. El uso de biomarcadores puede aumentar la sensibilidad y especificidad de la determinación de la exposición, proveer detección más temprana de la enfermedad y evaluar la interacción gen-ambiente.

Un desafío de todo estudio estadístico es el diseño de lo que constituirán la hipótesis de trabajo y la toma

nen cáncer de colon sobre sus costumbres alimentarias? ¿Desde qué tiempo precedente interesarían los datos sobre estos hábitos?

- ¿Someteríamos ratones a rigurosas dietas de carne cocida durante un cierto tiempo para evaluar el desarrollo de cáncer de colon?
- ¿Contra qué grupo control compararíamos los datos?

Con estas preguntas simples ponemos de manifiesto la inmensa cantidad de variables que entran en juego en cada situación elegida. Otras variables no menos condicionantes incluyen temas de costo y de recursos humanos asignados a las toma de muestras, a los análisis de laboratorio, al almacenaje de muestras y/o de datos, y al procesamiento de esos datos. Pro-

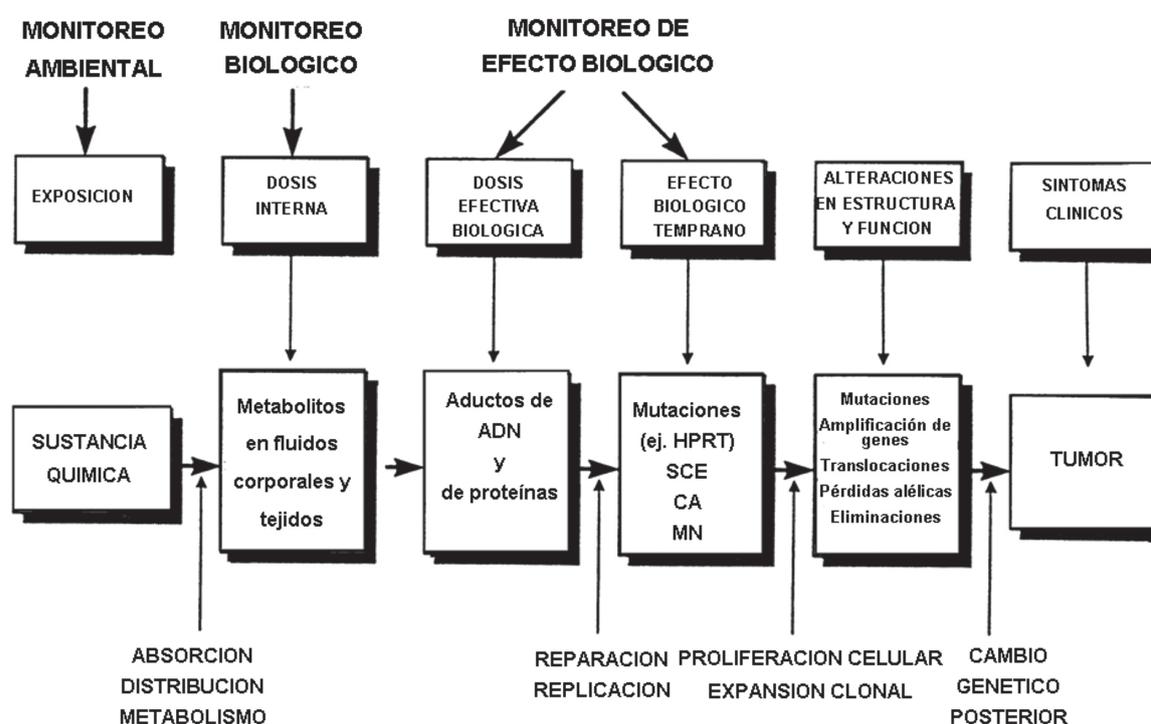


Figura 1: La epidemiología molecular y la necesidad de biomarcadores en las diferentes etapas que van desde la exposición hasta la enfermedad, considerando el ejemplo de la carcinogénesis. HPRT: mutaciones hipoxantina-guanina fosforibosil-transferasa; SCE: intercambio de cromátides hermanas; CA: aberraciones cromosómicas; MN: micronúcleos.

de muestra, es decir, la definición y cantidad de sujetos y de biomarcadores que se analizarán. Por ejemplo, entre otras cosas podríamos preguntarnos si:

- ¿Tomaríamos para evaluar la correlación entre ingesta de carnes cocidas y cáncer de colon a todos los sujetos que comen asadito los domingos en la Ciudad de Buenos Aires?
- ¿Los estudiaríamos con análisis de sangre y orina —evaluando algún biomarcador— durante un año seguido a todos? ¿En qué momento? ¿Con qué frecuencia?
- ¿Tomaríamos al azar a los sujetos que caminan por las calles, para completar cuestionarios indagando sus costumbres alimentarias y les haríamos estudios de orina?
- ¿Preguntaríamos sólo a los pacientes que tie-

bablemente los diseños de estudio de biomarcadores más comúnmente usados en epidemiología molecular son los tipo casos y controles y de cohortes (aunque éstos requieren un gran número de sujetos). Un estudio de casos y controles, es un estudio epidemiológico, observacional analítico, en el que los sujetos se seleccionan en función de que tengan (casos) o no tengan (control) una determinada enfermedad. Una vez seleccionados los individuos en cada grupo, se investiga si estuvieron expuestos o no a una característica de interés y se compara la proporción de expuestos en el grupo de casos frente a la del grupo de controles. Un estudio de cohortes es un estudio epidemiológico, observacional analítico, prospectivo o retrospectivo, en el que se hace una comparación de la frecuencia de enfermedad entre dos poblaciones, una de las cuales está expuesta a un determinado factor de exposición

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

o factor de riesgo al que no está expuesta la otra. Los individuos que componen los grupos de estudio se seleccionan en función de la presencia de una determinada característica o exposición. Estos individuos no tienen la enfermedad de interés y son seguidos durante un cierto periodo de tiempo para observar la frecuencia con que la enfermedad aparece en cada uno de los grupos. Una situación intermedia se denomina estudios de casos y controles anidados, en los que se reúne una cohorte, y se archivan muestras biológicas de cada individuo (por ejemplo, sangre, orina, ADN); los individuos son seguidos para ver la ocurrencia de enfermedad, y aquellos que desarrollan la enfermedad se transforman en los casos. Los controles son seleccionados al azar dentro de la cohorte (se tienen en cuenta ciertas variables tales como edad, género y tiempo de recolección de la muestra). Las muestras archivadas de los casos y de los controles son evaluadas con el biomarcador deseado.

¿Cómo se elige y se valida un “buen” biomarcador?

Para identificar biomarcadores válidos para los estudios epidemiológicos, deben contestarse dos preguntas fundamentales: (1) ¿Mide el marcador lo que se supone que debe medir? y (2) ¿Proveerá el biomarcador la información sobre la exposición o la enfermedad que se requiere para ese estudio? Se necesita una respuesta positiva a ambas preguntas para determinar si un biomarcador ha sido “validado” para estudios epidemiológicos. Una vez que se seleccionó un biomarcador “validado”, la tercera cuestión a considerar es la recolección del espécimen biológico. Debe considerarse qué especímenes biológicos se necesitan, cómo serán almacenados y procesados y por cuánto tiempo deberán ser viables. Esta tercera cuestión es importante para evitar potenciales clasificaciones erróneas (debidas, por ejemplo, a la degradación de las muestras) y confusión (esto es, la interpretación equivocada de los resultados debida a la contribución no advertida de otros factores durante la recolección del espécimen biológico).

Cuando estamos identificando y validando un nuevo biomarcador es necesario considerar varias preguntas importantes, que incluyen:

- ¿El biomarcador mide con precisión la exposición o reacciona en forma cruzada con otros potenciales factores de riesgo?
- ¿El biomarcador captará la exposición durante un período de tiempo relevante o es más transitorio y sólo captará la exposición en las pocas horas siguientes?
- ¿Qué especímenes biológicos deben recolectarse para determinar este biomarcador? ¿Son fáciles y asequibles de recolectar, tal como la orina y la sangre?
- ¿Por cuánto tiempo se mantiene viable el biomarcador en el espécimen recolectado? ¿Puede ser congelado y, si es así, a que temperatura y por cuánto tiempo?

Cuando se recolectan especímenes para el análisis del biomarcador, ¿qué otros datos deberían recolectarse para tratar los posibles confundidores en las mediciones?

Responder estas preguntas es un verdadero desafío científico. Por ejemplo, cuando se pretende vincular el consumo de aminas heterocíclicas aromáticas (que son las sustancias que se forman por pirólisis de proteínas en la carne muy cocida) con el riesgo de cáncer colorrectal, algunos factores confundidores posibles a considerarse deberían ser otras fuentes de estas sustancias, tales como el fumar cigarrillos, y factores que pueden alterar su metabolismo, tales como los antioxidantes y la fibra en la dieta. Por último, como en todos los estudios que involucran sujetos humanos, deberán considerarse y tratarse apropiadamente algunas implicancias éticas de los ensayos con biomarcadores.

La identificación y desarrollo de ensayos para un biomarcador ocurren en un entorno experimental, usualmente como parte de estudios de investigación básicos. Primero debe desarrollarse un ensayo de laboratorio que pueda identificar un proceso biológico o medir una exposición específica (externa o interna). Luego, cuando sea apropiado, se realizarán estudios dosis-respuesta para determinar el rango y nivel de detección. Se hacen análisis para determinar cuántos sujetos pueden estar mal clasificados como “negativos” cuando son verdaderos positivos (es decir, un falso negativo), un concepto al que se denomina “sensibilidad”; y se hacen análisis para determinar cuántos sujetos pueden estar mal clasificados como “positivos” cuando en realidad son negativos (es decir, un falso positivo), un concepto al que se denomina “especificidad”. La fiabilidad del análisis del biomarcador debería evaluarse para determinar la variabilidad día-a-día y la variabilidad entre diferentes laboratorios. Finalmente, deberían determinarse las condiciones óptimas para la recolección, almacenamiento y procesamiento de las muestras, vinculadas con la vida media y la estabilidad del marcador.

También deben realizarse estudios que permitan saber acerca de la variabilidad interindividual en una población, identificar potenciales confundidores y modificadores del efecto y también probar la viabilidad de usar este biomarcador en el campo.

El estadio final en la validación de un biomarcador es aplicarlo en el contexto de un estudio etiológico o clínico. Estos estudios miden la prevalencia de la exposición o efecto en la población en estudio, refinan las mediciones de la inter- e intra-variabilidad, determinan la sensibilidad y especificidad a nivel de la población de base e identifican otros confundidores potenciales y modificadores de efecto.

Analicemos el ejemplo de las aminas heterocíclicas aromáticas en relación con el cáncer de colon para visualizar mejor el aporte de los biomarcadores a la evaluación de riesgo carcinogénico. Existe abundante información en la literatura científica sobre estudios epidemiológicos de distinto tipo que sugieren una asociación entre el consumo de carne cocida y un riesgo aumentado de cáncer colorrectal (Butler y cols.,

2003; Chao y cols., 2005; Beresford y cols., 2006; WCRF-AICR, 2007). Argentina es uno de los países en América con incidencia más alta de este tipo de cáncer (Matos y Loria, 2003). Sin embargo no es ya tan simple establecer cuantitativamente, una escala de riesgo sanitario para esta enfermedad en función del consumo de este tipo de alimentos, en el marco de otros factores dietarios o hábitos que pueden modificarlo. Es aquí donde el uso de biomarcadores permite ajustar la evaluación para que no sea simplemente una indicación cualitativa. Para lograr este objetivo es necesario disponer de biomarcadores validados. La validación de un biomarcador potencial para medir aminas heterocíclicas aromáticas en sangre requiere básicamente:

1. Desarrollar un análisis de laboratorio para medir presencia y cantidad de estas sustancias (en fluidos o tejidos determinados).
2. Determinar la especificidad y la sensibilidad del análisis usando muestras humanas contaminadas con alguna de estas aminas y modelos experimentales (por ejemplo, roedores) alimentados con dosis conocidas de las aminas de interés. Se utilizan muestras humanas marcadas debido a que algunas de estas aminas son mutágenos muy potentes y porque algunos compuestos específicos han sido clasificados como *razonablemente sospechados de ser carcinogénicos en humanos* por el Programa Nacional de Toxicología de los EE.UU. Los estudios en humanos que involucren exposición voluntaria a aminas heterocíclicas aromáticas purificadas están prohibidos.
3. Realizar un estudio de sección cruzada a partir de una población para determinar si existe correlación entre la exposición auto-reportada a estas aminas (por ejemplo, con un cuestionario acerca de la frecuencia de comida con carne cocida usando fotografías de alimentos con diferentes cocciones (similar al estudio de casos y controles reportado por Butler y cols., 2003) y las mediciones de aminas.
4. Realizar un estudio etiológico de población, enfocado en investigar el rol de la exposición a la amina en el cáncer. Debido a cuestiones de sesgos introducidos por el estado canceroso ("causalidad reversa"), se prefiere un diseño de estudio de casos y controles anidado. En esta etapa de la validación, es importante discriminar entre sujetos con y sin la enfermedad, ya que la misma patología puede alterar la respuesta del organismo frente al biomarcador (por ejemplo, el metabolismo), alterando entonces la interpretación de los valores medidos.

Finalmente, debemos reflexionar sobre la existencia de condicionamientos a la validación de un biomarcador. Por ejemplo, la variabilidad inter-individual, que puede deberse a diferencias en la etnicidad, género, dieta, edad y estado de salud de los individuos incluidos en la muestra en estudio. La variabilidad intra-individual que puede deberse por ejemplo, al estado de salud, la dieta, el ciclo menstrual o la estación del año. Mientras que la variabilidad inter-individual puede ser, a veces, tomada en cuenta en la fase de aná-

lisis, la variabilidad intra-individual es más difícil de ser ajustada. Por eso, esta cuestión debe considerarse con cuidado. Otras fuentes de variabilidad provienen del error en la medición, el cual puede ocurrir por degradación de la muestra, variabilidad en el manejo de la muestra, cambios en los protocolos usados para el procesamiento del espécimen, y en la detección del biomarcador (llamado a veces "variación de laboratorio"). Todas las anteriores pueden prevenirse o ser minimizadas usando biomarcadores que hayan sido validados apropiadamente, usando controles de laboratorio y metodologías confiables, usando duplicados o triplicados durante las corridas de análisis del biomarcador y recolectando tanta información relevante en el campo como sea posible a fin de identificar las potenciales fuentes de variabilidad y confusión.

Diferentes clases de biomarcadores

La literatura especializada reconoce biomarcadores de *exposición*, de *dosis interna*, de *la dosis biológicamente efectiva*, de *exposición endógena*, de *efecto*, y *pre-clínicos*. Debemos recordar, como ya dijimos, que la división entre los diferentes tipos de biomarcadores no está siempre clara, y el mismo biomarcador puede emplearse en algunos estudios para medir exposición y en otros estudios para medir efecto, por ejemplo.

En los estudios epidemiológicos tradicionales, la exposición se determina usualmente mediante cuestionarios, por puestos de trabajo, con matrices de exposición ocupacional (realizadas por higienistas ocupacionales, basados en descripciones de trabajos y en ocasiones, mediciones ambientales), mediciones ambientales (por ejemplo, concentraciones en el aire, agua y suelo) o el monitoreo de la exposición personal (por ejemplo de radiación en técnicos operadores de radiografías). Todas estas mediciones están sujetas a errores que llevan a la clasificación errónea, lo cual disminuye el poder del estudio para detectar una asociación significativa entre exposición y enfermedad.

Los biomarcadores de exposición miden la presencia o la magnitud de las exposiciones previas a un agente ambiental o endógeno a nivel individual. El uso de marcadores sensibles, específicos y validados puede reducir la clasificación errónea de la exposición y aumentar así el poder para detectar una asociación causal. Además, el uso de biomarcadores de exposición puede ayudar a identificar fuentes de exposición que, de otra forma, podrían haber pasado desapercibidas, las comúnmente llamadas "exposiciones difusas". La clasificación errónea de la exposición en estudios de epidemiología molecular que usan biomarcadores está relacionada con la validez, la reproducibilidad y estabilidad del marcador. La estabilidad del biomarcador es una cuestión crítica *porque se necesita demostrar que las exposiciones ocurrieron en el momento relevante relacionado con el desarrollo de la enfermedad*. Es que en una patología como la carcinogénesis esto no es una cuestión menor. Un biomarcador de efecto o de dosis interna de vida muy corta puede llevarnos a subvalorar la exposición al carcinógeno, ya que al

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

tiempo de la medición, estaría en muy baja concentración o ausente.

Otra consideración importante es acerca del tejido que se utiliza como muestra. Los estudios de epidemiología molecular usualmente se realizan sobre las muestras biológicas que son menos invasivas en su obtención, tales como orina, saliva y sangre; sin embargo, estos pueden no ser siempre los tejidos biológicamente relevantes para determinar la exposición, lo cual depende de la vía de administración, la localización del metabolito y el órgano blanco de la enfermedad.

Finalmente, deberían considerarse también los sesgos potenciales, tales como la "causalidad reversa", un problema particularmente frecuente en los estudios de casos y controles, donde el estado de enfermedad puede inducir o alterar al biomarcador que está siendo medido, llegando así a resultados erróneos. El ejemplo típico es el del tejido canceroso que tiene una actividad metabólica para el biomarcador distinta a la del tejido normal, condicionando el significado de la medida cuando se la hace en un individuo enfermo.

Los *biomarcadores de dosis interna* evalúan la dosis del compuesto químico extraño al organismo (xenobiótico); es decir, la cantidad del mismo -o de sus metabolitos- que está realmente depositado dentro del organismo, que ha sido absorbido, distribuido y metabolizado.

Se ha utilizado una gran variedad de tejidos o fluidos del cuerpo para medir la dosis, incluyendo sangre, orina, heces, leche materna, líquido amniótico, pelo, uñas, saliva, tejido adiposo y aire exhalado. Algunos ejemplos de biomarcadores de dosis interna de importancia clínica son: compuestos organoclorados en tejido adiposo; compuestos orgánicos volátiles en aire exhalado; metabolitos urinarios de la aflatoxina; niveles de cotinina en orina (compuesto presente en el tabaco y metabolito de la nicotina); niveles de plomo en sangre; ADN viral del HBV (virus de la hepatitis B); proteína viral HbsAg (antígeno de superficie del virus de la hepatitis B); antígenos "core" anti HBV; productos proteicos del 4-aminobifenilo (una amina aromática carcinogénica); aductos aflatoxina B1-N⁷-guanina en orina; ácido fenilmercaptúrico (para benceno); estrógeno, catecolestrógeno-3,4-quinonas (metabolitos de estrógenos).

Un factor crítico para evaluar la utilidad de un biomarcador es su estabilidad en el cuerpo. Algunas toxinas se eliminan rápidamente (es decir, tienen una vida media corta) y así las mediciones serán de la exposición reciente, mientras que para enfermedades con latencias largas como el cáncer, las exposiciones pasadas pueden ser más relevantes. La vida media de un biomarcador es de importancia particular cuando se está tratando de medir exposiciones dietarias, que tienen más probabilidades de variar día a día. Por lo tanto, un biomarcador que sólo capturase la exposición dentro

de las últimas doce horas puede no ser relevante para exposiciones dietarias pasadas de alimentos ingeridos raramente. Las muestras archivadas (por ejemplo, de estudios de casos y controles anidados) pueden ser usadas a veces para medir biomarcadores de exposiciones pasadas.

Por *dosis biológicamente efectiva* debemos entender aquella cantidad del xenobiótico o de sus metabolitos activos que ha interactuado con las macromoléculas celulares en el sitio blanco (o el tejido sustituto que hemos elegido para representarlo). Debido a que estos biomarcadores proveen una evidencia acerca del daño tóxico potencial, probablemente serán más informativos acerca del riesgo de enfermedad que los marcadores de dosis interna, ya que representan mejor el balance entre las fracciones de la dosis absorbida, distribuida, metabolizada y detoxificada del compuesto.

Los biomarcadores de este tipo más comunes que se han utilizado en estudios de cáncer son productos de ADN o de proteínas formados en la interacción con carcinógenos o sus metabolitos. Si los productos de ADN no son reparados (esto significa, eliminados de su estructura de forma que no queden consecuencias), poseen el potencial de causar mutaciones que pueden llevar a enfermedades tales como el cáncer. Sin embargo, muchos productos también pueden ser reparados o eliminados y por lo tanto su presencia no nos permite asegurar que la enfermedad ocurrirá. En forma similar a los marcadores de dosis interna, la persistencia (es decir, la estabilidad) del marcador biológicamente efectivo en el cuerpo es importante para medir el tiempo de exposición crítico. En general, los marcadores de dosis biológicamente efectiva pueden integrar un período de tiempo de exposición más largo que los marcadores de dosis interna. La persistencia depende de la estabilidad del compuesto químico y de la tasa de reparación del ADN (para los productos de ADN) o de recambio proteico (para los productos proteicos). Los productos de ADN se han medido en sangre, orina, en tejidos y en los mismos tumores. Los productos proteicos y de ADN medidos en tejidos "no blanco" usualmente se consideran como marcadores sustitutos. Debe entenderse aquí cuán relevante es el trabajo de laboratorio para desarrollar modelos experimentales adecuados para representar a la enfermedad, lo cual es crítico para encontrar biomarcadores candidatos para su uso en situaciones reales.

Volvamos al ejemplo de las aminas heterocíclicas aromáticas como factores causales de cáncer de colon. En los estudios epidemiológicos clásicos que establecieron la relación causal, no se usaron biomarcadores para medir el consumo de carne o la ingesta de estas aminas². Por ejemplo, en el estudio de casos y controles reportado por Butler y colaboradores (2003), la dosis de aminas se determinó usando datos de consumo de carne, métodos de cocción y grados de hechura. Se usó un cuestionario de frecuencia de comidas para determinar el consumo de carne y los métodos de coc-

2. Como se dijo, estas aminas provienen de la degradación de aminoácidos por el calentamiento excesivo, tales como triptofano, fenilalanina o tirosina.

ción, y se usaron fotografías para determinar el nivel de cocción. Sin embargo, el potencial de clasificación errónea de la exposición es probablemente alto debido a reportes inconsistentes, dificultad en cuantificar el nivel de cocción, variación día-a-día de la dieta, e información incompleta sobre las prácticas culinarias (las cuales pueden afectar los niveles de estas aminas en los alimentos preparados), siendo de esta forma difícil detectar una asociación confiable entre estos carcinógenos y el cáncer en humanos. Pero, por otro lado, el desarrollo de biomarcadores de exposición a algunas aminas heterocíclicas aromáticas específicas (de la dosis interna o biológicamente efectiva) está en curso. Un estudio de intervención en humanos ha demostrado que la 2-amino-1-metil-6-fenilimidazo[4,5-b]piridina (PhIP) podría medirse en orina con doce horas de consumo de carne a la parrilla. Los niveles de PhIP declinaban al nivel basal dentro de las 48-72 horas, demostrando la naturaleza pasajera del biomarcador. Esto último representa un problema cuando se está tratando de usar este biomarcador para identificar la ingesta de aminas heterocíclicas aromáticas una vez pasado ese tiempo (las cuales pueden, además, no haber sido consumidas sobre una base diaria). Además de los estudios que usan biomarcadores urinarios, otros estudios han evaluado potenciales biomarcadores de aminas heterocíclicas aromáticas, tales como los productos de interacción de aminas con hemoglobina y albúmina sérica, al igual que los niveles de estas aminas en cabello, pero estos marcadores no han sido estudiados o validados apropiadamente, aún.

Otro ejemplo de aplicación muy interesante de biomarcadores de la dosis biológicamente efectiva sobre aminas aromáticas, es su consideración como carcinógenos potentes que están presentes en el humo del cigarrillo y en varias exposiciones ocupacionales como las que ocurren en las industrias de las tinturas y colorantes. Usando un estudio de casos y controles sobre cáncer de vejiga en EE.UU., se midieron productos de hemoglobina con 3- y 4-aminobifenilo, como biomarcadores de exposición a las arilaminas. Se encontró una fuerte asociación global entre los niveles altos de estos productos de la hemoglobina y el riesgo de cáncer de vejiga; pero más interesante aún, se observó una fuerte asociación entre no fumadores, lo cual sugiere que otras fuentes de arilaminas podrían contribuir al cáncer de vejiga. Este estudio es un ejemplo de cómo el uso de biomarcadores de exposición puede ayudar no sólo para medir sino también para comprender mejor cuales exposiciones son relevantes para la etiología de la enfermedad (Alexander y cols., 2002; Strickland y cols., 2002; Skipper y cols., 2003; Kobayashi y cols., 2005).

Los *biomarcadores de exposición endógena* provienen de evaluar especies químicas con un potencial tóxico, que se generan continuamente en el propio metabolismo celular. En condiciones normales los sistemas de detoxificación mantienen la concentración

de estas sustancias en un nivel seguro. Sin embargo, algunas condiciones patológicas (no toxicológicas) pueden alterar estos equilibrios, expresándose entonces la toxicidad. Por ejemplo, las hormonas sexuales tales como los estrógenos y los andrógenos son factores de riesgo conocidos para el cáncer de mama (Castro y Castro, 2010). Algunos ejemplos de biomarcadores de exposición sustitutos para estudiar la relación entre exposición endógena a los estrógenos y cáncer son los niveles de estrógeno sérico, los metabolitos de los estrógenos (catecol estrógeno quinonas, con potencial alquilante) y aductos estrogénicos. Más interesante todavía es la situación en que estos biomarcadores pueden servirnos para revelar la exposición a xenobióticos que modifican el metabolismo celular, hormonal o no. El caso del alcohol modulando el metabolismo de los estrógenos es un excelente ejemplo de esta situación³. Otros ejemplos de exposición endógena están relacionados con enfermedades relacionadas con la edad. En este caso, el marcador de exposición (tal como el estrés oxidativo) puede ser el mismo que el marcador de efecto de una exposición exógena. Y aquí quiero plantear una reflexión, ¿podemos realmente discriminar entre efectos puramente endógenos y exógenos? Parecería que no.....

Los *biomarcadores de efecto* (también llamados de respuesta, evento o enfermedad), miden un evento que resulta de una interacción tóxica, que antecede a un efecto adverso para la salud o es por sí un efecto adverso para la salud. El desarrollo de biomarcadores de efecto y su uso en estudios poseen muchas aplicaciones en salud pública, incluyendo la provisión de información sobre la etiología de la enfermedad, la detección temprana de la enfermedad (rastreo) y para la evaluación de la eficiencia de los agentes terapéuticos. Los biomarcadores de efecto también son útiles en estudios mecanísticos porque estos marcadores miden usualmente algo ubicado en la secuencia de eventos dentro del proceso de la enfermedad. En estos estudios mecanísticos, puede medirse la asociación entre los diferentes tipos de marcadores (tales como los de exposición, de efecto temprano o efecto tardío, de la enfermedad en su etapa clínica, y de los modificadores del efecto). A menudo, los diseños de estudio "caso-caso" que comparan individuos con la enfermedad, expuestos y no expuestos, son usados para evaluar la asociación entre biomarcadores en el transcurso de la enfermedad. Este tipo de diseño de estudio ha sido especialmente útil en el estudio de enfermedades complejas y crónicas tales como el cáncer.

No abordaremos aquí la discusión de estos tipos de marcadores en detalle, sólo mencionaremos algunos de efecto que son relevantes para la carcinogénesis: la evaluación de daños relacionados con genes (mutaciones específicas, expresiones, efectos citogenéticos); del estrés oxidativo (daños relacionados con la oxidación del ADN, como la peroxidación lipídica, el contenido de glutatión); la concentración de hormonas

3. La interacción del consumo de alcohol con los niveles de estrógenos es compleja. Por un lado el etanol puede modificar el metabolismo de las hormonas, al incrementar la actividad enzimática responsable de su síntesis pero también deprimiendo (por citotoxicidad) esa misma capacidad. Por otro, modifica la respuesta de algunos tejidos al estímulo hormonal y ambos, alcohol y estrógenos, promueven la proliferación celular, por distintas razones.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

(estrógenos, andrógenos) o de factores de crecimiento; sustancias relacionadas con procesos inflamatorios (citoquinas); indicadores de la proliferación celular (pólipos de colon); de la estructura o función celular alteradas (lesiones en mucosas) o de la invasión celular (expresión de factores angiogénicos).

De modo parecido, se podría pensar en biomarcadores de efecto relevantes para otras enfermedades, tomando en cuenta el proceso de la enfermedad. Por ejemplo, los marcadores no específicos de inflamación tales como los niveles de la proteína C reactiva (CRP) y el óxido nítrico exhalado pueden servir como marcadores para enfermedad cardíaca y asma respectivamente.

En procesos de enfermedad crónica o con múltiples etapas y un período de latencia muy largo, tales como el cáncer, los biomarcadores pueden desarrollarse para medir un espectro amplio de eventos desde los pasos más tempranos, tales como los cambios genéticos, hasta los eventos más tardíos, tales como las lesiones pre-neoplásicas. Se hace evidente el enorme potencial de los biomarcadores como alertas tempranas de enfermedades (ver Figura 1). Debido a que los mecanismos para algunas enfermedades no están plenamente elucidados, no siempre es clara la división entre biomarcadores de la dosis biológicamente efectiva (daño que puede o no estar relacionado con la enfermedad) y los biomarcadores de eventos tempranos (daño predictivo de la enfermedad). Por ejemplo, las roturas de hélices simples de ADN (un modo de evaluar daño en el material genético) pueden ser biomarcadores en ambas situaciones.

Se han desarrollado biomarcadores de eventos tempranos para algunas enfermedades. Algunos de los estudios de epidemiología molecular que evalúan marcadores de eventos tempranos han sido los estudios de cáncer y se han enfocado en marcadores relacionados con daño genético, tales como las mutaciones de genes, cambios en la expresión de los genes y efectos citogénicos. Otros tipos de marcadores utilizados para estudiar el cáncer y otras enfermedades incluyen marcadores de estrés oxidativo, inflamación y parámetros internos, tales como los factores de crecimiento y los niveles hormonales. Los estudios del espectro mutacional del ADN han identificado mutaciones que son específicas de una exposición. Por ejemplo, los estudios humanos han reportado una alta prevalencia de una mutación específica en el gen *p53*⁴ en tumores de hígado de individuos expuestos a la aflatoxina, mientras que la mutación no se observa frecuentemente en tumores de hígado de individuos no expuestos. Se ha generado la hipótesis de que esta mutación sería tanto una "huella" de la exposición a la aflatoxina como un paso importante en el camino carcinogénico. Sin embargo, la mayoría de los biomarcadores de efecto

no son específicos para las toxinas ambientales.

Los *biomarcadores pre-clínicos* se utilizan en ensayos clínicos con propósitos de rastreo, para predecir enfermedades, o para evaluar terapias. Miden eventos que se ubican cerca del punto final del evento y tienen una gran sensibilidad para predecir la enfermedad. Algunos ejemplos de este tipo de biomarcador incluyen al antígeno prostático específico (PSA) para el rastreo de cáncer de próstata y la detección de pólipos en el rastreo de cáncer de colon.

¿Qué se conoce de esto para nuestro caballito de batalla, la correlación entre aminas aromáticas y cáncer de colon? Aunque las mutaciones en el gen supresor de tumor APC, los genes MMR y el oncogen K-ras⁵, son biomarcadores preclínicos aceptados, no sabemos de ningún estudio de epidemiología molecular que haya evaluado la correlación entre biomarcadores de efecto y exposición a aminas heterocíclicas aromáticas específicas, tales como el PhIP. Sin embargo, los estudios en líneas celulares humanas o animales tratadas con PhIP han provisto información sobre los mecanismos de la enfermedad y sobre posibles marcadores de efecto que podrían desarrollarse para estudios humanos (ver Figura 1). Los estudios en células humanas han mostrado que el PhIP causa mutaciones genéticas, formación de micronúcleos, aberraciones cromosómicas, intercambio de cromátides hermanas, daño del ADN y síntesis no programada de ADN. Todos estos puntos finales representan marcadores potenciales para estudios en humanos. Los estudios en animales han detectado que PhIP induce mutaciones en el gen APC, o en genes β -catenina (en tumores de colon inducidos por el PhIP). No se sabe si estas mutaciones se observarían en humanos o en animales alimentados con carne muy cocida (National Toxicology Program, 2004); es decir, en eventos más tempranos de la secuencia de eventos que conducen a la enfermedad.

¿Los genes nos benefician o nos condenan?

Los biomarcadores también pueden ser usados para identificar aquellos factores que aumentan la probabilidad de que un individuo desarrolle una enfermedad. Esta es un área de investigación importante en la epidemiología molecular, a medida que se hace más evidente que no todos los factores de riesgo contribuirán a la enfermedad de igual modo en la población humana. Por lo tanto, con el objeto de determinar si un agente ambiental está relacionado con la enfermedad, necesitan tomarse en consideración aquellos factores que también se requieren para el desarrollo de la enfermedad. Por otra parte, algunos factores de riesgo para la enfermedad pueden no ser detectados. Ejemplos de factores de sensibilidad que pue-

4. Transversión guanina a timina en el codón 249 de este gen. El gen *p53* es un gen supresor tumoral que desempeña un papel importante en la apoptosis y en el control del ciclo celular. Un gen defectuoso podría permitir que las células anormales proliferen dando por resultado cáncer (alrededor de la mitad de todos los tumores humanos contienen mutaciones en *p53*).

5. El gen supresor de tumores APC (*adenomatous polyposis coli*) se ha encontrado inactivado en más del 80% de los casos descritos de tumores colorrectales, apareciendo como una alteración temprana durante el desarrollo del pólipo adenomatoso. Los genes MMR (*mismatching repair*) tienen que ver con la capacidad para reparar lesiones en el ADN. Muchos tumores colorrectales tienen una expresión defectuosa de estos genes. Las proteínas ras promueven la oncogénesis mediante la alteración de la expresión genética y de procesos celulares como proliferación y migración.

den caracterizarse usando biomarcadores son algunas infecciones virales que predisponen a enfermedades específicas, como por ejemplo, infección por HIV y sarcoma de Kaposi, o infección por virus de hepatitis B y cáncer de hígado. Los biomarcadores también pueden utilizarse para evaluar factores dietarios que pueden contribuir a la enfermedad. Los factores de susceptibilidad más comunes estudiados usando un enfoque epidemiológico molecular son los hereditarios, los cuales discutiremos a continuación.

Nuestra comprensión sobre la contribución de la variabilidad genética respecto de la susceptibilidad a las enfermedades humanas, ni hablar de las ambientales, está en una etapa muy preliminar. Existen por supuesto algunos pocos ejemplos bien descritos de interacciones entre mutaciones y factores ambientales, como el clásico del *Xeroderma pigmentosum*⁶, donde las deficiencias en la capacidad de reparación de lesiones en el ADN aumentan la susceptibilidad a las radiaciones solares. Sin embargo, para otras enfermedades más comunes y en particular si hablamos de los cánceres más frecuentes en la población, se presume como muy probable una interacción entre factores ambientales y una combinación de variantes genéticas que definen la susceptibilidad hacia la acción del agente carcinogénico. A diferencia de las raras mutaciones como la mencionada más arriba, existen en la población humana variantes genéticas o *polimorfismos* mucho más comunes, en una frecuencia de al menos el 1%. El desafío de los estudios epidemiológicos moleculares en este campo consiste en identificar cuales polimorfismos pueden influir en el perfil de riesgo de enfermedad y también cuales de ellos pueden modificar el efecto de exposiciones ambientales.

Hasta ahora, el enfoque de la mayor parte de los estudios realizados para contestar estos planteos ha considerado la "hipótesis del gen candidato". La hipótesis de la teoría "*candidate gene approach*" es que la variante genética que altera la función del gen, contribuiría al desarrollo de la enfermedad, si esto ocurre en genes que son relevantes para causar esta enfermedad. Dados los múltiples mecanismos biológicos relevantes en una enfermedad, los genes de la susceptibilidad genética pueden tener efecto en diferentes sitios de la secuencia de eventos entre la exposición y la enfermedad.

Hasta ahora, la mayoría de los estudios epidemiológicos sobre susceptibilidad genética se hicieron sobre cáncer, enfocados sobre variantes de enzimas metabolizantes de carcinógenos como genes susceptibles putativos. Estos incluyen a las enzimas que participan en la activación de carcinógenos (tales como los citocromos P450; N-acetiltransferasas; ciclooxigenasas y sulfotransferasas), y también enzimas detoxificantes de carcinógenos (como la glutatión-S-transferasa; la

glucuronidasa y la catalasa).

La búsqueda de correlación entre el consumo de carne muy cocida y el cáncer colorrectal se basa en estudios sobre carcinógenos como las aminas heterocíclicas aromáticas y los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Los genes "susceptibles" podrían encontrarse entre aquellos que participan en la reparación del daño inducido por policíclicos, como los genes vinculados con la escisión de los nucleótidos o vía la reparación por escisión de bases. Otros candidatos a biomarcadores de susceptibilidad son las variantes en genes que convierten lesiones premalignas (ej. pólipos) a lesiones cancerosas (ej. carcinomas) y también variantes en genes que son relevantes en la angiogénesis⁷. Con el aumento de posibilidades para identificar variantes genéticas, la lista de genes estudiada en asociación con otros estudios, se ha expandido a otros procesos biológicos tales como la reparación del ADN, la apoptosis⁸, el ciclo celular y las vías hormonales.

El principal pronóstico de los estudios epidemiológicos moleculares que usan el enfoque del "gen candidato", es que *los sujetos que portan genes susceptibles pueden desarrollar más fácilmente la enfermedad específica que los sujetos que no los portan*. En estos estudios, la variante genética es un factor de riesgo a considerar. Usando esta hipótesis, la primera elección epidemiológica de genes candidatos estará basada en su relevancia en la enfermedad que interesa. Luego, las variantes genéticas que afectan la función del gen son identificadas entre cada gen candidato. Una vez identificados, los datos genéticos se colectan de todos los sujetos participantes del estudio epidemiológico específico de la enfermedad de interés. Finalmente, la contribución de cada variante genética al riesgo de enfermedad se estudia usando métodos epidemiológicos estándar.

Consideraciones finales

El avance de la epidemiología molecular en los últimos años es impresionante. Distintos desafíos se presentan, en su mayoría derivados de la complejidad creciente de los escenarios ambientales que condicionan a muchas enfermedades de la humanidad. El cáncer es una de las enfermedades más relevantes pero no debemos olvidar a las patologías neurológicas, del sistema inmunológico, de la salud reproductiva en ambos sexos, la teratogénesis, todos problemas donde se sospecha con buena razón la culpabilidad de la exposición creciente de las poblaciones a mezclas de sustancias químicas. La epidemiología clásica no puede enfrentar el análisis de riesgo en estas situaciones tan complejas porque sus herramientas no permiten fácilmente discriminar las causas múltiples ni prever las consecuencias de la exposición a sustancias químicas por distintas vías y a dosis que seguramente no producirían efectos inmediatos. Por otra parte, cuando se

6. Enfermedad de origen genético, donde la falla del organismo para reparar lesiones en el ADN inducidas por la luz solar (ultravioleta), vuelven al individuo extremadamente sensible a enfermedades como el cáncer de piel y el daño ocular severo.

7. La angiogénesis neoplásica es un proceso esencial en el crecimiento progresivo de las neoplasias y en la producción de metástasis. Comprende el desarrollo de nuevos vasos que aportan sangre a la masa tumoral.

8. La apoptosis es un programa metabólico que induce la muerte celular según secuencias estereotipadas, que culminan con la fragmentación de la célula y la digestión de sus fragmentos por fagocitos. El efecto fisiológico de ese programa es la eliminación de células decadentes, dañadas o superfluas, sin liberar su contenido al entorno. En carcinogénesis se considera a la apoptosis como un factor protector. Algunos carcinógenos pueden inhibirla.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

necesitan establecer regulaciones ambientales deben establecerse niveles de exposición seguros, concentraciones límite aceptables, etc. Este "aspecto cuantitativo" de la evaluación de riesgo toxicológico requiere del uso de herramientas que permitan medir, pero ya no sólo la presencia del tóxico en el ambiente, sino al tóxico mismo en el organismo expuesto (toxicocinética) o a las consecuencias deletéreas (toxicodinamia). La epidemiología molecular ha provisto mediante el uso de los biomarcadores los argumentos racionales para establecer niveles de riesgo razonables frente a exposiciones ambientales, ocupacionales, dietarias, etc. Un desafío apasionante de la epidemiología molecular sería el poder describir el perfil de susceptibilidad individual a cada tóxico; pero, a su vez, este tipo de conocimiento tendría implicancias éticas y legales muy complejas, particularmente en el ámbito laboral.

Seguramente estarán de acuerdo conmigo en que todos estos estudios requieren de la interacción de distintas disciplinas y profesiones. Químicos y bioquímicos tenemos un papel fundamental en los análisis. Junto con los biólogos participamos en la investigación sobre los mecanismos de acción de los tóxicos y en la búsqueda de los biomarcadores candidatos. Los estudios de campo están a cargo de los médicos y otras profesiones vinculadas con la salud, higienistas, etc. Algo nos debe vincular y es el conocimiento de conceptos básicos de la Toxicología. De otro modo no podría haber el diálogo necesario para llevar con éxito un proyecto de diseño de biomarcadores, que partiendo de lo experimental finalice en una aplicación práctica en la población.

Y para terminar la historia... ¿qué le responderíamos a Doña Rosa, que escuchó algo en la tele y ahora anda por el barrio asegurando que el asado trae cáncer?

Tarea nada fácil, ¿no? La transmisión de la información al público (entendiéndose por público algo mucho más amplio que Doña Rosa... debemos incluir a legisladores, funcionarios, prensa...) es un eslabón clave en la evaluación del riesgo; si se hace mal desperdicia cualquier esfuerzo realizado en la investigación. Es un tema que da para cortar mucha tela y no es mi propósito hacerlo hoy. Pero que no quepa duda que el comienzo de la historia está en lo que hemos transitado aquí.

Referencias bibliográficas

Alexander, J.; Reistad, R.; Hegstad, S.; Frandsen, H.; Ingebrigtsen, K.; Paulsen, J.E.; Becher, G. (2002). Biomarkers of exposure to heterocyclic amines: approaches to improve the exposure assessment. *Food Chem. Toxicol.*, 40(8), pp. 1131-1137.

Beresford, S.A.; Johnson, K.C.; Ritenbaugh, C.; Lasser, N.L.; Snetselaar, L.G.; Black, H.R.; Anderson, G.L.; Assaf, A.R.; Bassford, T.; Bowen, D.; Brunner, R.L.; Brzyski, R.G.; Caan, B.; Chlebowski, R.T.; Gass, M.; Harrigan, R.C.; Hays, J.; Heber, D.; Heiss, G.; Hendrix, S.L.; Howard, B.V.; Hsia, J.; Hubbell, F.A.; Jackson, R.D.; Kotchen, J.M.; Kuller, L.H.; LaCroix, A.Z.; Lane, D.S.; Langer, R.D.; Lewis, C.E.;

Manson, J.E.; Margolis, K.L.; Mossavar-Rahmani, Y.; Ockene, J.K.; Parker, L.M.; Perri, M.G.; Phillips, L.; Prentice, R.L.; Robbins, J.; Rossouw, J.E.; Sarto, G.E.; Stefanick, M.L.; Van Horn, L.; Vitolins, M.Z.; Wactawski-Wende, J.; Wallace, R.B.; Whitlock, E. (2006). Low-fat dietary pattern and risk of colorectal cancer: the Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial. *JAMA*, 295(6), pp. 643-654.

Butler, L.M.; Sinha, R.; Millikan, R.C.; Martin, C.F.; Newman, B.; Gammon, M.D.; Ammerman, A.S.; Sandler, R.S. (2003). Heterocyclic amines, meat intake, and association with colon cancer in a population-based study. *Am. J. Epidemiol.*, 157(5), pp. 434-445.

Castro, G.D.; Castro, J.A. (2010). Relación de los cánceres de próstata y de mama con el consumo de alcohol. *Salud i Ciencia*, 17(8), pp. 767-771.

Chao, A.; Thun, M.J.; Connell, C.J.; McCullough, M.L.; Jacobs, E.J.; Flanders, W.D.; Rodríguez, C.; Sinha, R.; Calle, E.E. (2005). Meat consumption and risk of colorectal cancer. *JAMA*, 293(2), pp. 172-182.

Kobayashi, M.; Hanaoka, T.; Hashimoto, H.; Tsugane, S. (2005). 2-Amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine (PhIP) level in human hair as biomarkers for dietary grilled/stir-fried meat and fish intake. *Mutat. Res.*, 588(2), pp. 136-142.

Lunn, R.M.; Stern M.C. (2008). Molecular epidemiology and genetic susceptibility. En: *Molecular and Biochemical Toxicology*, (Smart R.C.; Hodgson E., Eds.), John Wiley & Sons, Hoboken, pp. 607-637.

Matos, E.L.; Loria, D.I. (2003). *Atlas de Mortalidad por Cáncer. Argentina 1997-2001*. Instituto de Oncología "Angel H. Roffo" y Ministerio de Salud de la Nación, Buenos Aires.

National Toxicology Program. (2004). Selected Heterocyclic Amines. Report on Carcinogens, 11 edition, US Department of Health and Human Services, public Health Services, National Toxicology Program.

Skipper, P.L.; Tannenbaum, S.R.; Ross, R.K.; Yu, M.C. (2003). Nonsmoking-related arylamine exposure and bladder cancer risk. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, 12(6), pp. 503-507.

Strickland PT, Qian Z, Friesen MD, Rothman N, Sinha R. (2002). Metabolites of 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo(4,5-b)pyridine (PhIP) in human urine after consumption of charbroiled or fried beef. *Mutat. Res.*, 506-507, pp. 163-173.

WHO International Programme on Chemical Safety. (1993). Biomarkers and Risk Assessment: Concepts and Principles. Environmental Health Criteria 155. World Health Organization, Geneva.

World Cancer Research Fund – American Institute for Cancer Research (2007). Colon and rectum. En: *Food, Nutrition, Physical Activity and the Prevention of Cancer: A global perspective*. Washington DC: AICR, pp. 280-288.

***QUÍMICA, SOCIEDAD
Y MEDIO AMBIENTE***

25

LAS MUJERES Y LA QUÍMICA: UNA COMPLICIDAD DE GÉNERO

Dra. Silvia Porro

Profesora Titular, Universidad Nacional de Quilmes.

Email: sporro@unq.edu.ar

“Las noticias concluyeron con un anuncio de medias de nylon ‘Provocativa libertad que cuesta solamente nueve pesos’, proponía el locutor. Sonrió pensando cómo la modernidad en Faguas había llegado a las piernas femeninas, proponiendo *panty-house* a precios populares, liberación a través de las medias.”

(Gioconda Belli, escritora nicaragüense, *La mujer habitada*).

El papel principal que se le asignó a las mujeres, tanto antes como después del desarrollo de la química como disciplina, sea cual fuere su nivel social o económico, ha sido (y en muchos casos sigue siendo) el de ocuparse de su familia y velar por ella. Aún cuando tenga que ganarse el pan fuera del hogar, contribuir a solventar los gastos de la casa con un trabajo a domicilio o ejercer como profesional, la mujer consagra gran parte de su tiempo a lo que un amplio consenso define como su rol natural: el cuidado de la familia. Esto implica una cantidad de tareas que las mujeres repiten cotidianamente para alimentar a los miembros de su hogar y dedicarse a la limpieza de los niños, las niñas y la casa.

Las mujeres además son la clave fundamental en lo que se denomina salud reproductiva, que la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1992 afirmó que podría ser definida “no sólo como la ausencia de enfermedades o desórdenes en el proceso reproductivo, sino también como una condición en la cual el proceso reproductivo es acompañado por un completo estado de bienestar físico, mental y social, implicando que las mujeres tienen el derecho a una gestación y parto seguros y también que el éxito sea el resultado final de ese proceso, o sea, que los niños sobrevivan y crezcan saludables” (OMS, 1992). La Química ha contribuido fuertemente a la salud reproductiva, comencemos por el principio...

El parto, una “delicia” femenina

Si vamos a hablar de mujeres, podemos comenzar por el parto, ya que de allí venimos. Todos y todas sabemos que, gracias a los progresos científicos, la mortalidad de madres, hijos e hijas en ese crucial momento ha ido disminuyendo a través de la historia de la humanidad. La expectativa de vida de una mujer al nacer en la segunda mitad del siglo XVIII era de 28,4 años. De cada mil mujeres que nacían sólo la mitad alcanzaba los 15 años y la tercera parte los 45

(Dopico, 1993). Las estadísticas revelan que en 1850 la mortalidad de las parturientas en los hospitales era aún muy elevada, entre el 10 y el 20%. Ello se debía en parte a que las madres que acudían allí eran casi siempre raquílicas, tuberculosas, en la miseria total. Pero el factor principal era la fiebre puerperal (Knibiehler, 1993). En 1861, el eminente médico húngaro Ignacio Semmelweis consiguió una notable reducción en la mortalidad materna a través de un apropiado lavado de manos por parte del personal asistencial, pilar fundamental en que se asienta hoy en día la prevención de las infecciones intrahospitalarias. Actualmente la mortalidad materna se mide mediante un indicador denominado Razón de la Maternidad Materna, RMM (número de defunciones maternas por 100.000 nacidos vivos), que en la Argentina es igual a 40 (Ministerio de Salud, 2009) mientras que, por ejemplo, en Chile es de 19,8 y en Uruguay de 15,0. Lamentablemente, en los últimos años la RMM nacional no ha mostrado descensos significativos y algunas provincias muestran valores dos veces mayor (Romero y col., 2010).

La química contribuyó a facilitar uno de los avances más grandes en la atención del parto, la cesárea, por el descubrimiento de los anestésicos y los antibióticos. La cesárea permitió y permite aún salvar muchas vidas, tanto de la madre como del feto. Una de las teorías para explicar el nombre “cesárea” es que supuestamente Julio César nació por este método, aunque esto no puede ser cierto porque su madre vivió muchos años después del nacimiento en el 100 a.C. y para esa época la intervención era letal. Es necesario recordar que en esa época no había anestesia. La primera cesárea hecha en América fue realizada en Cumaná (Venezuela) por Alonso Ruiz Moreno en 1820. La madre murió a las 48 horas y el hijo sobrevivió y murió a la edad de 80 años (Uzcátegui, 2008). Gracias a los adelantos de la química, la fisiología y la física, es en el siglo XVIII cuando se pasa de un tratamiento analgésico-anestésico completamente empírico a un tratamiento científico. En 1774 el sacerdote inglés Joseph Priestley, teniendo referencia de los estudios de Boyle sobre gases, descubre y prepara el oxígeno, el óxido nitroso y el óxido nítrico. Durante más de 20 años se considera el óxido nitroso mortal, pero en 1796 un atrevido inglés, Humphry Davy, aprendiz de farmacia y ayudante de cirugía, decide aspirar el gas, y comprueba que es analgésico, y que no podía parar de reír. Davy afirmaba que el óxido nitroso parecía calmar el dolor físico y podía ser usado con ventaja en intervenciones quirúrgicas.

En el siglo XIX, Michael Faraday, gran químico y físico inglés, alumno de Davy, publicó en 1818: “si se inhala la mezcla de vapores de éter con aire común se producen efectos similares a los observados por el óxido nitroso” (Pérez-Cajaraville y col., 2005). Por esa época, en Alemania se abrió un nuevo campo a la investigación de principios activos procedentes de plantas. En 1804, Sertunen, farmacéutico de Westfalia, se dio cuenta que al tratar el opio con amoníaco observaba unos cristales blancos, que purificó con ácido sulfúrico y alcohol. Estos residuos producían sueño en los animales y los denominó *morfium* en honor al dios del sueño, Morfeo. En 1827, E. Merck & Company comercializó por primera vez la morfina. La destilación de alcohol mezclado con cloruro de calcio desarrollada por Samuel Guthrie (EEUU), Eugene Souberrain (Francia) y Justus von Liebig (Alemania) originó el descubrimiento del cloroformo en 1831 (Pérez-Cajaraville y col., 2005). La anestesia que se prueba a finales de la década de 1840, gracias al éter y al cloroformo, conoció una gran demanda, a pesar de la moral cristiana que prescribía a las hijas de Eva aceptar ese sufrimiento y convertirlo en ofrenda. En 1853, la reina Victoria pide cloroformo para traer al mundo a su octavo hijo (Knibiehler, 1993). Hoy en día la anestesia general aplicada al trabajo de parto ha quedado limitada a aquellos casos en que no es posible la aplicación de una técnica local, más segura y eficaz en el alivio del dolor de parto. El arsenal terapéutico disponible incluye fundamentalmente el óxido nitroso (que constituye uno de los métodos analgésicos más inocuos tanto para el feto como para la madre, siempre que se de con una mezcla del 50% de oxígeno), algunos halogenados, algunos opiáceos y anestésicos endovenosos.

Con respecto al otro descubrimiento que disminuyó drásticamente la mortalidad materna, los antibióticos (la palabra proviene del griego, *anti*, ‘contra’; *bios*, ‘vida’) incluyen a cualquier compuesto químico utilizado para eliminar o inhibir el crecimiento de organismos infecciosos. En un principio, el término antibiótico sólo se empleaba para referirse a los compuestos orgánicos producidos naturalmente por bacterias u hongos que resultaban tóxicos para otros microorganismos. En la actualidad también se emplea para denominar compuestos sintéticos o semisintéticos (esto significa, respectivamente, obtenidos por síntesis a partir de moléculas pequeñas generalmente derivadas del petróleo, u obtenidos por síntesis química a partir de precursores que generalmente son, en sí mismos, productos naturales). La principal categoría de antibióticos son los antibacterianos, pero se incluyen los fármacos antipalúdicos, antivirales y antiprotozoos. Sabemos que el empleo de los mismos en la operación cesárea reduce, considerablemente, el riesgo de infección post operatoria. Una propiedad común a todos los antibióticos es la toxicidad selectiva: la toxicidad hacia los organismos invasores es superior a la toxicidad frente a los animales o seres humanos. La penicilina es el antibiótico más conocido, y ha sido empleado para tratar múltiples enfermedades infecciosas, como la sífilis, la gonorrea, el tétanos o la escarlatina. En la primera década del siglo XX, el físico y químico alemán Paul Erlich ensayó la síntesis de compuestos or-

gánicos capaces de atacar de manera selectiva a los microorganismos infecciosos sin lesionar al organismo huésped. Sus experiencias permitieron el desarrollo, en 1909, del salvarsán, un compuesto químico de arsénico con acción selectiva frente a las espiroquetas, las bacterias responsables de la sífilis. El salvarsán fue el único tratamiento eficaz contra la sífilis hasta la purificación de la penicilina en la década de 1940. Fleming (científico escocés, 1881 – 1955) descubrió de forma accidental la penicilina en 1928 (Schnek, 2008); esta sustancia demostró su eficacia frente a cultivos de laboratorio de algunas bacterias patógenas como las de la gonorrea, o algunas bacterias responsables de meningitis o septicemia. Este descubrimiento permitió el desarrollo de posteriores compuestos antibacterianos producidos por organismos vivos. Howard Florey (farmacólogo australiano, 1898 – 1968) y Ernst Chain (bioquímico alemán, 1906 – 1979), en 1940, extrajeron la penicilina de los cultivos del hongo *Penicillium notatum* y la purificaron mediante métodos químicos; fueron los primeros en utilizarla en seres humanos.

Y aquí me gustaría hacer un paréntesis, viendo y considerando que este capítulo está dedicado a las mujeres, y recordar que la sífilis ha sido un flagelo, y lamentablemente lo sigue siendo, aún en el siglo XXI (Tucker y col., 2010) para las prostitutas. Donna J. Guy ha mostrado cómo a finales del siglo XIX la policía de Buenos Aires acusaba a las prostitutas de conducta escandalosa, mientras se resistía a arrestar a los hombres por crímenes sexuales o de familia. Asimismo, muchos médicos creían que las llamadas ‘mujeres públicas’ transmitían enfermedades ‘venéreas’ a sus clientes, pero en cambio desestimaban el papel que éstos jugaban en la infección de ellas e ignoraban la existencia de la prostitución masculina, limitando las regulaciones y el tratamiento médico sólo a las mujeres (Guy, 1991, pp. 85-6, 101-2).

Pero volviendo a los antibióticos, podemos también mencionar, por ejemplo, a la estreptomocina, ya que es el antibiótico que se emplea en el tratamiento de la tuberculosis, otra enfermedad que (al igual que la sífilis) aparecía como la materialización de un castigo para las muchachas de barrio que, en el Buenos Aires de principios del siglo XX, osaron desafiar su lugar en el mundo doméstico y barrial lanzándose al mundo de la noche y al cabaret del centro (Armus, 2002). La estreptomocina fue descubierta en septiembre de 1943, por el equipo de Selman Abraham Waksman, bioquímico ucraniano (1888 – 1973) quien recibió por esto el premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1952. Pero el bacilo de Koch (médico alemán quien descubrió el bacilo de la tuberculosis) supo defenderse de la estreptomocina y generar una lenta pero sostenida resistencia. Fueron apareciendo otros quimioterápicos y antibióticos, hasta culminar con el descubrimiento de la rifampicina por Piero Sensi, químico industrial italiano, en 1965, que pareció infligir al *Mycobacterium tuberculosis* un golpe decisivo.

Esos locos bajitos

Una vez que el niño nace, la principal función de la madre es alimentarlo, pero no siempre puede hacerlo naturalmente, por eso para la nutrición artificial de los bebés, desde tiempos lejanos, uno de los elementos fundamentales es la mamadera; se han encontrado biberones de cerámica en tumbas romanas y griegas, en excavaciones americanas en Arizona y en otras expediciones arqueológicas que datan incluso del 1500 a.C (Taylor, 1996). Los biberones antaño solían ser de barro, piedra, metal y madera; en la Edad Media eran de asta, cuernos de vaca ahuecados (Piponnier, 1992), material poroso que dificultaba su limpieza, y que usaban como tetinas ubres de vaca, las que se descomponían con rapidez (Lemus Lago, 2001); pero el desarrollo de nuevos materiales por parte de la Química, permitió a las mamás aumentar la higiene. Con el tiempo se utilizaron tetinas de hule (también llamado caucho), lo que mejoró la higiene de la alimentación artificial. Inicialmente se utilizó hule natural, pero éste no es un plástico útil porque es demasiado blando y demasiado reactivo químicamente. En 1839, Charles Goodyear (estadounidense) descubrió accidentalmente que si se agrega azufre al hule y luego se calienta la mezcla, el hule se vuelve más duro y menos susceptible a la oxidación u otro ataque químico; a este proceso de lo denomina vulcanización y a este nuevo material se lo llamó goma vulcanizada. En 1845, el señor Elijah Pratt, patentó en Estados Unidos la primera tetina de goma, lo que permitió que éstas pudieran ser lavadas y esterilizadas con más cuidado, y así evitar infecciones. También el material de los mordillos fue evolucionando, al inicio eran de coral, marfil o hueso, pero al inventarse la goma vulcanizada, este material opacó a los anteriores (Fogel, 2004). A pesar de que el vidrio se difunde a partir del siglo XIII en toda la Europa mediterránea, recién en el siglo XIX, la generalización de los biberones de vidrio y las tetinas de caucho, y el desarrollo de la higiene pasteuriana, a partir de 1890, permitió la esterilización de esos elementos en agua hervida que, junto con las campañas de vacunación, hizo disminuir drásticamente las enfermedades que diezmaban a la población infantil.

Actualmente uno de los materiales utilizado para las mamaderas es el policarbonato termoplástico, cuyo descubrimiento se produjo en 1953, casi simultáneamente, por los químicos Hermann Schnell (en la empresa Bayer, Alemania) y Daniel Fox (en la General Electric Corporation, EEUU). El policarbonato se utiliza en miles de productos de consumo tales como recipientes de alimentos reutilizables, dispositivos médicos necesarios para salvar vidas y equipos de protección deportivos. Los fabricantes de dichos productos, incluidos las mamaderas, utilizan policarbonato porque este material no se raja ni estalla. El uso de plástico para la fabricación de mamaderas está regulado por autoridades tales como la EFSA (European Food Safety Authority o Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) y por la FDA (Food and Drug Administration o Dirección de Alimentos y Medicamentos) de Estados Unidos.

Los anticonceptivos

La Química no sólo facilitó la vida a las madres, sino que además contribuyó al derecho de elegir si serlo o no, y en qué momento, con el descubrimiento de la píldora anticonceptiva. En el primer texto médico del que se tiene noticia, *El Papiro de Petri*, texto egipcio de 1850 a.C., figuraban ya recetas anticonceptivas, una consistía en una irrigación de la vagina con miel y bicarbonato de sodio nativo natural. Los espermicidas ya eran conocidos desde la antigüedad y su desarrollo comenzó cuando en 1677 Lazzaro Spallanzani (quien fuera considerado la más enciclopédica figura de la fisiología italiana ilustrada) descubrió que el pH de una solución de semen se disminuía al añadir vinagre, y como consecuencia, los espermatozoides perdían su eficacia (Díaz Alonso, 1995). Sin embargo, no es hasta finales del siglo XIX que comienza la investigación acerca de la utilización de sustancias esteroideas (hormonas lipídicas) para la anticoncepción, al observarse que los folículos ováricos no se desarrollaban durante el embarazo. La demostración que la anticoncepción hormonal era posible aparece por primera vez en el trabajo de *Ludwig Haberlandt*, fisiólogo de la Universidad de Innsbruck, quien publicó muchos trabajos sobre este tema desde 1921 y fue quien señaló en 1927 que la progesterona era capaz de inhibir la ovulación (Hunter, 1972). Entre 1929 y 1934, se identificaron los primeros estrógenos y la progesterona. Al principio era muy complicado poder extraer de las glándulas de los animales estos compuestos, hasta que se logró el descubrimiento de las sustancias sintéticas y semisintéticas con efectos biológicos similares. Entre 1939 y 1940, los químicos de las compañías europeas crearon, a través de la síntesis orgánica, las principales hormonas sexuales a partir del colesterol; sin embargo las hormonas obtenidas por este medio eran limitadas y costosas. Así que, en ese entonces, el problema a resolver era cómo obtener hormonas en cantidad y calidad suficientes a partir de materias primas abundantes para satisfacer la demanda.

En mayo de 1960 la FDA aprueba la píldora anticonceptiva, que permitirá a la mujer desarrollar su carrera profesional, fomentar los movimientos feministas y "pro-choice" y animar a tener una actitud más abierta con respecto al sexo, según afirmaban sus promotores (Villar Amigó, 2008). Desde entonces ha pasado mucho agua bajo el puente; como afirma Luis Miramontes (un químico mexicano que colaboró en las primeras investigaciones en el tema) en una entrevista muy interesante que le realizaron Hinke y Carrillo Trueba (2008): "las condiciones de mercado juegan un papel importante en el desarrollo de un método, y una vez que se produce no puede quedarse estático, se tiene que continuar la investigación siempre, para mejorar o encontrar otra manera de hacerlo...ahora hay versiones inyectables, el efecto de una inyección dura cuatro meses y no se tiene la molestia de estar tomando la píldora todos los días".

El aborto y los antisépticos

Como contrapartida del avance que ha significado el desarrollo de los anticonceptivos, me voy a referir brevemente a un tema que aún hoy en día enciende debates fervientes, y frente al cual existen posiciones muchas veces irreconciliables: el aborto. Como ejemplo de la problemática compleja que este tema implica, recomiendo la lectura de un texto escrito por Cornelia Hughes Dayton (1999), historiadora de la Universidad de Connecticut, donde se relata la muerte de una joven debido a prácticas médicas rurales, que implicaron primero la administración de hierbas abortivas (que la joven tomó contra sus deseos ya que en el contexto en el que vivía el aborto no era una libre elección) y luego, al fracasar ese tratamiento, una intervención casera sin las debidas condiciones higiénicas. Hoy en día, lamentablemente, esto sigue ocurriendo en muchos abortos clandestinos, mientras que en los abortos terapéuticos, realizados en hospitales públicos, y en los abortos ilegales, pero llevados a cabo por médicos en consultorios y clínicas privadas (a los que acceden solamente los sectores medios y altos de la sociedad) se cuenta con los medios necesarios para asegurar la asepsia y la seguridad.

Me parece importante precisar los conceptos de antisepsia y asepsia: el primero alude a la destrucción de los gérmenes en las heridas por medio de agentes químicos (y aquí aparece nuevamente la Química mejorando la calidad de vida). El segundo se refiere al método por medio del cual se dejan libres de gérmenes, antes de la intervención, todos los objetos que vayan a tocar la herida o la piel del enfermo. Con respecto a la asepsia, ya en la era precristiana, Hipócrates (460-377 a.C.) la presagió cuando recomendó el uso del vino o del agua hervida para lavar heridas. Galeno (131- 200 a.C.), quien ejerció en Roma, hacía hervir los instrumentos que usaba para atender las heridas de los gladiadores. Sin embargo, habrían de pasar cientos de años antes de que los cirujanos comprendieran la razón del lavado. Fue Louis Pasteur (1822-1895), químico y microbiólogo francés, quien estableció la validez de la teoría de las enfermedades producidas por gérmenes y encontró que podía detener la proliferación de los organismos por medio del calor. Con sus experimentos realizados en el aire puro de las alturas de los Alpes, desmintió la teoría de la generación espontánea de los organismos, al demostrar que estos procedían de otros similares de los cuales ordinariamente el aire está saturado. Esos descubrimientos estimularon su interés y motivaron sus estudios sobre la infección y la putrefacción.

Otro personaje que marcó un hito en la cirugía moderna fue el cirujano inglés Joseph Lister (1827-1912), su nombre está ligado a la creación de la cirugía antiséptica ya que dio importancia a la teoría de los gérmenes con relación a la cirugía y la infección, y realizó estudios sobre agentes químicos para combatir las bacterias y las infecciones quirúrgicas. Lister estableció en 1885 el uso de fenol, para la desinfección de los quirófanos, lo que se considera el origen propiamente dicho de la asepsia (Nodarse Hernández, 2002). El

fenol había sido obtenido por primera vez por Friedrich Runge (químico analítico alemán) en 1834 cuando separó del asfalto lo que él llamó ácido carbólico, nombre con el que se conoció por mucho tiempo. Posteriormente, Sir William MacEwen (1857-1937), abandonó el ácido fénico y usó la esterilización de las gasas por ebullición; por esto es considerado como el precursor del método aséptico. Lograr un método antiséptico para las manos de los cirujanos también fue objeto de múltiples ensayos; se llegó a la conclusión de que ni el vapor ni el agua hirviendo podían ejercer una acción antiséptica en las manos y, así mismo, se demostraron los efectos limitados del fenol. Entre 1885 y 1890 se hicieron ensayos para desinfectar las manos con paños impregnados de alcohol o mediante el uso de pomadas fenolizadas. Fue Johan Von Mickulicz (médico cirujano polaco, 1850-1905) quien ideó y empleó guantes esterilizados al vapor, pero se humedecían y había que cambiarlos continuamente. En el año 1890, en el Hospital John Hopkins de la ciudad de Baltimore, el cirujano William Stewart Halsted (1852-1922) resolvió el problema al confeccionar guantes de goma para su instrumentadora Caroline Hampton; dichos guantes se hicieron de uso obligatorio para todos los cirujanos a partir de 1894.

Y ya que este capítulo se centra en las mujeres, es importante recordar el aporte de las enfermeras a los desarrollos en la asistencia médica. A mediados del siglo XIX Florence Nightingale (1820-1910) recomendó el uso de agua y aire puros, drenaje eficiente, limpieza y luz para lograr la salud. Su experiencia como enfermera durante la guerra de Crimea probó la eficacia de sus recomendaciones. En 1889 ya se abría un programa de estudios que incluía la especialización de la enfermera de quirófanos.

Jabones y detergentes: esos grandes aliados

La higiene de los niños y las niñas, la limpieza de la casa y el lavado de la vajilla también eran, naturalmente, tarea femenina (lo último fue corroborado en el siglo pasado, en el año 1994, por un famoso Ministro de Economía de la República Argentina que sugirió a una investigadora que se fuera a lavar los platos; Moledo y Jawtuschenko, 2008). La necesidad de limpiar parece ser tan antigua como las civilizaciones, pero los jabones han ido evolucionando de la mano del desarrollo de la Química. La preparación del jabón es una de las más antiguas reacciones químicas de las que se tiene constancia, junto con la fermentación y las aleaciones. La elaboración del jabón es una de las industrias más antiguas del mundo, aunque nadie sabe cuándo se descubrió realmente. La idea del jabón se desarrolló hace más de 4000 años, cuando los Hititas del Asia Menor se lavaban las manos con la ceniza de la hierba jabonera, suspendida en agua. El primer producto de limpieza fue creado por los sumerios, que datan aproximadamente del 2500 a. C., pero seguramente éste no era químicamente similar al jabón como lo conocemos hoy en día. La primera preparación moderna del jabón de la que se tiene noticia

(González García, 2006) fue desarrollada en el año 600 a.C. por los fenicios, que mezclaron grasa de cabra con ceniza (ahora sabemos que es rica en carbonato de potasio) para conseguir un producto sólido y de consistencia cerosa. Su fabricación también era conocida por los griegos y romanos. Algunas fuentes indican que los galos hicieron jabón y que los últimos romanos, durante la conquista de Julio César, aprendieron de ellos este arte; en Pompeya se han encontrado los restos de una fábrica de jabón (Failor, 2002). En el siglo I d.C. el historiador romano Plinio describió las diversas formas de jabones duros y blandos que contenían colorantes. Eran conocidos como *rutilandis capillis* y utilizados por las mujeres romanas para limpiar sus cabellos y teñirlos de colores brillantes.

En 1791, Nicolás Leblanc, químico francés, inventó un proceso para obtener carbonato de sodio utilizando sal común. Esto revolucionó la fabricación del jabón (Abud, 2004), ya que la disponibilidad de este material más barato aceleró el crecimiento de la industria y facilitó que el jabón se convirtiera en un producto de uso cotidiano. En 1823, Michel Eugène Chevreul (1786-1889), otro químico francés, descubrió que el jabón, preparado mediante la reacción de un álcali con grasa animal, se podía separar en varios compuestos orgánicos puros a los que llamó "ácidos grasos". Los estudios de Chevreul sobre jabones y ceras lo condujeron a patentar un método para fabricar velas, que también han contribuido seguramente al mejoramiento de la calidad de vida de las mujeres y sus familias, en las épocas en que no se contaba con corriente eléctrica en los hogares. El primer jabón ampliamente comercializado fue desarrollado por Procter en 1878, quien decidió que la fábrica de jabones y velas de su padre, debía producir un jabón delicadamente perfumado y cremoso; alcanzó su objetivo con la ayuda del químico Gamble, que elaboró un producto que producía abundante espuma y que denominó jabón blanco (González García, 2006). Actualmente, en el ámbito industrial, los jabones se fabrican mediante una reacción llamada de saponificación. La saponificación es una reacción química entre un ácido graso (o un lípido saponificable, portador de residuos de ácidos grasos) y una base o álcali, en la que se obtiene como principal producto la sal de dicho ácido y de dicha base. Se utilizan como materia prima el sebo animal y algunos aceites vegetales. Las grasas animales dan lugar a jabones duros, mientras que los aceites vegetales, producen jabones blandos. Las moléculas de los jabones son lineales, esto permite que los microorganismos puedan degradarlas, por lo que en poco tiempo no queda residuo de jabón en los lagos, ríos o mares donde se vierten las aguas de drenaje. Pero los jabones tienen algunos inconvenientes: necesitan agua caliente para disolverse, se descomponen en soluciones ácidas y no hacen espuma en aguas duras (aquellas que contienen grandes cantidades de iones de magnesio y calcio). En 1890, A. Krafft, investigador químico alemán, observó que ciertas moléculas de cadena corta, que no eran sustancias jabonosas, producían espuma

como el jabón al unirse con alcohol. Conclusión, produjo el primer detergente¹ del mundo, pero en aquel momento el descubrimiento no interesó y permaneció como mera curiosidad química. Durante la Primera Guerra Mundial, debido a la escasez de grasa animal y aceites naturales en Alemania, los químicos F. Gunther y M. Hetzer recordaron entonces el curioso hallazgo de Krafft y elaboraron el primer detergente comercial. Estos detergentes posteriormente se mejoraron y pudieron emplearse para uso doméstico; no presentaban los inconvenientes de los jabones, pero como sus moléculas no eran lineales no podían ser degradados por microorganismos. Después de años de consumirse esos productos por toneladas, muchos fuentes de agua han sido dañadas ecológicamente y presentan espumación permanente. Estos productos se han modificado para que no produzcan problemas de contaminación. La solución ha sido sintetizar detergentes con cadenas lineales, éstos son biodegradables, su producción es más costosa pero no contamina. En la actualidad muchos productos de limpieza están basados en detergentes sintéticos.

Hogar, ¿dulce hogar?

En el siglo XIV un burgués parisino redactó un tratado para uso de su joven esposa (Pichón, 1846) donde no menciona casi otra cosa que los procedimientos propios para desembarazarse de las pulgas y de otros insectos perjudiciales. Lo más eficiente en esa época para combatir los piojos eran los peines con doble fila de dientes que eran de madera, hueso y a veces marfil. En el campo del control de plagas, recién a mediados del siglo XX se produjo una revolución, estimulada por el descubrimiento a comienzos de la década de 1940 de las propiedades insecticidas del DDT, que es sumamente tóxico para la mayoría de los insectos. En enero de 1944, por primera vez en la historia de la humanidad se detuvo con DDT una epidemia invernal de tifus. La producción de alimentos aumentó a nivel mundial y fue posible erradicar el paludismo. Pero el uso de este compuesto sintético orgánico ha sido uno de los "remedios peores que la enfermedad". Al comenzar la década de los '50, se observó el desarrollo de insectos resistentes al DDT, por lo que fue necesario incrementar las dosis de esta sustancia. Esta situación hizo que los depredadores naturales y los parásitos útiles fueran destruidos junto con los insectos dañinos, esto provocó un efecto sobre la cadena alimentaria ya que el DDT se empezó a acumular primero en los peces, después en las aves que se alimentaban de ellos y por último en los animales que consumían los peces (incluso los seres humanos, en quienes provoca efectos degenerativos en el hígado). En 1970 se prohibió el uso del DDT, primero en Canadá, Suecia y Estados Unidos, y posteriormente a nivel mundial. Los problemas provocados por la aplicación reiterada de los primeros insecticidas químicos han obligado a nuevos enfoques de la lucha contra estas plagas y a la búsqueda de ma-

1. El jabón también es un detergente, pero quedó incorporado históricamente el nombre detergente para los compuestos sintéticos que no provienen de productos naturales como las grasas y aceites.

terias activas más aceptables ecológicamente. Hoy en día, las pulgas siguen subsistiendo en los animales domésticos, y los piojos en la cabeza de nuestros niños y niñas, sin distinción de clases sociales, pero afortunadamente, gracias al progreso de la Química, las mamás y los papás cuentan con numerosos pulguicidas y piojicidas con un mayor margen de seguridad, como las piretrinas (naturales) o los piretroides (derivados sintéticos) que tienen menor efecto residual, aparentemente menor impacto ambiental y escasa toxicidad en seres humanos. Con respecto a la limpieza de la ropa, en Europa a lo largo del siglo XIX y hasta bien entrado el siglo XX, la colada era, para muchas amas de casa, la faena doméstica de mayor dureza, normalmente se realizaba una vez a la semana y siempre haciendo frente a los rigores del tiempo (Avila Ojer, 1997). En una entrevista realizada a una mujer vasca sobre las costumbres de esa época, ella afirma *“Las camas eran más anchas y las sábanas de lienzo (...). Pero era duro de lavar todo aquello y el proceso complicado(...) porque no había guantes y teníamos que frotar la ropa con las manos y se nos quedaban los nudillos heridos (...). Desde que tengo lavadora no creo ni yo misma que una vez fue tan difícil lavar la ropa* (Amézaga Iribarren, 1980).

En el párrafo anterior se nota la ausencia de elementos que hoy en día nos parecen tan normales, pero que se han ido desarrollado a lo largo del siglo XX, como los guantes de goma, los tejidos sintéticos y los productos que facilitan la tarea del planchado, todos ellos descubiertos por la Química. La mayoría de las personas nunca ha reflexionado sobre los materiales que se usan para fabricar los objetos que contribuyen a hacer confortable nuestra vida cotidiana. La ciencia de materiales (una rama de la Química) es el estudio de la síntesis de nuevos materiales con mejores propiedades, para fines específicos, y es uno de los campos más activos en la ciencia actual. El desarrollo de los materiales plásticos comienza en la segunda mitad del siglo XIX, período en que se desarrolló la elaboración de materiales moldeados fabricados a partir de gomas, resinas y proteínas naturales. El inglés Alexander Parkes en 1856, inventó el nitrato de celulosa y luego de desarrollar diversos métodos para su elaboración patentó su producto con el nombre de parkesina, presentándolo en la Gran Exhibición de Londres de 1862. Este material revolucionó el mercado y se posicionó como el primer producto termoplástico de origen artificial. Paralelamente, en Estados Unidos, John Wesley Hyatt en 1860, respondiendo al llamado de un concurso para encontrar un sustituto para las bolas de billar de marfil (¡los elefantes agradecidos!), desarrolló un tipo de nitrato de celulosa utilizando alcanfor como plastificante. Hyatt no ganó el concurso pero patentó su producto en 1870 con el nombre de celuloide, el cual llegó a ser el primer plástico comercial de los Estados Unidos (Espinoza Moraga y Araya Monasterio, 2006). En 1927 surgen las primeras patentes sucesivas para la producción industrial del polivinilcloruro (PVC) casi simultáneamente en Estados Unidos y Alemania. Se fabricaron objetos simulando cuero y caucho, y fue utilizado para el aislamiento de cables eléctricos, la fabricación de láminas y hojas flexibles como bolsas y

envoltorios, además de una gran cantidad de objetos moldeados. La década de los años treinta se caracterizó por un gran desarrollo de nuevos materiales plásticos. En el año 1933, dos químicos de la Imperial Chemical Industries, E. W. Fawcett y R. O. Gibson, desarrollaron el polietileno, cuya comercialización comenzó en el año 1935. En la misma industria, en 1934 se fabricó el polimetilmetacrilato, conocido comercialmente como acrílico. En 1935, Wallace Hume Carothers, químico estadounidense (1896-1937) descubrió el nylon, a partir de la polimerización de una amida (cada uno de los compuestos orgánicos nitrogenados que resultan de sustituir uno, dos o los tres hidrógenos del amoníaco por radicales ácidos). Carothers descubrió que el polímero resultante presentaba la propiedad de transformarse fácilmente en filamentos. El nylon fue patentado en 1938, luego de la muerte de Carothers, por la empresa DuPont que conservó la patente y produjo esta fibra sintética fuerte y elástica, que reemplazaría en parte a la seda y el rayón. Paralelamente el mismo año, el químico Roy Plunkett, de Dupont, descubrió el Teflón, que fue comercializado a partir del año 1938.

En 1887, Hannibal Williston Goodwin, en Estados Unidos, utilizó el celuloide como soporte para película fotográfica, revolucionando el campo de la fotografía y abriendo el camino al nacimiento del cine, que ha sido un entretenimiento que ha permitido a las mujeres salir de su hogar y desarrollar su imaginación (recordemos el maravilloso personaje de Mia Farrow en *La Rosa Púrpura de El Cairo*): *“A menudo las fantasías vienen a suplir los deseos frustrados y a expresar lo inexpresable dándonos la posibilidad de descifrar y entender lo que, de otro modo, no nos sería posible, y de dialogar cuando la realidad nos condena a la agresividad y al silencio”* (Aguilar Carrasco, 2004). El celuloide fue usado como soporte cinematográfico hasta el año 1940, su gran desventaja era su alta inflamabilidad y por lo tanto el peligro de incendio en los cines y en los depósitos de películas (¿cómo olvidar la conmovedora escena de *Cinema Paradiso*?). Con el celuloide también se han fabricado juguetes, como por ejemplo móviles para cuna, que han ayudado a las mamás a mantener a sus bebés entretenidos. Y también me parece importante mencionar al polietileno, de usos domésticos y cotidianos en forma de película, que nos sirve para empaquetar productos alimenticios, aplicación en la cual su flexibilidad a baja temperatura hace satisfactorio su uso en los refrigeradores, y por lo tanto nos facilita el orden y la limpieza en nuestras heladeras y *freezers*. Y, por último, ¿qué decir de las fibras de acrílico que son semejantes a la lana pero son resistentes a las polillas y hongos?

Higiene personal, cuidado del cuerpo y cosméticos

Un producto cosmético es *“toda sustancia o preparado destinado a ser puesto en contacto con las diversas partes superficiales del cuerpo humano, con el fin exclusivo o propósito principal de limpiarlas, perfumarlas y protegerlas, para mantenerlas en buen estado, modificar su aspecto y corregir los olores corporales”* (Olmo, 1997). La limpieza y la higiene perso-

nal son conceptos relativos que sufren una transformación radical entre finales de la Edad Media y el siglo XVIII. En los siglos XVI y XVII la higiene corporal pasó a ser algo completamente ajeno al agua, en que la limpieza de la ropa blanca reemplazó a la de la piel. El miedo al agua (debido al contagio a través de ella de la peste bubónica y la sífilis) dio lugar a toda una serie de sustitutos, tales como el "champú seco". Se dejaba toda la noche en la cabeza y por la mañana se quitaba con el peine junto con la grasa y otras impurezas. Recién en los años cuarenta del siglo XVIII los aristócratas comenzaron a bañarse nuevamente (Matthews Grieco, 1993). En el siglo XIX las damas se esfuerzan por conservar una carnación de perla, de nácar, con lo cual demuestran que salen poco, que aman su casa (Knibiehler, 1993). Por miedo a los resfriados, la cabellera no se lava, sino que se cepilla largamente. Se juzgaba que su olor turbaba a los hombres. Pero la sensibilidad olfativa se refina. Las emanaciones del cuerpo femenino, que durante tanto tiempo se habían tenido por afrodisíacas comienzan a inspirar cierta repugnancia, quizá a causa de los confinamientos urbanos. Y es así como el perfume sale en ayuda de las damas, ya que se le adjudicaba una serie de virtudes, la más importante de las cuales era la eliminación de olores desagradables y su función como desinfectante y purificador.

El perfume, tal como lo conocemos, no podría haber llegado a existir sin la alquimia, el antiguo arte cuya finalidad era convertir la materia prima, mediante una serie de transformaciones, en una forma perfecta y purificada; en la Europa medieval la alquimia floreció hasta bien entrado el siglo XVII. A medida que la ciencia y la razón fueron ganando terreno, la alquimia se fue eclipsando y el legado práctico de los alquimistas pasó a los químicos. Pero los perfumeros conservaron durante mucho tiempo algunos métodos alquimistas. El libro francés de perfumería más antiguo que se conoce es *Les secrets de Maître Alexys* del año 1555 (Aftel, 2001). En cuanto al maquillaje, desde la prehistoria hasta nuestros días, éste ha sido un elemento destacado en la figura femenina, que ha determinado su presencia en las sociedades y culturas. El arte de cuidar el rostro con ungüentos y sustancias diversas se remonta al origen de la humanidad, ya que desde la época prehistórica el ser humano ha empleado diversos recursos para limpiarse y decorarse, a fin de protegerse o distinguirse de los demás. Cronológicamente es necesario mencionar la relevancia de los egipcios como pioneros en esta práctica. Las mujeres egipcias ya poseían la visión de mantener una piel bella y joven; y es por eso que dedicaban especial atención al baño, el maquillaje y los tintes para el cabello. Podríamos comparar el cuidado del cuerpo de una mujer egipcia con el de una mujer actual. Usaban desodorantes, tónicos para la piel y capilares, ungüentos blanqueadores, suavizantes o antiarrugas (López Agüero y Stella, 2007). De hecho fueron las primeras en utilizar la planta de henna; la henna es un tinte vegetal temporal que se obtiene de la hoja de varios arbustos pertenecientes a la familia *Lythraceae* (Aubaile-Sallénave, 1982). Durante la edad media los sacerdotes católicos intentaron eliminar todas las prácticas que permitieran hacer más atractivas a las

mujeres. Pero durante los siglos XV y XVI, con la gran transformación del Renacimiento, regresa el gusto por los placeres y la belleza. La amplia distribución social de los cosméticos nos la proporcionan las colecciones de recetas de éstos que incluyen el precio de ciertas preparaciones. Los *Esperimenti* de Catalina Sforza (1490-1509), por ejemplo, proporcionan recetas para cremas que blanqueen la cara o pinturas para conseguir mejillas sonrosadas (Matthews Grieco, 1993).

En el siglo XX el progreso económico del planeta hace que millones de personas se conviertan en consumidores de productos para la higiene: champús, jabones, tinturas, cremas. Y, obviamente, es la Química la disciplina más involucrada en este desarrollo; por ejemplo L'Oréal, una de las empresas que es líder mundial en la fabricación de cosméticos, fue creada en 1909, por el químico Eugène Schueller en Francia, como la French Harmless Hair Colouring Company (Empresa francesa de tinción inocua para el cabello). Originalmente, el jabón y el champú eran productos muy similares; ambos contenían surfactantes, que es cualquier sustancia que reduce la tensión interfacial entre dos superficies en contacto. El mecanismo químico que hace funcionar el champú es el mismo que el del jabón. El cabello sano tiene una superficie hidrofóbica a la que se adhieren los lípidos, pero que repele el agua. La grasa no es arrastrada por el agua, por lo que no se puede lavar el cabello sólo con agua. Cuando se aplica champú al cabello húmedo, es absorbido en la superficie entre el cabello y el sebo. Los surfactantes reducen la tensión de superficie y favorecen la separación del sebo del cabello. La materia grasa se emulsiona con el champú y el agua, y es arrastrada en el enjuague. El champú moderno sintético (no jabonoso), tal como se lo conoce en la actualidad, fue introducido por primera vez en la década de 1930; sin embargo, aquellos champús de primera generación se vieron mejorados en sus fórmulas con la incorporación de ciertos aditivos acondicionadores y más tarde con otros principios activos tratantes y correctores. Los investigadores y fabricantes también corrigieron el pH, adecuándolo al pH del cuero cabelludo. En la actualidad, cuando se podría pensar que ya todo está dicho, que se ha llegado a la cúspide y que ya no es posible mejorar los productos existentes, los investigadores siguen en la búsqueda de nuevos champús. La química también desarrolló los acondicionadores para el cabello, las madres modernas no deben ni imaginar lo que sufrían nuestras madres (¡y nosotras!) cuando debían desenredar nuestra cabellera sin la ayuda de esos productos.

Los productos bronceadores y protectores solares también son invenciones modernas. La industria de los bronceadores no comenzó en realidad hasta la Segunda Guerra Mundial, cuando los gobiernos beligerantes necesitaron cremas para la piel a fin de proteger a sus tropas estacionadas en el Pacífico y otros lugares de clima extremo. Asimismo, la práctica de tomar baños de sol hasta que el cuerpo adquiriera un tono dorado o bronceado es, mayormente, un fenómeno moderno. A lo largo de la historia, gentes de muy diversas culturas adoptaron grandes precauciones para evitar la

exposición de la piel a los rayos del sol. Sólo quienes trabajaban en el campo adquirían un tono bronceado, mientras que una piel blanca era signo de alto rango. Tanto en Europa como en América, dos factores contribuyeron a dar popularidad al bronceado. Hasta los años veinte, la mayoría de quienes vivían tierra adentro no tenían acceso a las playas, pero cuando los ferrocarriles y los coches permitieron un transporte masivo hacia esos lugares, el baño en el mar se convirtió en un pasatiempo popular. Durante los años treinta, a medida que los trajes de baño dejaban cada vez más piel al descubierto, se puso de moda el bronceado, pero éste, a su vez, introdujo el riesgo de las quemaduras. Al principio, los fabricantes no apreciaron debidamente el mercado potencial para los bronceadores, ni tampoco para los protectores solares. Sin embargo, los soldados que peleaban en tierras de África o en las Filipinas, que trabajaban en las cubiertas de los portaviones o que, en un momento dado, podían encontrarse a bordo de una balsa en pleno Pacífico, no podían gozar de la sombra a su antojo. Por consiguiente, al principiarse los años cuarenta el gobierno norteamericano, junto con otros, empezó a experimentar con productores de protección solar. Uno de los científicos que ayudaron a los militares a conseguir una eficaz loción de protección solar fue el doctor Benjamin Green, un farmacéutico estadounidense que, después de la guerra, se valió de la tecnología que él había ayudado a desarrollar para crear una loción cremosa que permitía al usuario conseguir una coloración cobriza de su piel. Lanzado al mercado, el Coppertone contribuyó a difundir la moda del bronceado en toda América. Y para terminar me parece interesante agregar que los químicos no sólo han realizado descubrimientos científicos que han sido reconocidos como tal y utilizados por la industria, algunos también desarrollaron terapias alternativas, como ejemplo baste mencionar a los aceites esenciales que utiliza la Aromaterapia, que fueron descubiertos por un ingeniero químico francés llamado René-Maurice Gattefossé en 1910.

La ropa: una pasión femenina

Desde tiempos lejanos, la indumentaria y sus modas, han sido una pasión femenina. La revolución de la vestimenta en los siglos XIV y XV consistió en la diferenciación entre la ropa de varón y la ropa de mujer, y la condena universal del uso de prendas propias del otro sexo (Matthews Grieco, 1993). Por ejemplo, Christine Bard (2010) ha reseñado la evolución del pantalón, una prenda que, a través del tiempo, ha sido un símbolo de la lucha contra la discriminación y a favor de la igualdad de géneros. Pero lucir moderna y elegante es mucho más fácil en este siglo XXI que en la antigüedad... y esto también ¡gracias a la Química! Entre 1880 y 1950 comenzaron a usarse materiales artificiales y sintéticos, en este período se sustituyeron componentes naturales como el carey o el marfil, escasos y de alto costo, por materiales creados en los laboratorios en forma artificial o sintética tales como los polímeros artificiales basados en celulosa modificada, como celuloide y acetato; los polímeros sintéticos como nylon, baquelita y polimetilmetacrilato, etc. La

historia de las fibras artificiales comenzó a partir de los primeros intentos de producir seda artificial. Los principales avances en este campo se encuentran estrechamente vinculados a las investigaciones del químico francés Hilaire Berniggaud, conde de Chardonnet (Besançon, 1839 - París, 1924), considerado como el auténtico impulsor de la industria de tejidos artificiales. Aplicando a la celulosa los solventes adecuados, obtuvo una solución densa y viscosa, que filtró a través de una plancha en la que había practicado previamente diminutos agujeros. Al atravesar la placa, el líquido formaba pequeños filamentos que, una vez secos, constituían fibras fáciles de adaptar al hilado y al tejido. Chardonnet había obtenido una nueva fibra, el rayón. Se trataba de un material semejante a la seda, de gran resistencia y poco inflamable. La mezcla de rayón con seda, lino o algodón permite, siguiendo las técnicas habituales de hilatura, fabricar tejidos mixtos, que son mucho más fáciles de planchar que los tejidos naturales. La elaboración de fibras sintéticas textiles se realiza a partir de materias primas que se encuentran con relativa facilidad y son, en términos generales, poco costosas: carbón, alquitrán, amoníaco, petróleo, además de subproductos derivados de procesos industriales. Las operaciones químicas realizadas con estos materiales permiten obtener resinas sintéticas que, tras su hilado y solidificación, resultan elásticas, ligeras y muy resistentes tanto al desgaste como a la presencia de ácidos u otros agentes externos. La incorporación de un colorante al polímero permite teñir el material antes de su hilado, lo que se traduce en un óptimo nivel de estabilidad cromática en la fibra, que, además de no desteñir, elimina la necesidad de recurrir a posteriores operaciones de fijado del tinte.

Y aquí me parece necesario dedicarle un párrafo a las medias de nylon que, como afirma Belli (2007) en el texto con el que inicio este capítulo, nos ha permitido a las mujeres (para el deleite de los hombres) mostrar nuestras piernas. El nylon, una poliamida (como ya mencioné anteriormente) fue apodado "la fibra milagrosa", y presentado al mundo por la empresa DuPont, que describió su nueva fibra como "tan fuerte como el acero, tan fina como una telaraña" y comenzó a producirla comercialmente en 1939. Su producto más exitoso fueron las medias de nylon, introducidas en la Feria Mundial de Nueva York y aclamadas como la mayor innovación en la moda femenina del siglo XX. Las mujeres apenas pudieron probar la belleza y durabilidad de sus primeras medias de nylon, cuando Estados Unidos entró a la II Guerra Mundial y el gobierno destinó toda la producción de nylon para uso militar. Las medias, que costaban poco más de un dólar antes de la guerra, se conseguían en el mercado negro por diez dólares. Estrellas de cine como Betty Grable llegaron a subsistir medias de nylon hasta en 40,000 dólares, en eventos para recaudar fondos para la guerra. Durante el conflicto bélico, el nylon reemplazó a la seda asiática en la fabricación de paracaídas, pero también se usó en llantas, tiendas de campaña, cuerdas, mantas y otros pertrechos militares. Inclusive se utilizó para la producción de un papel especial utilizado en los billetes de dólares. Al terminar la guerra y reiniciarse la fabricación de medias, las mujeres verdaderamente se

las arrebatában en las tiendas. La mayor parte de la producción de nylon se destinó a satisfacer la enorme demanda del producto, aunque después se utilizó también en alfombras, tapetes y vestiduras de autos. El éxito del nylon fue muy rápido, lo que favoreció la aparición de otras fibras.

Otros ejemplos de poliamidas son el lilión o el perlón, que, con frecuencia, se utilizan en copos que se mezclan con lana y algodón en hilados mixtos. El resultado son fibras más reforzadas. Una de las propiedades características de las poliamidas es su elevado grado de resistencia a la rotura. Entre los poliésteres cuyo uso está más extendido en la industria textil, pueden mencionarse el dacrón y el terital, que derivan del carbón y del petróleo. A su resistencia añaden cualidades de indeformabilidad; además, no se arrugan. En la confección de géneros de punto se utilizan habitualmente fibras acrílicas como el leacril, el dralón o el orión, derivados del carbón, el petróleo y el gas natural. Su propiedad fundamental es que son muy livianas. Las ropas libres de arrugas han sido un símbolo de refinamiento, pulcritud y categoría social durante 2.400 años como mínimo, si bien nunca fue fácil conseguir el efecto deseado, por eso el planchar la ropa no es una actividad que levante simpatía. Planchamos generalmente con pocas ganas, más bien por necesidad que por gusto. Otros productos que mejoraron la calidad de vida de las mujeres, en cuanto al buen aspecto de sus prendas y las de su familia, han sido los apretos, que han facilitado la ardua tarea del planchado, y que son productos elaborados a base de almidones naturales y siliconas... ¡ah, las siliconas!

El discreto encanto de las siliconas

No creo que haga falta que explicité cuál ha sido la aplicación de las siliconas más evidente en las mujeres, no sólo desde el punto de vista estético, sino también reconstructivo postmastectomía; me remitiré entonces a hacer una breve descripción de su naturaleza, origen, formas y usos. La silicona es un polímero inerte compuesto de silicio, carbono, hidrógeno, oxígeno y otros elementos químicos. Es inodora, incolora, resistente a temperaturas extremas, con una vida útil muy larga. Es flexible, suave, no mancha y es antiadherente. Es de una larga vida; prácticamente no se desgasta ni exuda. No ensucia ni corroe los materiales que están en contacto con ella. Tiene muy baja toxicidad y reactividad química. Es muy estable frente a las altas temperaturas, cosa que es especialmente útil en la industria, así como en medicina y cirugía, dentro del uso de prótesis internas por ejemplo.

Las siliconas fueron descubiertas en Inglaterra en 1900 por Frederick Stanley Kipping, que fue un químico pionero en el estudio de los compuestos orgánicos del silicio. En los comienzos de su carrera científica Kipping había intentado fabricar compuestos del silicio análogos a algunos de los compuestos orgánicos usuales derivados del carbono. En especial, había puesto su mira en los análogos de la acetona. La consecuencia de sus estudios fue la obtención de un pro-

ducto, una mezcla de polímeros, que pronto recibió el nombre de "silicona". Un paso clave en el desarrollo de las siliconas tuvo lugar en 1940, cuando Eugene G. Rochow, químico estadounidense, descubrió una vía más simple para acceder a la obtención de metilsiliconas (López López y col., 2002).

Las siliconas pueden presentarse como fluidos, polvos, emulsiones, soluciones, resinas, pastas y elastómeros o caucho de silicona. Esta última está muy extendida en el ámbito de la medicina, pudiendo ser utilizada como membranas de uso quirúrgico, dispositivos médicos para usar en el interior del cuerpo, etc. El mayor avance en la reconstrucción protésica se debe a Thomas Cronin y Frank Gerow, de la Universidad de Texas, que en 1961, con los laboratorios Dow Corning Corporation, desarrollaron las prótesis mamarias de gel de silicona, implantándolas por primera vez en 1962. Desde su introducción y hasta la actualidad, las prótesis mamarias de gel de silicona se han mantenido como materiales plásticos esenciales para la realización de numerosas técnicas estéticas y reconstructivas de la mama. Tras el desarrollo del modelo de Cronin y Gerow, se popularizó el aumento mamario estético y se logró un gran avance en la reconstrucción postmastectomía. Desde entonces el aumento mamario con implantes es una de las operaciones más realizadas en cirugía plástica. La tecnología de los implantes mamaros se encuentra en constante progreso para disponer de prótesis muy resistentes y seguras, con gran variedad de configuraciones que permitan conseguir una reconstrucción lo más natural posible. Recientemente se está prestando interés a las aplicaciones potenciales de la ingeniería tisular en la reconstrucción mamaria, investigándose las posibilidades de producir tejido adiposo para restaurar el volumen mamario perdido (Escudero, 2005). Pero además de los implantes, especialmente mamaros, las siliconas tienen numerosos usos como productos de consumo diario como lacas para el cabello, labiales, cremas, bloqueadores solares, acondicionadores, shampoo, gel y más. También son usadas mucho en medicina, incluyendo lubricación de agujas quirúrgicas, hilos de sutura, jeringas, frascos de sangre y medicamentos intravenosos, marcapasos, etc.

Reflexiones finales

Como conclusión... la química, entre otras cosas, alivió el trabajo de las mujeres y contribuyó a su libertad sexual. Y todo esto, finalmente, cambió la forma de vida de las personas. Hoy en día las mujeres ya no estamos confinadas a las tareas que nos eran tradicionales hasta hace no más de 50 años...Y muchas... ¡¡¡hasta somos químicas!!!

Con este capítulo, espero haberlos y haberlas convencido que el desarrollo de la química ha contribuido a cambiar el lugar de la mujer en la sociedad: el desarrollo de nuevos productos y materiales han revolucionado nuestra civilización, fundamentalmente en las sociedades occidentalizadas, de tal forma que el consumo ya no tiene un destino absoluto para cuestiones de género.

La química, como disciplina científica tiene que

seguir desarrollándose para continuar mejorando el nivel de vida de toda la población. Seguramente el lugar de las nuevas generaciones implica involucrar a las químicas y a los químicos en el cuidado de los recursos naturales, las fuentes de agua potable, a librarnos de la contaminación, proveer suficientes alimentos y salud... En definitiva, seguir contribuyendo con nuestra tarea al cambio de la sociedad, para acercarnos a un mundo más justo para todos... más allá del género.

Referencias bibliográficas

- Abud, L. (2004). *El libro de los jabones*. Buenos Aires, Albatros.
- Aftel, M. (2001). *Pequeña historia del perfume*. Buenos Aires, Paidós, p. 35.
- Aguilar Carrasco, P. (2004). *¿Somos las mujeres de cine?* Oviedo, Instituto Asturiano de la Mujer, p. 5.
- Amézaga Iribarren, A. (1980). *La mujer vasca*. Bilbao, Geu, pp. 448 – 449.
- Armus, D. (2002). Milonguitas. en Buenos Aires (1910-1940): tango, ascenso social y tuberculosis. *História, Ciências, Saúde . Manguinhos*, .9 (suplemento): 187-207.
- Aubaile-Sallenave, F. (1982). Le voyages du henné. *Journal d'Agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 29 (2), 123-178.
- Avila Ojer, I. (1997). Lavaderos en la cuenca de Pamplona. *Cuadernos de etnología y etnografía de Navarra*. 29 (70), 289-304.
- Bard, C. (2010). *Une histoire politique du pantalon*. París, Editorial Seuil.
- Belli, G. (2007). *La mujer habitada*. 4ª. Ed. Buenos Aires, Seix Barral, p. 23.
- Díaz Alonso, G. (1995). Historia de la anticoncepción. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 11 (2), 192-194.
- Dopico, F. (1993). Ganando espacios de libertad. La mujer en los comienzos de la transición demográfica en España. En: *Historia de las mujeres, 4.El siglo XIX*, bajo la dirección de Georges Duby y Michelle Perrot. Madrid, Taurus.
- Escudero, F. J. (2005). Evolución histórica de la reconstrucción mamaria. *An. Sist. Sanit. Navar*. 28, (Supl. 2): 7 -18.
- Espinoza Moraga, F. y Araya Monasterio, C. (2006). Materiales modernos en la colección textil del Museo Histórico Nacional. *Conserva*, 10, 55-70.
- Failor, C. (2002). *Haciendo jabones transparentes*. Barcelona, Paidotribo.
- Fogel, C. G. (2004). Signos y síntomas atribuidos a la erupción dentaria en los niños. *Arch. Argent. Pediatr*, 102(1), pp. 35-43.
- Gonzalez García, G. (2006). Educación médica continua. Características de los jabones. Revisión. *Rev. Cent. Dermatol. Pascua*, 15 (2), 71-76.
- Guy, D. J. (1991). *Sex and danger in Buenos Aires: prostitution, family, and nation in Argentina*. 1991 Lincoln, University of Nebraska Press.
- Hinke, N. y Carrillo Trueba, C. (2008). La investigación química en la creación de la píldora anticonceptiva. Una entrevista a Luis E. Miramontes. *Ciencias*, 89, 68-73.
- Hughes Dayton, C. (1999). Taking the trade: abortion and gender relations in an eighteenth-century New England village. En: *Women and Health in American* (2da. Edición), editado por Judith Walzer Leavitt. Madison, The University of Wisconsin Press.
- Hunter RH. (1972). Local action of progesterone leading to polyspermic fertilization in pigs. *J. Reprod. Fertil*; 31(2):434.
- Knibiehler, Y. (1993). Cuerpos y corazones. En: *Historia de las mujeres, 4.El siglo XIX*, bajo la dirección de Georges Duby y Michelle Perrot. Madrid, Taurus.
- Lemus Lago, E. R. (2001). Lactancia materna. En: Alvarez Sintés. *Temas de Medicina General Integral*. V. 1. La Habana, MINSAP.
- López Agüero, L. C. y Stella, A. M. (2007). Dermatología estética a través del tiempo. *Rev. Argent. Dermatol*. 88: 227-233.
- López López, L., Calleja, J., Janeiro, J. Alonso Tajés, F. y Bouzas, M. C. (2002). Orígenes de las siliconas. *El Peu*, 22 (1): 32-35.
- Matthews Grieco, S. (1993). El cuerpo, apariencia y sexualidad. En: *Historia de las mujeres, 3. Del Renacimiento a la Edad Moderna*, bajo la dirección de Georges Duby y Michelle Perrot. Madrid, Taurus.
- Ministerio de Salud. (2009) Dirección de Estadísticas e Información en Salud: Estadísticas Vitales. Información básica 2008, Serie 5, n° 52, Buenos Aires, diciembre de 2009. Disponible en <http://www.deis.gov.ar/Publicaciones/Archivos/Serie5Nro52.pdf>
- Moledo, L y Jawtuschenko, I (2008). Lavar los platos. La ciencia que no pudieron matar. Editorial Capital Intelectual. Buenos Aires.
- Nodarse Hernández, R. (2002). Visión actualizada de las infecciones intrahospitalarias. *Rev. Cubana Med. Milit.*,31 (3), 201-208.
- Olmo, A. (1997). *El libro blanco de la belleza*. Madrid, Alianza Editorial.

OMS (1992). Estrategia de salud reproductiva. Ginebra, Organización Mundial de la Salud.

Pérez-Cajaraville, J., Abejón, D., Ortiz, J. R. y Pérez, J. R. (2005). El dolor y su tratamiento a través de la historia. *Rev. Soc. Esp. Dolor.* 12, 373-384.

Pichón, J. (1846). *Le mènagier de Paris*. París, Encargado de edición: Pichón. 2 vols.

Piponnier, F. (1992). El universo de la mujer: espacio y objetos. En: *Historia de las mujeres, 2. La Edad Media*, bajo la dirección de Georges Duby y Michelle Perrot. Madrid, Taurus.

Romero, M., Chapman, E., Ramos, S. y Abalos, E. (2010). Observatorio de Salud Sexual y Reproductiva. La situación de la mortalidad materna en la Argentina. Buenos Aires: CEDES; CREP; IIE/ANM, 2010. 8 p. (Hojas Informativas, 1) Disponible en: http://www.ossyr.org.ar/hojas_informativas/hoja1.asp

Schnek, A. (2008) ¿Qué aporta la historia de las ciencias a la enseñanza de las ciencias naturales? En *¿Qué tienen de naturales las ciencias naturales?*, Galagovsky, L Coordinadora, Editorial Biblios, Buenos Aires.

Taylor, T. (1996). *The prehistory of sex. Four million years of human sexual culture*. Londres, Fourth State.

Tucker, J.D., Xiang-Sheng Chen and Peeling, R.W. (2010). Syphilis and Social Upheaval in China. *N. Engl. J. Med.*; 362:1658-1661.

Uzcátegui, O. (2008). Estado actual de la cesárea. *Gac. Méd. Caracas.* 116 (4), 280-286.

Villar Amigó, V. (2008). Experimentation with women: science fiction or reality? *Cuad. Bioét.* XIX, 3ª, 533-541.

26

DE LA SOPA DE LA ABUELA A LA COMIDA RÁPIDA... ¡MUCHO MÁS QUE MUCHO TIEMPO!

Esp. **Florencia Mabel Rembado y Bqca. Silvia Susana Ramírez**

Universidad Nacional de Quilmes.

Email: frembado@unq.edu.ar

En la contratapa de su libro *Íntimas suculencias*, Laura Esquivel nos dice: "Uno es lo que come, con quién lo come y cómo lo come. La nacionalidad no la determina el lugar donde uno fue dado a luz, sino los sabores y los olores que nos acompañan desde niños". Cuando decidimos empezar con su lectura, en sus primeras páginas ella nos refiere: "Los primeros años de mi vida los pasé junto al fuego de la cocina de mi madre y de mi abuela, viendo cómo estas sabias mujeres, al entrar en el recinto sagrado de la cocina, se convertían en sacerdotisas, en grandes alquimistas que jugaban con el agua, el aire, el fuego, la tierra, los cuatro elementos que conforman la razón de ser del universo. Lo más sorprendente es que lo hacían de la manera más humilde, como si no estuvieran haciendo nada, como si no estuvieran transformando el mundo a través del poder purificador del fuego, como si no supieran que los alimentos que ellas preparaban y que nosotros comíamos permanecían dentro de nuestros cuerpos por muchas horas, alterando químicamente nuestro organismo, nutriéndonos el alma, el espíritu, dándonos identidad, lengua, patria."

Parecería que ha pasado mucho, mucho tiempo desde esa cocina de la familia de Laura. Hoy tenemos muchos hombres jóvenes, y no tanto, cocinando en casa y por la tele, y muchas mamás corriendo tras el colectivo, los chicos, la escuela y el trabajo, tratando de colaborar en "armar", del mejor modo que pueden, sus familias. Otros, que no acceden al mínimo de nutrientes compatibles con un estado de digna salud. La evolución de la comida y de la manera de comer y ofrecer alimentos no puede separarse de la evolución de la sociedad. Nos encontramos en medio de este *mundo fluido*, como lo llama Zygmunt Bauman, caracterizado por el desempleo estructural, donde nadie puede sentirse ni seguro ni a salvo, en el cual "no existen habilidades ni experiencias que, una vez adquiridas, garanticen la obtención de un empleo y, en el caso de obtenerlo, éste no resulta duradero", donde se produce "la descomposición y el languidecimiento de los vínculos humanos, de las comunidades y de las relaciones". El tiempo dedicado al trabajo en pos de una seguridad inexistente, hace que cada vez sea menor el tiempo dedicado en casa a actividades de familia, tales como preparar en conjunto el alimento que nutrirá cuerpos y corazones.

¿Cuál es, entonces, la imagen equivalente al santuario del que hablamos al comienzo? Posiblemente se trate de una apertura de sobres, de envases de mi-

les de formas y colores atractivos y tentadores, que contienen alimentos preparados de modo tal que con sólo agregar agua o leche, calentar en microondas o simplemente abrir el envoltorio, se hace la magia de una comida ya lista en tan sólo unos pocos minutos.

La comida de hoy, rápida, con colores tentadores y con sabores exaltados por compuestos químicos tienen detrás de ese valor de instantáneo horas de trabajo, de investigación y de desarrollo. Entonces resulta que los tiempos aplicados a la elaboración de lo que comemos parecen haberse invertido. Hoy no nos encontramos con esos alimentos "primarios", sino con algunos otros derivados de ellos los llamados productos alimentarios intermediarios tales como almidones, colorantes, gelificantes, proteínas de suero y lípidos de diversos tipos.

¿Cómo interviene la química en toda esta evolución?

Aunque muchos no lo acepten, todos los cocineros llevan en su alma a un químico y todos los químicos llevan en su alma a un cocinero curioso. La química debe haber comenzado cuando el hombre quiso aplicar fuego para preparar su alimento y así las primeras reacciones químicas se produjeron, asando alimentos, cociéndolos, mezclándolos y, con el correr del tiempo, preparando emulsiones, sazonando, friendo, filtrando, espesando salsas, produciendo vino, cerveza y miles de clases de quesos y panes.

Se pasó luego del saber empírico cotidiano a la sabiduría estructurada de laboratorios y centros de investigación y desarrollo. Sesudos científicos de gruesas gafas negras, cabellos revueltos y blancos guardapolvos parecían tener toda la sabiduría. Se convirtieron en los nuevos sacerdotes de esa nueva cocina.

Hoy los cocineros usan guardapolvo y se acercan cada día más al saber científico para poder crear sus platos, sus texturas novedosas, sus sabores nuevos y únicos. La curiosidad de saber para qué se incorpora tal o cual ingrediente a un plato ha hecho de muchos de ellos verdaderos investigadores gastronómicos. Y ha surgido la tan mentada gastronomía molecular, entendida por sus seguidores, entre ellos Mariana Koppmann, como "la exploración de todos los procesos físico-químicos que ocurren cuando procesamos los alimentos". En realidad, cualquier persona que cocina (más allá de su especialidad) aplica "gastrono-

mía molecular”, porque utiliza las descripciones que le aporta la ciencia para desarrollar nuevos platos o mejorar su técnica culinaria.

La química en la cocina: una relación fructífera

Por otra parte, los primeros aparatos y las primeras operaciones de los alquimistas se tomaron prestados de la cocina: las ollas, los alambiques, los morteros, los hornos y las grandes cucharas para revolver las mezclas fueron los instrumentos con los que se comenzó a trabajar con mercurio, azufre, carbón y toda clase de mezclas en la búsqueda de recetas para producir oro, la piedra filosofal y la eterna juventud. Estos aparatos y procedimientos se fueron modificando poco a poco y algunos se devolvieron a la cocina notablemente mejorados, siendo quizás los ejemplos más clásicos el de la olla a presión –que permite cocinar a temperaturas más altas que con el agua o el aceite- y el “Baño de María”, invención que se atribuye a María, hermana de Moisés y Aarón.

Pero la química, sobre todo, aportó a la cocina el conocimiento del porqué de las cosas y de la influencia de los diferentes ingredientes y operaciones en el resultado final de un buen plato.

También la química permitió elaborar alimentos a nivel industrial. La investigación y el desarrollo llevado a cabo por químicos de los alimentos ha permitido contar hoy productos para regímenes especiales (diabéticos, celíacos, hipertensos), sabrosos y atractivos (con aromas, colores, texturas, muy apreciados por el consumidor común), nutritivos (con agregados de diferentes principios alimentarios tales como vitaminas, minerales, aminoácidos), *light* o livianos (reducidos en hidratos de carbono, lípidos, sodio), nuevos (premezclas para diferentes usos, *snacks*), rápidos (hamburguesas para calentar en microondas, pregelatinizados para hidratar, sopas instantáneas), para *gourmand* (productos de la gastronomía molecular, vinos, licores, bebidas espirituosas), para mucha gente (producciones a escala industrial), rápidos (*fast food*) y mucho, mucho más.

Posiblemente no supieran los químicos, en las épocas que refiere Laura Esquivel, que la cocina se convertiría en un campo de investigación altamente interesante y productivo. Por otra parte, los químicos de la investigación básica y clásica, que en épocas pasadas no veían con buenos ojos a quienes se dedicaban a saber más sobre los alimentos, advierten hoy en día con asombro cuánto cambio se logró merced al trabajo sin descanso de los químicos y tecnólogos alimentarios.

¿Qué atributos caracterizan un “buen alimento”?

Se considera que un buen alimento es aquel que provee todos los nutrientes que son indispensables para vivir bien (en cantidad adecuada y calidad), es accesible para toda la población (se lo puede adquirir

y está disponible para cualquier persona), se elabora de modo tal que no pueda provocar ningún tipo de infección ni intoxicación alimentaria (se trata de un alimento “inocuo”) y presenta caracteres organolépticos agradables que lo hacen apetecible (buen color, aroma, sabor, textura). Esto vale tanto para la producción industrial grande, mediana o pequeña, como para los ricos platos de la abuela. En toda esta tarea, el conocimiento y la responsabilidad de los profesionales que están detrás de la puesta en el mercado de un producto alimentario desempeñan un papel muy importante. No obstante ello, el cariño puesto en un plato casero, por más simple que este sea, es un atributo que ningún alimento elaborado en la industria, más allá de su excelente calidad, puede reemplazar.

Lo que hace ya unos años valorábamos como un alimento bueno y rico hoy fue sustituido por un alimento con pocas calorías y de rápida elaboración. Sólo basta ir a un supermercado o consultar a cualquier niño o adolescente cómo es su día (desde el punto de vista alimentario) para darnos cuenta de que el humeante café con leche con tostadas hechas con el pan del día anterior, los dulces caseros, la comida calentita del mediodía, la rica merienda y la sabrosa cena en familia, elaborada en ese “templo sagrado” de cualquier hogar, raramente se encuentra hoy día presente. Lamentablemente, no se ve en muchos casos la oportunidad de compartir la elaboración de un sabroso y nutritivo plato. La cocina parece estar sobrevalorada en los programas televisivos para una parte de la población y desvalorizada cuando se trata de acceder a la llamada comida rápida.

Mucho hay hoy en la oferta de todo tipo de productos: comerciales, sociales, especiales. El acceso a información sobre cada uno de ellos se halla disponible en la Web en la mayoría de los casos. Si la población tuviera inquietud por saber qué está llevando a su boca a la hora de comer, contaría seguramente con buena información que le permitiría organizar sus compras de una manera diferente y también elegir sus alimentos de manera más balanceada en cuanto a nutrientes y aditivos, conociendo bien qué es lo que ellos contienen.

¿De qué hablan los tecnólogos cuando hablan de alimentos?

El Código Alimentario Argentino (nuestro referente nacional en materia de legislación alimentaria) nos dice que alimento es “Toda sustancia o mezcla de sustancias naturales o elaboradas que, ingeridas por el hombre, aporten a su organismo los materiales y la energía necesarios para el desarrollo de sus procesos biológicos. Se incluyen en esta definición las sustancias o mezclas de sustancias que se ingieren por hábito, costumbres, tengan o no valor nutritivo”.

A partir del momento en que un padre da a su hijo una galleta o un caramelo para consolarlo, la comida se transforma en algo emotivo y no sólo físico. También, en familia, la comida se utiliza para celebrar: un nacimiento, un cumpleaños, un casamiento. Nos reunimos

con amigos para conversar mientras tomamos un cafecito, pasamos a visitar a la familia y tomamos unos mates, los domingos compartimos un asadito o los infaltables ravioles. Estas clásicas comidas de la “nona” raramente se elaboran en las cocinas de los hogares. Se acude a los productos que se ofrecen desde los comercios que elaboran pastas frescas (salsas incluidas). Pero estos ravioles, el asado, los mates, no dejan de ser el pretexto para darnos el placer de estar aunque más no sea una vez por semana junto a quienes mucho queremos. El tiempo hará más “ricos” esos encuentros en nuestra memoria. Pero... ¿qué es “rico” para el tecnólogo alimentario? Además del contexto de calidez humana, e independientemente de las preferencias personales, la mayoría coincidirá en que un alimento rico es aquel de buen color, aroma, sabor, palatabilidad. Es decir, aquel alimento en el cual están preservadas, mejoradas o incorporadas algunas de las llamadas propiedades funcionales de los ingredientes alimentarios.

Los nuevos alimentos

La tecnología de los alimentos ha experimentado en los últimos años una profunda mutación, consecuencia en muchos casos de las demandas de una sociedad en permanente cambio. Para responder a esto, las industrias agroalimentarias han debido y deben hacer gala de una constante capacidad de innovación. Se pide que los productos alimentarios de hoy sean inocuos para la salud del consumidor y satisfagan necesidades nutricionales y sensoriales. Las empresas responden a las demandas y aportan día a día más y mejores servicios para responder a las necesidades creadas por la evolución del modo de vida.

Si el alimento tradicional es el resultado de las transformaciones de materia prima del agro (pan, vino, cerveza, carne), los productos nuevos son el resultado de un ensamblaje de diversos ingredientes. Se ha asistido estos últimos años al nacimiento de una industria de primera transformación en el campo de los glúcidos, lípidos, proteínas, colorantes, aromas, etc., cuya finalidad es suministrar ingredientes, productos alimentarios intermediarios, a las industrias de segunda transformación.

Cada fracción purificada de alguna materia prima constituye una nueva materia prima. Las fracciones así obtenidas a partir de estas materias primas constituyen productos llamados *de primera generación*.

Pero para favorecer la utilización de estos componentes, las empresas han debido asociarlos en proporción equilibrada, suministrando la tecnología apropiada para cada una de estas mezclas y respondiendo así a demandas de diferentes clientes. Por ejemplo, en el caso de los lípidos, la materia prima son las grasas animales (sebos) y vegetales (aceites), que, sometidas a diversos procesos de transformación, pueden convertirse en aceites estables para frituras a 180°C (utilizables en cadenas de establecimientos de fast food que ofrecen papas fritas), margarinas para untar a 5°C, productos para cremas heladas, para panes y galletitas (“shortening”), carnes y derivados. El desarrollo de estos productos ha tenido en cuenta la necesidad

de evitar la formación de isómeros trans en la hidrogenación de aceites y de que las materias grasas no aporten más del 30% de la energía ingerida cuando se incorporan a diversos productos (esas materias grasas deben también contar con ácidos grasos esenciales en proporción equilibrada). La contracara de todo esto, que responde a la vida “fast”, es la obtención de productos masivos e impersonales que se pueden consumir tanto en nuestro país como en cualquier otro del mundo en que la empresa o alguna de las integrantes de su grupo económico se halle instalada. Es la globalización en el ámbito alimentario, que provoca que, en muchos casos, se dejen de lado los alimentos nativos o característicos de una zona en pos de los productos masivos y de preparación rápida.

¿A qué llamamos propiedades funcionales? ¿Cómo afectan a los alimentos?

Las propiedades funcionales son aquellas que no se hallan vinculadas con la noción de nutrientes sino con las características organolépticas que la presencia de esos nutrientes (lípidos, proteínas, hidratos de carbono) brinda a los alimentos. Así, con los hidratos de carbono sencillos o azúcares no solo se relaciona el sabor dulce, sino también la mayor o menor afinidad con el agua, la capacidad de formar caramelos duros (vidrios), masticables (gomas) o pastillitas (cristales). Con los complejos, la posibilidad de elaborar postres (espesantes) o flancitos desmoldables (geles). Con su tratamiento térmico, los diferentes caramelos y el uso como colorantes en productos de consumo masivo (bebidas colas, cafés). La presencia de proteínas dará cuenta de la posibilidad de elaborar emulsiones como la mayonesa, espumas (claras batidas), geles (gelatina), entre otros, y también de su interacción con los hidratos simples. La reacción de Maillard otorga a los alimentos aromas y sabores característicos (como el sabor del asadito, el del pan recién horneado y el del dulce de leche, entre otros). La presencia de lípidos o grasas y aceites dará a las masas diferentes texturas (masa de panes, hojaldres, masa de tartas), permitirá cocinar los alimentos de manera diferente (papas fritas) y brindará sensación agradable a la boca. De la aplicación de sus diferentes propiedades surgen también las margarinas y los baños para repostería.

La incorporación de variados ingredientes a mezclas para preparar diferentes productos les brinda características particulares. Veamos como ejemplo una “Sopa instantánea deshidratada de arvejas. Bajas calorías”, cuyos ingredientes son: “harina de arvejas, almidón de papas, sal, chicharrón de jamón y panceta, vegetales deshidratados (cebolla, espinaca), aceite vegetal hidrogenado, resaltadores del sabor: glutamato monosódico e inosinato disódico, aromatizantes naturales e idéntico al natural (contiene gluten), espesante: goma garrofin. O una “salsa mayonesa”, en cuyo rótulo se puede leer: “Ingredientes: harina de trigo enriquecida (harina de trigo, niacina, hierro reducido, mononitrato de tiamina, riboflavina, ácido fólico), aceite vegetal (contiene uno o más de lo siguiente: canola, semilla de algodón, palma) conservado con BHT, sal, mezcla de quesos deshidratados, suero de leche, azúcar, gluta-

mato monosódico, aceite de soja parcialmente hidrogenado, caramelo de miel de maíz, caseinato de sodio (derivado de leche), fécula modificada, maltodextrina, pollo cocido en polvo, maíz, trigo y proteína de soja deshidratado, vegetales deshidratados (cebolla, ajo, perejil), extracto de levadura, saborizantes naturales y artificiales, dióxido de silicio (agente antiendurecedor), goma xantano, carbonato de potasio, (mono, hexameta y/o tripoli) fosfato de sodio, salsa de soja (agua, trigo, frijol de soja, sal), carbonato de sodio, especias, amarillo 6, amarillo 5, inosinato disódico, guanilato disódico, caldo de pollo, lecitina de soja, cúrcuma.

Aparecen así un conjunto de ingredientes, algunos productos intermedios (como almidón de papas, goma garrofín, suero de leche) y otros compuestos químicos (como ácido fólico, inosinato de sodio, BHT, saborizantes artificiales), que desempeñan una función que se denomina de "aditivo alimentario".

¿Qué son y para qué sirven los aditivos alimentarios?

El Código Alimentario Argentino (CAA) define *aditivo* como todo ingrediente agregado a los alimentos con el objeto de cumplir alguna de las siguientes funciones:

- Mejorar el valor nutritivo.
- Aumentar la estabilidad o capacidad de conservación.
- Permitir la elaboración económica y en gran escala de alimentos de composición y calidad constante en función del tiempo.

A su vez, los aditivos no deben agregarse a los alimentos para:

- Enmascarar técnicas y procesos defectuosos de elaboración y/o de manipulación.

- Provocar una reducción considerable del valor nutritivo de los alimentos.
- Perseguir finalidades que pueden lograrse con prácticas lícitas de fabricación, económicamente factibles.
- Engañar al consumidor.

Todos los aditivos incluidos en el CAA están autorizados por el JECFA, que es la Comisión Conjunta de Expertos sobre Aditivos Alimentarios de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de Alimentos y Agricultura (FAO), creada en 1956 para evaluar la seguridad de los aditivos alimentarios. Esta comisión establece, además, la ingesta diaria admitida (IDA) de cada uno, que es la máxima cantidad de un aditivo que puede ser consumida en la dieta diariamente, sin que represente un riesgo para la salud. Este valor se expresa como la cantidad de aditivo (expresada en mg) por kg de peso corporal por día (mg/kg peso/día). Un exceso de este valor de forma periódica puede acarrear diferentes problemas a la salud, dependiendo de cada aditivo. Cabe destacar que como el IDA depende del peso de las personas, los niños son los más susceptibles a los efectos adversos de los aditivos.

Según la función principal que desempeñan en los alimentos, los aditivos se dividen en categorías, tales como las que figuran en el cuadro que se muestra abajo:

Tecnología, salud e investigación: buenos resultados

Ha surgido en los últimos años una gran demanda por los alimentos *light*, respondiendo al aumento del número de consumidores preocupados por su salud y el equilibrio de su dieta. Los progresos combinados de la dietética, la tecnología alimentaria y las ciencias de los alimentos han permitido conciliar placer y alimentación equilibrada y reducir el aporte calórico medio

Aditivo	Abreviatura	Algunos ejemplos	Algunos alimentos en que se encuentra
Conservante	cons	Ácido benzoico y sus sales, ácido sórbico y sus sales, ácido propiónico y sus sales, dióxido de azufre y sulfitos, nitratos y nitritos.	Mayonesas, mermeladas, salsas, productos de panadería.
Acidulante	aci	Ácido cítrico, ácido acético, ácido fosfórico.	Mermeladas, mayonesas, gaseosas.
Antioxidante	ant	BHA (butil hidroxi anisol), BHT (butil hidroxi tolueno), galatos.	Aceite, margarinas, aderezos.
Edulcorante	edu	Ciclamato de sodio, sacarina, aspartame, acelsulfame.	Bebidas, productos de pastelería, lácteos, productos bajos en calorías.
Colorante	col	Tartrazina, amarillo ocazo, caramelo, azul patente V.	Bebidas, golosinas, yogures, flanes, helados.
Resaltador del sabor	exa	Glutamato monosódico, maltol, etilmaltol	Caldos, sopas deshidratadas, aderezos.

Aditivo	Abreviatura	Algunos ejemplos	Algunos alimentos en que se encuentra
Espesante	esp	Almidón (de maíz, de papa), goma guar, goma garrofin, goma xantán.	Mermeladas, yogures batidos o bebidas, helados.
Gelificante	gel	Carragenes, gelatina, pectinas.	Flanes, yogures firmes, jaleas.
Estabilizante	est	Goma guar, goma tara, goma garrofin, CMC, carragenina.	Leche chocolatada, bebidas.
Emulsionante	emu	Lecitina, mono y diglicéridos, polisorbatos.	Chocolates, embutidos, margarinas, helados.
Leudante químico	rai	Bicarbonato de sodio o de amonio	Panificados.

en la dieta. Así, han surgido soluciones que provienen de la reducción de los ingredientes juzgados desde ahora como “sospechosos” para la salud, tales como las grasas de origen animal, el colesterol, los glúcidos, el cloruro de sodio, y de la adición de sustancias juzgadas como beneficiosas para la salud: oligoelementos, fibras, edulcorantes, a los cuales es necesario añadir los nuevos ingredientes del mañana, algas, plancton, grasas sintéticas, etcétera.

En la propuesta de elaborar alimentos diferentes, el desarrollo de productos intermedios o aditivos en general ha permitido mejorar la textura de los alimentos, acudiendo al auxilio de espesantes y gelificantes tales como gelatinas, carragenatos, goma xantán, goma guar, de algarroba, pectinas, alginatos, almidones modificados, etc.; agentes de “cuerpo” como fibras solubles, celulosa cristalina, polioles (sorbitol, manitol), maltodextrinas, proteínas. Por otra parte, ha asegurado alimentos sabrosos mediante la incorporación de una adecuada mezcla de aromas y potenciadores del sabor y edulcorantes que restituyen el sabor azucarado; modificando la intensidad de los aromas (uso del efecto “elevador” y el efecto “enmascarador”); provocando sensaciones especiales tales como el de frío en la boca estimulado por los polioles; incorporando especias y aromas que realzan el sabor, agregando diversos agentes de sapidez, diferentes y variados conservadores que evitan degradaciones (sorbatos, benzoatos, propionatos, sulfitos, nitritos, etcétera).

Más allá del diseño de un nuevo alimento en el laboratorio de desarrollo, el industrial busca también no complicar demasiado el proceso de producción y adaptar lo existente a las nuevas condiciones. Como ejemplos podemos citar el uso de estabilizantes para evitar que el exceso de agua libre provoque la cristalización y destruya la homogeneidad en los helados *light* y el añadido de aromas que imiten el sabor de los productos provenientes de la reacción de Maillard en los alimentos en los que los glúcidos han sido reemplazados por edulcorantes.

Viviendo a las corridas: la comida rápida o el fast food

El concepto de comida rápida (*fast food*) de la vida moderna es un estilo de alimentación en el que el alimento se prepara y se sirve para consumir rápidamente en establecimientos especializados. Debido a que el concepto de la comida rápida se basa en ve-

locidad, uniformidad y bajo costo, estos alimentos se preparan a menudo con ingredientes formulados para alcanzar un cierto sabor o consistencia y para preservar frescura. Esto requiere un alto grado de ingeniería del alimento, el uso de aditivos y el uso de técnicas de proceso que alteran el alimento original y en general reducen su valor alimenticio. Esto hace que sean habitualmente calificados de “comida basura” o “comida chatarra”. Algunos ejemplos son pizza, empanadas, hamburguesas, panchos, sándwiches y papas fritas. La comida rápida se acompaña generalmente de salsas y condimentos varios que aportan sabores muy intensos y una cantidad elevada de sal. Este tipo de sabores estimulan el apetito para seguir comiendo. La rapidez con la que se consumen estos productos agrega otro aspecto negativo al comer deprisa, no se deja tiempo suficiente para que la sensación de saciedad llegue al estómago, por lo que con frecuencia se tiende a consumir grandes cantidades de comida. Por otro lado, puesto que estos alimentos apenas requieren masticación, y debido a sus altos aportes de grasa, el proceso de digestión se ve dificultado.

Slow food: ¿una alternativa frente a la comida rápida?

El *slow food*, traducido al castellano como “comida lenta”, es el término opuesto al *fast food*. Es un movimiento internacional creado en Italia en 1986 que se ha ido extendiendo rápidamente con el paso de los años por todo el mundo. Este movimiento se simboliza mediante la figura del caracol, porque la lentitud propia de este animal es el mejor símbolo para luchar contra la velocidad y la prisa que afectan al mundo moderno.

El objetivo que persigue es combatir la cultura del *fast food* y recuperar los sabores y las costumbres tradicionales. Se basa en el disfrute de la comida, en degustar los placeres que ofrece y en gozar de la buena mesa en el entorno más adecuado.

Un avance importante: los alimentos dietéticos o alimentos para regímenes especiales

El Código Alimentario Argentino, en su Capítulo XVII (Alimentos de régimen o dietéticos), nos dice que

se entiende por “Alimentos dietéticos” o “Alimentos para regímenes especiales” a los alimentos envasados preparados especialmente que se diferencian de los alimentos ya definidos por el Código por su composición y/o por sus modificaciones físicas, químicas, biológicas o de otra índole resultantes de su proceso de fabricación o de la adición, sustracción o sustitución de determinadas sustancias componentes y que están destinados a satisfacer necesidades particulares de nutrición y alimentación de determinados grupos poblacionales. Entre ellos encontramos alimentos fortificados, alimentos modificados en su valor energético, alimentos de bajo contenido de sodio, alimentos libres de gluten, alimentos enriquecidos y suplementos dietarios.

Estos alimentos procesados han permitido acercar a enfermos diabéticos, celíacos, hipertensos, entre otros, alternativas sanas que pueden consumir con tranquilidad, todos ellos también fruto del desarrollo de productos o sistemas alimentarios, resultantes de la unión de diversos ingredientes con propiedades nutritivas y funcionales específicas.

Otro logro: los alimentos funcionales

El concepto de alimento funcional comienza en Japón en la década de 1980 cuando las autoridades alimentarias japonesas tomaron conciencia de que para controlar los gastos globales en salud era necesario desarrollar alimentos que mejoraran la calidad de vida de la población, cubriendo ciertas deficiencias pandémicas, consideradas como una epidemia que se extiende y expande hacia muchos países, incluso a través de los continentes y que por consecuencia afecta a casi toda o a una buena parte de la población que los habita. Aunque no existe coincidencia mundial al respecto, se puede considerar que alimentos funcionales son aquellos que son elaborados no sólo por sus características nutricionales sino también para cumplir una función específica como mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades. Por ese motivo se les agregan componentes biológicamente activos, como minerales, vitaminas, ácidos grasos, fibra alimenticia o antioxidantes, etcétera.

Desde finales del siglo xx existe una preocupación creciente por parte de las autoridades sanitarias en lo que respecta a la educación del consumidor sobre el consumo y las propiedades atribuidas a este tipo de alimentos. Las autoridades alimentarias y sanitarias de todo el mundo reclaman a los consumidores que la ingesta de estos alimentos sea parte de una dieta equilibrada y en ningún caso como un sustituto. A pesar de este crecimiento en la demanda, la comunidad científica mundial se encuentra evaluando la influencia para la salud humana del consumo de este tipo de alimentos, sobre todo si se consideran consumos a largo plazo. Algunos ejemplos de alimentos funcionales son: huevos enriquecidos con ácidos grasos esenciales omega-3, leche y yogures fermentados con cultivos probióticos, cereales con ácido fólico.

¿Y...la información al consumidor?

Cuando la abuela quería hacer una rica sopa, se cruzaba a la verdulería y le pedía a su amigo verdulero, la “verdurita” más alguna que otra hortaliza que sabía era del agrado de su familia. Ese caldo más el trozo de falda que había comprado a su carnicero le permitían preparar una sabrosa sopa cuando le agregaba los fideos cabellos de ángel, los dedalitos o las municiones. Hoy va al supermercado, busca en la góndola lo que mejor se adecua a lo que necesita y puede abonar, elige un caldo en cubitos con más o menos sal, más o menos grasa, más un montón de letras y números que a veces ve en la etiqueta y que no sabe qué es. Si tiene poco tiempo, puede recurrir a las “sopas instantáneas” que se preparan tan sólo agregando agua caliente o a las sopas en sobres con verduras y fideos que necesitan sólo del agregado de agua y calentamiento para estar listas para ir al plato.

La globalización en la Argentina se dejó sentir también en la gastronomía que practican sus habitantes: se amplió el circuito informativo en torno de productos, técnicas y recetas. Si hoy se intenta hacer una pizza, se podrá optar por comprar levadura y harina (¿de cuántos ceros?, ¿para panes y pizza? ¿común?, ¿de qué marca?), la salsa de tomate para pizza (¿o pomarola? ¿o...?) y luego muzzarella (¿en trozo?, ¿rallada?, ¿de vaca?, ¿de búfala?). Si de preparar la torta de cumpleaños se trata, se podrá seguir la receta de alguno de los cocineros de Utilísima, del Gourmet o del viejo libro de Doña Petrona, pero también se podrá recurrir a la caja de premezcla (¿de vainilla?, ¿chocolate?, ¿con trocitos de chocolate?) y se podrá cubrir la torta con chocolate (¿o baño de repostería? ¿o dulce de leche común?, ¿o el repostero?, ¿con crema para batir o en envase metálico?). En fin, son muchas las alternativas que hoy se tienen a mano, no siempre al alcance del bolsillo. Pero... ¿cómo saber qué comprar? ¿Es todo igual? ¿Qué son esas letras y esos números que aparecen en las etiquetas? Lamentablemente, todo el desarrollo tecnológico no ha caminado de la mano de la información al consumidor. “*Vivimos permanentemente conectados, inmersos en un mar de datos y con poco tiempo para procesarlos. Los especialistas ya hacen su diagnóstico: intoxicación de información, el gran síntoma de estos tiempos*” (M. G. Ensínck para la Revista *La Nación* del 01/08/10). Esto podría disminuirse si se concretaran *Las directrices sobre el derecho a la alimentación, Food & Agriculture Org., 2006*: “Los Estados deberían tomar medidas para proteger a los consumidores del engaño y la desinformación en los envases, las etiquetas, la publicidad y la venta de los alimentos y facilitar a los consumidores la elección viendo por la divulgación de la información adecuada sobre los alimentos comercializados”.

Surge entonces la necesidad de informarse. Para ello, es necesario recurrir a fuentes valiosas de información, consultar a quienes pueden dar buenas referencias, valorar lo que se está logrando en este mundo y así, crítica y constructivamente, aceptar o no ciertos ingredientes alimentarios. Todo ese conjunto de letras que hace referencia a alguno de los ya mencionados

productos derivados de fuentes primarias y a muchos de los llamados aditivos alimentarios no tiene significado para la mayoría de la población, con excepción de alguna que otra iniciativa de alguna asociación de defensa del consumidor. No hay información accesible que dé cuenta de qué se trata, qué funciones desempeñan en el producto alimentario que se compra y las limitaciones de su empleo.

La ciencia ha avanzado mucho; la tecnología, también; los hábitos de consumo y forma de vida, notablemente. Hace falta que todo ello vaya acompañado de una buena formación de quien decide la compra del día a día, sea la abuela, la madre o la nieta, o el abuelo, el padre o el nieto. Como parte de esa población, quienes conocemos algo de este tema deberíamos poder contar con un lugar formal para brindar información valiosa y desinteresada. Todavía ese canal no existe. La ciencia, en especial la química, que nació como el saber de unos pocos elegidos en las universidades, debe estar cerca de los consumidores, y estos deben comprender que la ciencia es parte de su vida. El mundo de la ciencia es un mundo apasionante, creativo y en constante avance.

Finalizando...

Mucho hemos caminado desde que el hombre descubrió el fuego. Un poco menos, pero parecería mucho también, desde que la abuela preparaba todos los días la sabrosa comida para la familia. Los cambios sociales han llevado a concebir otra manera de comer y alimentarse que ha sido posible gracias al trabajo silencioso de investigadores y tecnólogos alimentarios que han tratado de dar solución a la demanda de la población. Quienes hemos tenido la fortuna de caminar algunos pasos en este ambiente sabemos del desafío, la necesidad de creatividad y el placer del trabajo y el estudio permanente. Todo cambia día a día. Viéndolo a la distancia se advierte un desarrollo fascinante.

Volviendo al comienzo de estas líneas, y sin olvidarnos de la riqueza de la tecnología puesta al servicio del mundo de los alimentos, en nuestro corazón nada cambiará el placer de esa rica comida de la abuela, el asadito de los domingos ni los raviolos caseros, la salsa de tomate hecha en casa y los dulces tan ricos, que siguen siendo un tesoro cuando a uno le regalan un frasquito. Compartimos lo que dice Donato de Santis, conocido cocinero italiano que trabaja en Buenos Aires, famoso por su profundo interés en rescatar los sabores de su infancia, en su último libro *Cucina Paradiso*: "¡me fascina ver cómo se transforman los alimentos! Cuando llega el punto justo de cocción, uno se da cuenta, reconoce ese momento mágico. Y cada uno lo hace según su criterio. Es como cuando un músico interpreta una melodía: no hay una igual a la otra, aunque haya una partitura de base".

Posiblemente, en poco tiempo tengamos el desafío de rescatar los componentes alimentarios para hacer alimentos quizá menos duraderos, menos coloreados, pero más sanos, más "artesanales", que recuperen las

identidades regionales. Para ello será necesario un cambio en la concepción de la vida familiar como sociedad. Hoy por hoy, son tan solo minúsculos grupos que tratan de revertir el camino en pequeñas comunidades. El tiempo dirá hacia dónde vamos. El hambre de millones de personas merece ser escuchado y obtener respuestas válidas. La tecnología acompañará siempre el cambio. Sus profesionales están bien capacitados para hacer frente a desafíos y han adquirido la flexibilidad necesaria en su formación académica para concretarlo. Ojalá sea para el bien de toda la población, no solo de los que tienen buenos recursos económicos y acceso fácil a los alimentos.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre, P., *Estrategias de consumo: qué comen los argentinos que comen*, Buenos Aires, editorial Miño y Davila, 2005.
- Bauman, Z., *Modernidad Líquida*, México DF, editorial Fondo de la Cultura Española, 2003.
- Badui Dergal, S., *Química de los alimentos*, México, editorial Pearson, 2006.
- Cheftel, J. C y H. Cheftel, *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*, Zaragoza, editorial Acribia, 1999.
- Código Alimentario Argentino, disponible en www.anmat.gov.ar.
- De Santis, D., *Cucina Paradiso. Sabores genuinos de Italia*, Buenos Aires, editorial Planeta, 2010.
- Ducrot, V. E., *Los sabores de la Patria. Las intrigas de la historia argentina contadas desde la mesa y la cocina*, Buenos Aires, editorial Norma, 2010.
- Ensinck, M. G., "Infoxicación", *Revista La Nación*, 01/08/10.
- Esquivel, L., *Íntimas suculencias. Tratado filosófico de la cocina*, Madrid, editorial Sudamericana, 1998.
- Food & Agriculture Org., *Las directrices sobre el derecho a la alimentación*, 2006.
- King, S., *Comiendo con Marcel Proust. Recetas de la Belle Époque*, Barcelona, editorial Emecé, 1982.
- Koppmann, M., *Manual de gastronomía molecular. El encuentro entre la ciencia y la gastronomía*, Buenos Aires, editorial Siglo XXI editores, 2009.
- Linden, G. y D. Lorient, *Bioquímica agroindustrial: revalorización alimentaria de la producción agrícola*, Zaragoza, editorial Acribia, 1997.
- Patel, R., *Obesos y famélicos*, Buenos Aires, editorial Marea, 2008.

27

LA QUÍMICA, EL COLOR,
LOS ALIMENTOS Y EL ARTE**Dra. María del Pilar Buera***Departamentos de Industrias y de Química Orgánica.**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-UBA. CONICET – Argentina.**Email: pilar@di.fcen.uba.ar***Introducción**

El primer contacto que tiene el consumidor con un alimento es a través de la apariencia visual, que condiciona sus preferencias e influye en su elección de aceptación o rechazo. Por eso suele decirse que la comida entra por los ojos, y la práctica de colorear los alimentos tiene una larga tradición porque el color es uno de los aspectos más importantes de la apariencia. Las civilizaciones antiguas ya coloreaban con pigmentos naturales como el azafrán o la cochinilla.

El color tiende a modificar subjetivamente otras percepciones sensoriales, como el gusto y el aroma. La experiencia ha demostrado que cuando no vemos el color, tenemos problemas para identificar los sabores. Las preferencias por el color de los alimentos, por ser éste precisamente un factor subjetivo, no son las mismas para cada persona, y varían según las regiones, países o edades. Sin embargo, y a pesar de estas diferencias, ciertos criterios tienden a ser concordantes y se aceptan algunos códigos como estándares generales. El verde de muchas frutas se relaciona con falta de madurez, mientras que el pardo por lo general indica que podrían estar sobre-maduras. Las variaciones en la intensidad de color pueden sugerir al consumidor: un budín con mayor concentración de colorante amarillo da idea de mayor intensidad de sabor a limón, y un yogur con una excesiva concentración de pigmento se percibe como más artificial.

¿Por qué los alimentos son coloreados?

Esta pregunta tiene diferentes respuestas, dependiendo de quién responda. Por ejemplo, habrá quienes respondan sobre la función del colorante en el tejido vegetal o animal, aquellos que apunten a aspectos psicológicos de los consumidores y las imágenes que distintos colores representan, o los que hablarán sobre la aceptación del consumidor y aspectos de *marketing*. El presente capítulo se refiere a cómo un químico respondería esta pregunta, cómo la estructura molecular de los colorantes de alimentos influye en su color, estabilidad y reacción a otros componentes alimentarios.

La química del color en los alimentos

Gran parte de la química detallada para interpretar los colorantes de alimentos proviene de la industria textil y de pinturas. En la clasificación de los colorantes de alimentos, se pueden tomar dos aproximaciones: una de ellos basada en el origen y otra en la estructura química. En relación al origen, se pueden distinguir las categorías natural, idéntico al natural o sintético. Para algunos un colorante natural es aquel que es sintetizado, acumulado o excretado de una célula viviente. Sin embargo, no se puede negar que ciertos pigmentos inorgánicos son de fuentes naturales. Los idénticos al natural son aquellos que se producen por síntesis química pero su estructura es la misma que la hallada en la naturaleza. Sintéticos son aquellos que se sintetizan químicamente pero no se encuentran en la naturaleza.

**Los colorantes naturales:
La paleta de la naturaleza**

Los colorantes naturales se clasifican entonces, según su procedencia, en: vegetales, animales y minerales. La clasificación de los colorantes de alimentos sobre una base química también tiene distintas alternativas, pero se pueden distinguir cinco clases principales, que están indicadas en la **Tabla 1**: isoprenoides, tetrapirrólicos, benzopiránicos, betalainas y antraquinónicos. A estos se pueden agregar grupos que incluyen aquellos generados durante el procesado tales como melaninas, melanoidinas y caramelos; y otros, como la riboflavina. Además, dentro de los hallados en la naturaleza, aunque no biosintetizados, se encuentran los inorgánicos.

A continuación se detallan algunas de las características de cada uno de esos grupos.

Isoprenoides

Dentro de esta categoría encontramos los colorantes carotenoides. Algunas de sus fuentes se muestran en la **Figura 1**. Son estructuras de 40 carbonos llamadas tetraterpenoides. Son responsables de las coloraciones amarillas, anaranjadas y rojas de los vegetales, aunque muchas veces estas estén enmascaradas por el color verde de la clorofila. Forman un grupo de más de 600 sustancias, que se clasifican de acuerdo con la presencia o no de grupos oxhidrilo en su molécula, como xantófilas o carotenos, respectivamente. Estos pigmentos suprimen el daño provocado por reacciones

Clase	Color	Tipo	
Isoprenoides	amarillo al rojo	Carotenos Xantófilas	<i>Producidos por biosíntesis en las células animales o vegetales</i>
Tetrapirrólicos	verde rojo	Clorofilas Hemo y mioglobina	
Benzopiránicos	Azul, violeta, rojo	Antocianinas	
	amarillentos	Flavonoides	
	pardos	Taninos	
Antraquinónicos	Carmín	Cochinilla, ácido carmínico	
Betalaínas	rojo	Betacianinas	
	amarillo	Betaxantinas	
Otros	amarillo	Riboflavina	
	amarillo	Curcumina	
Inorgánicos	azul	óxidos de hierro	<i>Hallados en la naturaleza y purificados, se emplean para cubrir superficies de confites, chicles, etc.</i>
	blanco	dióxido de titanio	
	plateado	aluminio, oro, plata	
	blanco	Carbonato de calcio	
De reacción	negro	Carbón	<i>Producidos por reacción en el procesado de alimentos</i>
	Amarillo a marrón	Melanoidinas	
	Amarillo a marrón	Caramelos	
	Amarillo a marrón	Melanina	

Tabla 1: Clasificación química de los colorantes naturales

fotoquímicas, en particular aquellas que involucran oxígeno, y que pueden ser causadas por exposición a luz solar. Las plantas que no tienen carotenoides mueren rápidamente cuando se exponen a la luz y al oxígeno (Fennema, 1993).

Dentro de los **carotenos**, el beta-caroteno es el colorante de la zanahoria, el licopeno abunda en el tomate, la sandía y el pomelo rosado. La bixina y la norbixina se obtienen de extractos de semillas de la planta bija, rocú o annato (*Bixa orellana*) que en Amé-

rica del Sur es conocida como achiote. La capsantina es el colorante típico del pimiento rojo y del pimentón.

Algunas **xantófilas** se encuentran en el reino animal, como pigmentos de la yema del huevo (luteína) o de la carne de salmón y caparazones de crustáceos (cantaxantina). Para que la carne de truchas o salmones criados, o la yema de los huevos de gallina tengan un color más intenso, en el alimento de dichos animales se incorporan xantófilas extraídas de levaduras del género *Rhodotorula* o de algas *Spirulina*.



Figura 1: Algunas fuentes de carotenoides.

Colorantes benzopiránicos

En este tipo se encuentran los flavonoides antocianinas, y taninos. Son compuestos polifenólicos solubles en medio acuoso. Los flavonoides contribuyen al color amarillo pálido del melón, las peras o el ananá. Las antocianinas son las sustancias responsables de los colores rojos, azulados o violetas de la mayoría de las frutas y flores (Figura 2). Tienen un azúcar unido a su molécula, por eso son polifenoles glicosilados¹, y su color es más intenso cuanto más restos de azúcar tienen asociados.



Figura 2: Algunas fuentes de antocianinas

En estado puro son muy caros, pero los subproductos de la industria vinícola se comercializan desde 1879 y son relativamente baratos. Su característica más marcada es su capacidad de cambiar de color desde el azul al rojo al acidificar el medio (Figura 3).

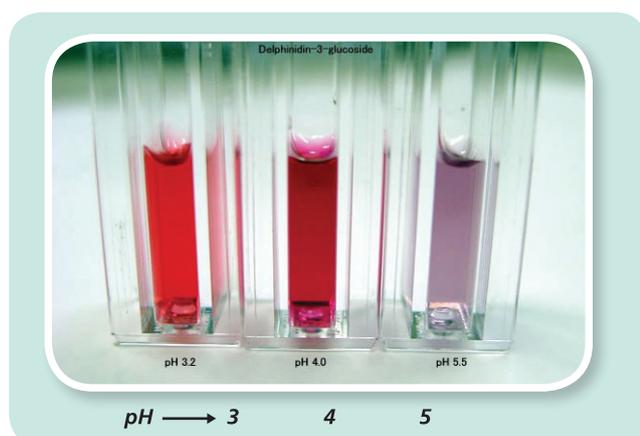


Figura 3: Efecto del pH sobre el color de las antocianinas

Los taninos son derivados del ácido tánico y pueden ir desde incoloros, pasando por el amarillo hasta colores café, de acuerdo con su grado de oxidación y/o polimerización (Fennema, 1993).

Tetrapirrólicos

Pertenecen a este tipo las clorofilas, complejos cúpricos de clorofilas y clorofilinas. Son los pigmentos más abundantes en la naturaleza, responsables del color verde de las hojas de los vegetales y de los frutos inmaduros (Figura 4). Incluyen un átomo de magnesio en su molécula. El principal interés por la clorofila en tecnología alimentaria es evitar que se degrade durante el procesamiento y almacenamiento. El calentamiento hace que las clorofilas pierdan magnesio, transformándose en otras sustancias llamadas feofitinas y cambiando su color verde característico por un color pardo oliváceo mucho menos atractivo. Si bien el agregado de bicarbonato de sodio evita que se pierda el color verde, esta práctica no está permitida porque favorece la pérdida de ácido ascórbico, que es la vitamina C. La sustitución del magnesio por cobre da lugar a otro colorante, clorofilina cúprica, mucho más estable que se aplica en helados, confitería, bebidas,



Figura 4: Fuentes de clorofila y aplicaciones de la clorofilina cúprica.

condimentos.

Dentro de esta familia, la mioglobina y hemoglobina son responsables del color rojo del músculo y de la sangre, respectivamente (Fennema, 1993). En ellas el grupo tetrapirrólico se llama hemo y contiene un átomo de hierro, y están asociadas a una proteína, por eso son hemoproteínas.

1. La glicosilación es la unión de restos azúcar a una molécula (en este caso flavonoles), y es un recurso de las plantas para protegerse de la radiación UV y de la oxidación.

Betalainas:

Este término se refiere a un grupo de aproximadamente 70 pigmentos hidrosolubles con estructura de glucósidos y que se han dividido en dos grandes clases: betacianinas (rojo) y betaxantinas (amarillo) (Fenema 1993).

El rojo de remolacha consiste en el extracto acuoso de la raíz de la remolacha roja (*Beta vulgaris*, Figura 5), y es una mezcla muy compleja de la que aún no se conocen todos sus componentes. A veces se deja fermentar el jugo de la remolacha para eliminar el azúcar presente, pero también se utiliza simplemente desecado.



Figura 5: Remolacha, fuente de betalainas

Colorantes antraquinónicos

Pertenece a este grupo la cochinilla, cuyo principio colorante es el ácido carmínico, una antraquinona de color púrpura producida por los insectos hembras de la familia Coccidae, parásitos de algunas especies de cactus (Figura 6). Actualmente se obtiene principalmente en Perú, México y otros países americanos. Se necesitan unos 100.000 insectos para obtener 11 Kg de producto, pero el colorante alcanza hasta el 20% de su peso seco. El colorante en realidad es un complejo o laca de la sustancia extraída con agua caliente (que por sí misma no tiene color) con un metal como aluminio o calcio, o con amoníaco.



Figura 6: Cactus infestado con cochinilla.

Otros: Curcumina

Es el colorante de la cúrcuma, especia obtenida del rizoma de la planta del mismo nombre cultivada en la India (Figura 7). Es un componente fundamental del *curry*. Se utiliza también como colorante de mostazas, preparados para caldos, en productos cárnicos y en derivados lácteos.



Figura 7: Rizomas de cúrcuma y cúrcuma en polvo.

Riboflavina

Es una vitamina del grupo B, denominada B₂. Es la sustancia que da color amarillo al suero de la leche. Industrialmente se obtiene por síntesis química o por métodos biotecnológicos. Es bastante estable frente al calentamiento, pero expuesta a la luz inicia reacciones que alteran el aroma y el sabor de los alimentos.

Colorante caramelo

Es un colorante de composición compleja y químicamente no bien definida, obtenida por calentamiento de un azúcar comestible (sacarosa, glucosa y otros). Existen varias formas de preparación. El obtenido sin emplear amoníaco tiene la consideración legal de colorante natural y por tanto no está sometido en general a más limitaciones que las de la buena práctica de fabricación. Es el colorante típico de las bebidas de cola y de bebidas alcohólicas como ron, coñac, cerveza (Figura 8). También se utiliza en repostería, en la elaboración del pan de centeno, en la fabricación de caramelos, helados, postres, sopas preparadas, conservas y diversos productos cárnicos. Es el colorante más utilizado en alimentación, representando más del 90% del total de todos los añadidos. Si se emplea amoníaco en su elaboración la legislación exige controlar que la presencia de algunas sustancias potencialmente nocivas (como 2-acetil-4-(5)-tetrahidroxibutilimidazol) quede por debajo de cierto límite.



Figura 8: Aplicaciones de colorante caramelo.

Melanoidinas

Se generan en todos los procesos de cocción, y a través de reacciones de condensación de grupos amino con azúcares. Son pigmentos de color amarillo-rojizo al pardo, que pueden ser solubles o no en agua, y contienen nitrógeno en su molécula. Al igual que los caramelos, no tienen una fórmula definida.

Melaninas

Son polímeros de varios tipos de compuestos fenólicos, derivados de la acción enzimática que se manifiesta, por ejemplo, cuando se cortan trozos de manzana y se dejan expuestos al aire. Son reacciones de oxidación. Hay un número muy grande de melaninas, de variados pesos moleculares. Estos pigmentos también son los responsables de la pigmentación de la piel y del cabello.

Carbón medicinal vegetal

Se obtiene por la carbonización de materias vegetales en condiciones controladas, garantizando la ausencia de hidrocarburos tóxicos. Por eso debe cumplir unas normas de calidad muy estrictas, las que exige su uso para aplicaciones farmacéuticas. Se obtiene un polvo fino que se suspende en jarabe de glucosa. Se emplea con fines decorativos.

Otra clasificación muy práctica de los colorantes de alimentos, indispensable para su aplicación, es en base a su color intrínseco y su solubilidad. En la **Tabla 2** se muestran algunos ejemplos representativos de preparaciones comercialmente disponibles de cada grupo, clasificados por su color y se indica si son hidrosolubles (se disuelven en agua) o liposolubles (si se disuelven en aceites o grasas).

Tabla 2: Los colorantes naturales, la paleta de la Naturaleza

Longitud de onda	color	Pigmento	Fuente	Solubilidad
780 nm		Betalainas	remolacha	hidrosoluble
		Antocianinas	Hibiscus, uvas y otras bayas	hidrosoluble
		Licopeno (caroteno)	Sandía, tomate, pomelo rosado	liposoluble
		Capsantina y capsorrubina	Pimiento rojo, paprika	liposoluble
630 nm		Cochinilla	Insecto <i>Dactylopius coccus</i> .	Insol. en agua, sol en álcalis
		Bixina (a) y norbixina (b) (carotenos)	Cáscara de semilla de rocú	a liposoluble b hidrosoluble
		crocina y crocetina (carotenos)	Frutos de gardenia	liposoluble
590 nm		Beta-caroteno (carotenos)	Zanahoria, zapallo pétalos de cártamo	liposoluble
		Luteína (xantófila)	Yema de huevo	liposoluble
560 nm		Curcumina	Cúrcuma	liposoluble
		Clorofilas, flavonoles, polifenoles	Té verde	Lipo e hidrosolubles
490 nm		Clorofila	Extracto de espinaca	liposoluble
		Crocina-crocetina carotenoides	Frutos de gardenia fermentados	liposoluble
450 nm		Betacianina (antocininas)	Cáscara de arándanos	hidrosoluble
380 nm		Antocianinas	Repollo morado	hidrosoluble

¿Qué limitaciones tienen los colorantes naturales?

Sus principales inconvenientes son su costo y que son muy sensibles a los tratamientos utilizados en el procesado (calor, acidez, luz, conservantes, etc.), se destruyen y pierden color fácilmente. Muchos de ellos son altamente estacionales y sus colores son más pálidos que los de los sintéticos. Cuando se emplean colorantes insolubles en agua para colorear alimentos, como carotenoides y clorofilas, son difíciles de manejar por su lentitud de disolución y por la facilidad con que se alteran en presencia de oxígeno. Todos estos motivos llevaron a sustituirlos por otros sintéticos que son más estables e imparten mayor intensidad de color que los naturales.

Los colorantes sintéticos en los comienzos de la industria química

Los colorantes sintéticos no existen en la naturaleza y en su mayoría son anilinas convenientemente purificadas para uso alimenticio. El coloreado artificial de los alimentos alcanzó su apogeo en el siglo XIX. En los comienzos de la industria química, y a través de la síntesis de colorantes orgánicos, ya en 1860 en Francia se coloreaba el vino con fucsina y más adelante se colorearon los macarrones y la manteca con dinitrocresol. En 1886 el Congreso de los Estados Unidos aprobó el uso de colorantes amarillos en la elaboración de la manteca y ya en 1900 muchos alimentos poseían colorantes. A principios del siglo XX se sintetizaban un gran número de colorantes para alimentos; sin embargo, a mediados de este siglo se comenzó a regular su uso, debido a que muchos de ellos contenían plomo, cobre y arsénico y representan riesgos muy significativos para la salud. En 1918 se introdujo en Estados Unidos, el denominado "amarillo de manteca" (4-dimetilaminoazobenceno) pero se prohibió el mismo año ya que afectó a los obreros que lo manejaban. En otros países, especialmente en Japón, se utilizó hasta los años 40, cuando se demostraron incuestionablemente sus propiedades como agente carcinógeno. A partir de entonces, la Food and Drug Administration (FDA) prohibió el uso de una extensa lista de los colorantes sintéticos (por ser cancerígenos).



Figura 9:
Colorantes sintéticos.

Críticas y riesgos para la salud de los colorantes sintéticos

Del conjunto de los aditivos alimentarios, el grupo de los colorantes es, probablemente, el que mayor polémica ha originado entre los consumidores. Sin embargo, de acuerdo con la FDA, mientras que la cantidad de colorantes alimentarios sintéticos consumida en Estados Unidos en 1955 era de 12 miligramos por día por persona, en 2007 fue de 59 mg por día por persona. De manera que aumentó casi siete veces en ese lapso. En cuanto a su toxicidad, después del episodio del mencionado amarillo manteca, se consideraban como agentes tóxicos y dañinos y han sido acusados repetidas veces de cancerígenos, aunque esta afirmación no llegara a demostrarse en muchos casos. El caso "amarillo de manteca" dio lugar a una serie de investigaciones sobre la relación entre la estructura química y la toxicidad. Se determinó, por ejemplo, que la presencia de grupos básicos ($-NH_2$) aumenta las posibilidades de que un colorante sea cancerígeno. Por lo tanto, para evitar la formación de aminas cancerígenas se exigió que los colorantes azoicos para uso alimentario llevaran en sus moléculas también grupos sulfónicos o carboxílicos, que aumentan la solubilidad en agua y, por consiguiente, pueden eliminarse más fácilmente del organismo. El "amarillo de manteca" causó tan notables efectos debido a que se absorbe en una gran proporción en el intestino y se metaboliza en el hígado. Los colorantes que se utilizan actualmente, se absorben muy poco en el intestino y se destruyen en su mayoría por la flora intestinal.

También se ha acusado a todos los colorantes azoicos de provocar alergias en personas alérgicas a la aspirina, aunque esto solo se ha demostrado para uno de ellos, la tartrazina. Se comprobó que no provocan trastornos en el comportamiento y aprendizaje en niños, aunque algunos estudios indican que en dosis elevadas pueden ser agravantes de los síntomas, especialmente la tartrazina.

Los colorantes de síntesis deben reunir una serie de características para asegurar su buen uso. En esencia, deben ser inocuos, constituir una especie química definida y pura; tener gran poder tintóreo, con objeto de utilizar la mínima cantidad posible y ser fácilmente incorporable al producto; ser lo más estable posible a la luz y al calor; poseer compatibilidad con los productos a teñir; no tener olor ni sabor desagradables; ser indiferentes al pH, agentes oxidantes y/o reductores y ser lo más económico posible.

Una prueba del origen no genuino de un alimento es la presencia de colorantes sintéticos cuyo empleo no está permitido en él. Los químicos tienen una función relevante e indelegable en cada uno de los aspectos que llevan a la obtención, aprobación y control de un aditivo, y en particular de un colorante, y luego de su seguimiento a lo largo del tiempo. De hecho, en los albores de la química en nuestro país, el Dr. Pe-

dro N. Arata² fundó la Oficina Química Municipal en la Ciudad de Buenos Aires en 1883, uno de cuyos fines fue el control de alimentos. Ya en 1885 implementó un ingenioso método para determinar la presencia de colorantes sintéticos en vinos (Arata, 1885). Este método, conocido por su nombre, se emplea aún en la actualidad, y se basa en las diferencias que presentan los colorantes naturales del vino, con respecto a los sintéticos, para el teñido de la lana.

Hay que destacar que después de un largo camino, y gracias al conocimiento y control que de ellos se tiene, en la actualidad los colorantes permitidos no son peligrosos. Sin embargo, a finales del siglo XX se observa una fuerte tendencia hacia el consumo de productos de origen natural.

¿En qué casos está justificado incorporar colorantes sintéticos en los alimentos?

Como dijimos, el consumidor medio asocia ciertos colores a ciertos sabores, pudiendo influir el color de la comida en el sabor percibido, en productos que van desde las golosinas hasta el vino. Los alimentos naturales tienen su propio color, pero circunstancias como la variabilidad de las materias primas utilizadas en la elaboración de algunos productos y los procesos tecnológicos empleados (calor, acidez, luz, conservantes), provocan que el color cambie, ya sea porque se generan ciertos pigmentos o bien porque las sustancias colorantes naturales se destruyen. Es entonces cuando el color normalizado, el esperado por el consumidor, se obtiene de forma artificial.

Los colorantes bien empleados y permitidos ayudan a que ciertos alimentos que por naturaleza propia se decoloran, tengan aspecto agradable, como por ejemplo el rojo en las cerezas confitadas (que de otra forma serían amarillentas). El coloreado también contribuye a la identificación visual del producto por parte del consumidor, y en muchos casos un buen proceso de coloreado puede condicionar el éxito o fracaso comercial de un producto. La principal justificación del agregado de colorantes es mejorar su aspecto visual y poder dar respuesta a las expectativas del consumidor. Bajo ninguna razón se puede utilizar colorante para ocultar o disimular fallas en el producto. Los colorantes sintéticos se emplean ampliamente en cereales para el desayuno, golosinas, bebidas gaseosas y alimentos tipo *snack* para atraer la atención de los niños. Aún alimentos que no presentan colores intensos contienen colorantes sintéticos, como por ejemplo quesos, fideos o purés deshidratados. Aunque la mayoría de los consumidores saben que los alimentos con colores brillantes (Figura 10) seguramente contienen colorantes sintéticos, muchos menos conocen que alimentos aparentemente «naturales» como las naranjas o el salmón también están a veces coloreados para darles un aspecto mejor y más homogéneo.



Figura 10: Alimentos con colorantes sintéticos.

¿Quién reglamenta y controla el uso de los colorantes sintéticos?

El uso de los colorantes, como el de todos los aditivos, está rigurosamente reglamentado tanto nacional como internacionalmente. La regulación de los mismos está basada principalmente en dos cuestiones predominantes: ¿Es seguro? ¿Es necesario? La mayoría de los colorantes naturales no tienen más limitación legal a su uso que la buena práctica de fabricación, aunque esta situación podría cambiar. La preocupación por su seguridad ha hecho que los colorantes artificiales hayan sido estudiados en forma exhaustiva en lo que respecta a su efecto sobre la salud, mucho más que los colorantes naturales.

Desde el punto de vista sanitario, a través del Comité de Expertos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estudia de forma continuada los inconvenientes toxicológicos que pueden aparecer con los colorantes cuando son utilizados como aditivos alimentarios (http://www.fao.org/es/ESN/jecfa/index_es.stm). A partir de los resultados obtenidos de dichos estudios, se ha hecho una clasificación en función de los datos que se tiene de los mismos, que restringe su aplicabilidad en el caso de que existan pocos estudios.

En la mayoría de los países hay aprobados solo unos pocos colorantes sintéticos, con distinto grado de restricción, según el criterio de las autoridades sanitarias locales. Al contrario de lo que sucede en los otros grupos de aditivos alimentarios, existen grandes variaciones de un país a otro y no todos los colorantes permitidos en un país, lo son en otros. Por ejemplo, en los Países Nórdicos están prohibidos prácticamente todos los artificiales, mientras que en Estados Unidos

2. El Dr. Pedro Narciso Arata (1849-1922) fue uno de los más destacados químicos argentinos y protagonista de los primeros años de la ciencia nacional, a fines del siglo XIX. Si bien estudió en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Buenos Aires, volcó sus investigaciones a la química y en particular, fitoquímica. Con proyección internacional, fue docente en el área de química orgánica de las facultades de Ciencias Físico-Naturales (luego Exactas), Ciencias Médicas y Agronomía y Veterinaria, y perteneció a institutos científicos de Madrid, Roma, Berlín, Santiago de Chile y París. Organizó la Oficina de Inspección de Alimentos, y fue creador, en 1883, de la Oficina Química Municipal, (la que dirigió hasta 1911 y hoy lleva su nombre). Fue el organizador de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Buenos Aires, de la cual fue decano hasta 1911, en que renunció por su avanzada edad. (<http://www.metapublicidad.com.ar/ameghino/obras/arata/alquitrán.htm>). Un premio de la Asociación Química Argentina recuerda su semblanza.

no están autorizados algunos de los que se usan en Europa y viceversa. Esta situación se debe a que en algunos países, el criterio utilizado para los estudios toxicológicos, es el de realizar los ensayos en situaciones análogas a las que van a ser empleados. Hay otro tipo de ensayos que se realizan inyectando soluciones de los colorantes bajo la piel de los individuos objeto del estudio. Como los ensayos son diferentes, las conclusiones que se derivan de los mismos pueden no coincidir. En la Argentina, el Ministerio de Salud de la Nación a través de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica –ANMAT, <http://www.anmat.gov.ar/> y el Instituto Nacional de Alimentos –INAL- en coordinación con las autoridades del Servicio Nacional de Calidad Agroalimentaria –SENASA, <http://www.senasa.gov.ar/> son los que tienen a cargo la aprobación y regulación de los aditivos alimentarios. Por su parte, Argentina como país miembro del MERCOSUR, trata este tema a nivel regional. Entidades provinciales y municipales son encargadas de ejecutar la reglamentación establecida a nivel nacional y establecer el control para que se cumpla con las normas vigentes.

En el Código Alimentario Argentino pueden encontrarse las normativas vigentes para el uso de los colorantes naturales y sintéticos (Art 1324). Según el mismo, la coloración puede hacerse en los casos específicamente permitidos empleando: jugos o zumos u hortalizas comestibles y los preparados para uso alimentario conteniendo sus principios activos y las especies químicas (naturales o de síntesis) que se indican (antocianos, β - apo-8'carotenal natural o sintético, β - apo-8'carotenato de etilo natural o sintético, azafrán, cantaxantina, caramelo, cártamo amarillo, cártamo rojo, carotenos (β - caroteno sintético), clorofilas (clorofilina cúprica, sódica o potásica, clorofilina magnésica, sódica o potásica), cochinilla, cúrcuma, indigotina natural o sintética, norbixina, paprika, riboflavina, rocú y rojo de remolacha. Además, pigmentos inorgánicos (aluminio, carbonato de calcio, dióxido de titanio, oro, óxidos de hierro, negros de carbón y plata) para coloración de superficies, en casos que se establecen específicamente. Exclusivamente para cáscara de quesos se permite emplear litol rubina bk y óxidos de hierro.

Tanto los colorantes naturales como los sintéticos se codifican de acuerdo con un sistema numérico internacional para aditivos alimentarios (INS). El número INS se basa en los ya adjudicados y aprobados por la Unión Europea, conocidos como "números E". Por ejemplo, el amarillo ocaso tiene un INS 110, que equivale a E110. Los colorantes sintéticos permitidos por el Código Alimentario Argentino (como excepción y para alimentos específicos, cumpliendo especificaciones correspondientes, Art 1325), y por las Normas Mercosur son los que se presentan en la **Tabla 3**. Estos colorantes son todos solubles en agua y no en aceites o grasas, de manera que permiten colorear solamente alimentos con una fase acuosa importante. Estos colores son básicos y a partir de ellos se pueden generar mezclas que permiten una gran gama de colores.

Tabla 3: Colorantes sintético permitidos por el Código Alimentario Argentino

Colorante	INS N°	Color
Amaranto	123	Rojo
Amarillo Ocaso (Sunset)	110	Anaranjado
Azorubina FCf	122	Rojo
Azul Brillante FCF	133	Azul
Azul Patente V	131	Azul
Carmoisina	122	Amarillo
Eritrosina	127	Rosado
Indigo carmín	132	Azul
Punzó 4 R	124	Rojo
Rojo Allura (#40)	129	Rojo
Tartrazina	102	Amarillo
Verde Indeleble FCF	143	Verde azulado

Información en las etiquetas

Tanto a nivel nacional como internacional, el etiquetado de los alimentos indicando sus aditivos es obligatorio junto con los ingredientes, y debe ser claro para el consumidor. En las etiquetas de los productos que contengan colorantes (además de las exigencias establecidas para los aditivos) se advertirá si se usó un "Colorante natural", "Colorante artificial permitido" o "para coberturas de alimentos", según sea el caso. Y cuando estén diluidos o incorporados a excipientes inocuos, se debe hacer constar la concentración. Cada colorante tiene por sí mismo un límite que varía según la sustancia de que se trate y del alimento en el que se utilice. En la Argentina la cantidad total de colorantes artificiales está, en general, a entre 100 y 300 mg/Kg en cualquier producto alimentario sólido, dependiendo de cual sea, y a 70 mg/L en bebidas. La tendencia actual es a limitar más aún tanto los productos utilizables como las cantidades que pueden añadirse.

El fenómeno de la percepción de color

El color se puede definir como el aspecto de la apariencia que resulta de las diferencias en la distribución espectral de la luz, y que da por resultado aquello a que nos referimos cuando decimos que algo es rojo, verde, azul, amarillo, blanco, negro o de cualquier otro tono intermedio.

Todos los colorantes (naturales o sintéticos) se caracterizan porque sus moléculas tienen la estructura adecuada para que puedan excitarse por la luz. La luz comprende una zona de longitudes de onda desde 390 a 760 nm, lo que se llama el espectro visible. Como se ve en la Figura 10, es una porción muy pequeña del espectro electromagnético, que va desde los rayos cósmicos hasta las ondas de radio. El ojo humano, por otro lado, se puede considerar como un detector que capta justamente las señales en la misma zona del espectro

en que la luz excita las moléculas de los pigmentos. Para que exista color se requieren tres elementos: la luz, un objeto y el ojo que actúa como detector. El ojo humano es un órgano muy sensible: puede detectar hasta 10 millones de colores diferentes. El color no es una característica física de un material, tal como son la densidad o el punto de fusión. Por el contrario, corresponde a una porción de las señales provenientes de un objeto, que excitan fotorreceptores en la retina y luego las interpreta el cerebro humano. En ausencia de luz, por ejemplo bajo radiación ultravioleta o infrarroja, se pierde la percepción de color.

Es posible definir el color de un alimento determinando con rigurosidad el estímulo físico que recibe el ojo humano y que será eventualmente interpretado como color. Desafortunadamente, esto no es verdad para las reacciones fisiológicas y psicológicas que desencadena (Moss, 2002), y por lo tanto tiene serias limitaciones cuando tratamos de emplear la medición de color como una herramienta en el control de calidad, o en el procesado y comercialización de un alimento. Una aproximación más satisfactoria es interpretar la respuesta en base a cómo el ojo humano percibe el color. Brevemente, el ojo humano tiene dos tipos de células sensitivas en la retina, los bastones y los conos. Los bastones son sensibles a la claridad u oscuridad y los conos a la cromaticidad. Hay tres tipos de conos, que son sensibles en distintos segmentos del espectro luminoso. Los conos ρ son sensibles a la región de longitudes más altas del espectro visible, correspondiente a los tonos rojos; los conos γ son sensibles a la porción de longitudes de onda intermedias, cercana a las tonalidades verdes y los conos β tienen su máximo de sensibilidad en la región de los azules, correspondientes a las longitudes de onda más bajas del espectro visible (Wright, 1969).

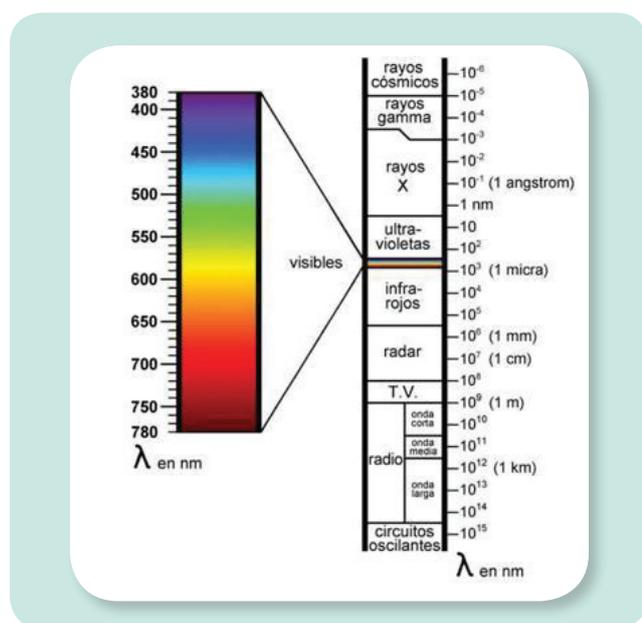


Figura 10: Espectro visible, incluido en el diagrama general de las radiaciones electromagnéticas.

Material de un curso del Dr. José Luis Caivano, disponible en http://www.posgradofadu.com.ar/archivos/biblio_doc/colorpsg.pdf

La interpretación de señales por el cerebro es un fenómeno muy complejo y está influido por aspectos psicológicos. Por ejemplo, una hoja de papel blanco se percibe blanca tanto bajo la luz del sol como bajo la luz de las hojas verdes de los árboles. Si bien el estímulo físico es obviamente distinto, el cerebro lo reconoce como blanco. Similarmente, una superficie extensa (como una pared) se percibe como más brillante que un área pequeña de una muestra de la misma pintura (Hutchings, 2002). El fondo sobre el cual se observa una pequeña muestra del color también influye sobre la percepción.

La medición de color

Sistemas de comparación visual.

En la evaluación visual del color en alimentos, es común realizar comparaciones, y asignar un valor de acuerdo con cartas de color específicas para un determinado tipo de producto. Afortunadamente, cuando las condiciones de la evaluación están bien controladas, el ojo humano es un buen instrumento y después de extensas investigaciones sobre sistemas visuales de medición de color, existen excelentes sólidos de color de tres dimensiones.

Los tres atributos que definen un color dado son: tono (o tinte, la cualidad que distingue al rojo del amarillo y del azul), luminosidad (que indica cuánto más cerca está del blanco que del negro) y saturación (que describe su pureza con respecto al color espectral de una longitud de onda fija). Para lograr una adecuada caracterización de los colores se desarrollaron sistemas de medida que se conocen como "espacios de color" y permiten la especificación completa en el espacio tridimensional, en base a dichos atributos. De esos sistemas, el más conocido es el Sistema Munsell, diseñado por el artista A.H. Munsell en 1905, que ha sido extensamente empleado a lo largo del tiempo tanto para pinturas, telas o materiales plásticos y cerámicos (MacDougall, 2002). Este sistema contiene 1225 patrones de color dispuestos para comparación visual. Cada patrón tiene una designación numérica que permite describir un dado color sin ambigüedades. Se emplean generalmente estándares de plástico, papel o vidrio y muchas compañías procesadoras de alimentos los han adoptado. Por ejemplo, el sistema oficial para la graduación de jugo de tomate USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) emplea un sistema de discos de papel pintados de una designación específica Munsell para describir los grados de color (Francis, 2005). Para productos azucarados, caramelos y mieles existen vidrios de colores patrón. Para arvejas, porotos, manteca de maní, jugo de naranja, champiñones enlatados, duraznos, pimientos y salmón hay patrones plásticos. Hay otros sistemas parecidos al Munsell, como NCS (Natural Color Systems), basados en los mismos principios. La designación de colores en alimentos por comparación visual es práctica, no requiere instrumentación y se entiende fácilmente; por ese motivo fue y es ampliamente utilizada. Todos los patrones de coloración son frágiles y pueden cambiar de color con el uso. Repetidas observaciones visuales pueden ser tediosas, y a veces los observadores no pueden definir cla-

ramente los colores que no coinciden exactamente con estándares. Estas son las principales razones por las cuales se han desarrollado métodos instrumentales para la medición de color.

Medición instrumental

En un trabajo histórico llevado a cabo entre 1920 y comienzos de la década de 1930 se analizaron las características del ojo humano para la percepción de color (Wright, 1969). En el experimento intervinieron numerosos participantes de todo el mundo, y a través del análisis de los resultados se definió el "observador patrón" como representativo de un observador de visión normal. Este trabajo conformó las bases de la Comisión Internacional de la Iluminación (Comisión Internationale de l'Éclairage -CIE 1931). En el sistema CIE 1931 cada color queda definido por tres variables: X, Y y Z, conocidas como los valores triestímulo, que representan a tres colores primarios imaginarios. La CIE ha

establecido además fuentes de luz estándar. Por ejemplo, el iluminante C tiene una distribución energética similar a la luz blanca solar (difusa, cielo cubierto) y el iluminante D correspondiente a la irradiación solar directa. La elección del iluminante depende de las condiciones en las que normalmente se observa el objeto a estudiar. Los espectrofotómetros actuales cuentan con los datos para varios iluminantes y con las funciones que describen la sensibilidad del ojo humano para los tres primarios mencionados. En la Figura 11 se compara el sistema de percepción de color a través del ojo, con el de un espectrocolorímetro.

El sistema de computación del equipo, a través de sensores, recibe los datos de la muestra que se está midiendo, la combina con los datos del iluminante y con los datos de la sensibilidad del ojo humano para los tres primarios. De esta forma, se obtienen los valores numéricos de la contribución de cada uno de los tres primarios ideales (X, Y, Z) al color dado.

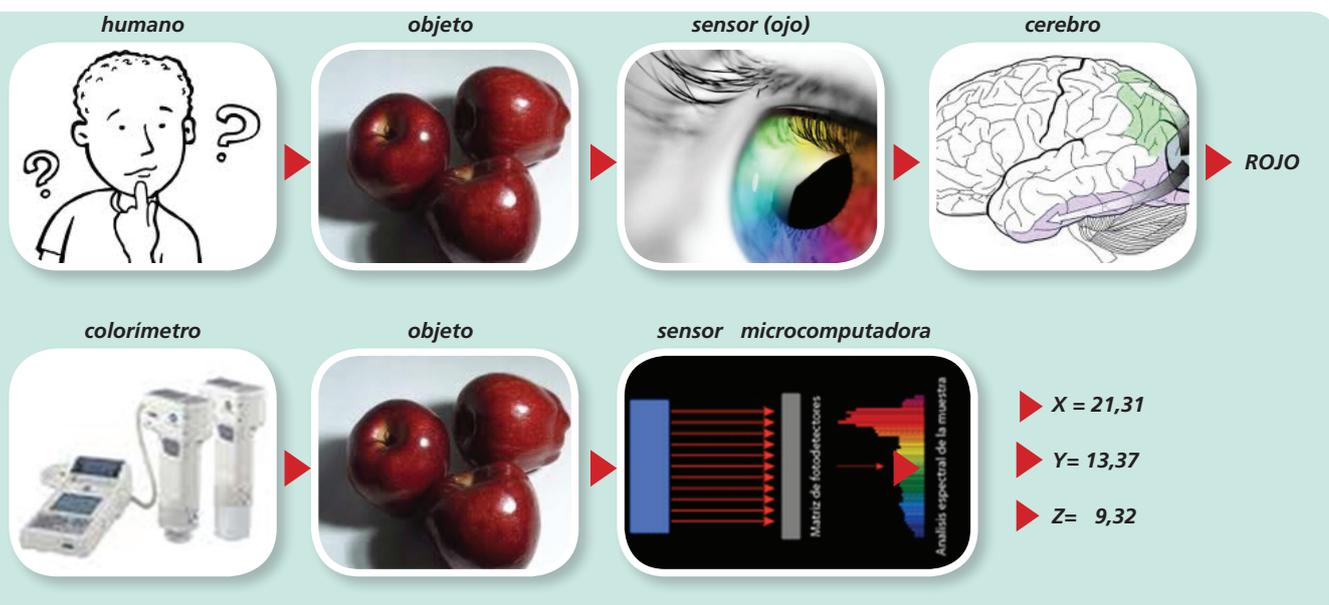


Figura 11: El esquema superior muestra el proceso de percepción de color y el inferior el de su medición.

Aspectos no cromáticos de la apariencia

Tradicionalmente los estudios sobre color en alimentos han prevalecido sobre aquellos relacionados a otros aspectos de apariencia. Sin embargo, además de efectos de la distribución espectral de la luz, la vista permite juzgar efectos derivados de la distribución espacial de la luz, que también influyen sobre la percepción de color (Caivano, 1994). César Jannello, de la Facultad de Arquitectura-UBA, en la década del 60 designó "cesía" los modos de apariencia visual producidos por la transformación en cantidad y/o distribución espacial de la luz que alcanza el ojo luego de ser absorbida o re-emitida por un objeto, y que dan lugar a fenómenos tales como transparencia, translucidez, opacidad, brillo especular y apariencia mate, con distintos grados de luminosidad. En 1991 Caivano, de la misma Facultad, organizó un espacio de cesías. Desde entonces, el término cesía se utiliza internacionalmente para las sensaciones visuales que dependen de la distribución espacial de la luz, de la misma manera

que el término color se utiliza para las sensaciones visuales que dependen de la distribución espectral de la luz (Caivano, 1991).

Durante el proceso de elaboración o almacenamiento de alimentos pueden ocurrir cambios de fase y estado, aparición de burbujas, cristales o partículas, factores que determinan cambios en la distribución espacial de la luz e influyen sobre la percepción de cromaticidad. En la Figura 12 se puede ver el efecto de la formación de burbujas de aire en el interior de los copos de maíz, que produce el efecto de mayor claridad. En la Figura 13 se ve que la generación de cristales de azúcar en un caramelo produce la sensación de blancura. Notablemente, estas propiedades no se emplean rutinariamente en la industria para caracterizar importantes atributos de los alimentos, en la misma medida en que se emplean los de color (tono, saturación).



Figura 12: Efecto de la formación de burbujas sobre la transparencia durante la producción de copos de maíz

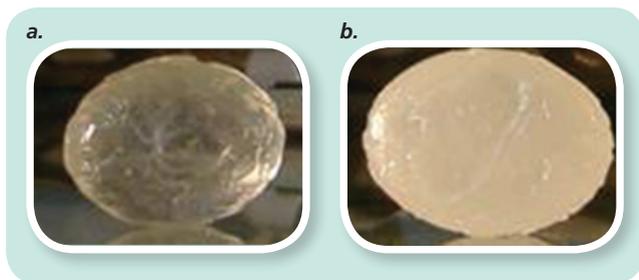


Figura 13: Efecto de la formación de cristales en caramelos transparentes.

a. caramelo duro

b. caramelo duro en el que ha cristalizado glucosa

Existe un área de la gastronomía, conocida como “gastronomía molecular”, que impulsa la creación de sensaciones paralelas al sabor en la degustación de alimentos. Se dice que es la aplicación de la ciencia a la práctica culinaria para estudiar la transformación de los alimentos en sorprendentes platos, y se relaciona también con aspectos artísticos. La creación de texturas visuales originales y atractivas por combinación de cesías contribuye significativamente al desarrollo de estos alimentos, tal como se observa en la Figura 14. El desarrollo de espacios de cesía, de la misma manera como se hace con los espacios de color, impulsará una mejora en el diseño de alimentos innovadores.



Figura 14: Algunos ejemplos de la combinación de colores y cesías para la creación de alimentos originales en gastronomía molecular.

Tendencias futuras

A través del tiempo, la utilización de colorantes sintéticos en alimentos aumentó entre los siglos XIX y XX, debido a las características de alta estacionalidad, precio y baja estabilidad de los colorantes naturales. En las últimas décadas surgió una preferencia notable de los consumidores por los colorantes naturales, y esta tendencia está en aumento.

Una de las alternativas es la reutilización de materiales que históricamente fueron desechados, como orujos de uva u otros vegetales. También, algunos de los colorantes y sus fuentes han sido realmente redescubiertos, como los que provienen de plantas que crecen en regiones semiáridas de México, y proporcionan color amarillo. Otras fuentes estudiadas son extractos de frutos de cactáceas, de Opuntias y de Stenocereus, para colorantes rojos. En Sudamérica una fuente de colorantes rojos es el fruto de *Aristotelia chilensis* o maqui, que crece en Chile y Argentina.

Varios grupos de investigación se encuentran en la búsqueda de nuevos colorantes de origen natural. Estos trabajos también incluyen la selección genética para aumentar la relación del colorante con el mayor coeficiente de extinción, o con menor sensibilidad al pH, por ejemplo. Los cambios pueden llegar también a través de la ingeniería genética. Las técnicas de biotecnología, química y biología han permitido aumentar la síntesis de colorantes naturales en organismos productores, o incluso producirlo en microorganismos. Si bien los beneficios que aportan los alimentos modificados genéticamente no son tan evidentes para el consumidor como lo son para el productor y para el medio ambiente, estos se harán más notables en el futuro, cuando salgan de los laboratorios muchos de los productos que actualmente se encuentran en distintas fases de experimentación (ArgenBio, 2005).

Dentro de los colorantes sintéticos, como su toxicidad está relacionada con la absorción, se están estudiando colorantes de alto peso molecular, que no son absorbidos por el tracto gastrointestinal, con lo cual se reducirían los riesgos de toxicidad. Estos colorantes conocidos como “colorantes poliméricos” mantienen las propiedades físico-químicas de los colorantes naturales. Los pigmentos insolubles de colorantes poliméricos conocidos como lacas son obtenidos por absorción del colorante en un sustrato, generalmente de hidrato de alúmina. Estas lacas son muy estables frente a la luz y al calor. Entre otras propiedades tienen la de poder ser incorporadas a los productos en estado seco (lo cual es de gran utilidad en los procesos de fabricación).

El desarrollo de la ciencia y la tecnología de alimentos en los últimos 50 años, ha hecho posible la implementación de técnicas de extracción directa de pigmentos naturales. Por otro lado, se han desarrollado diferentes métodos de conservación de biomoléculas, con técnicas de micro y nanoencapsulación, que permiten que los colorantes naturales puedan conservar-

se en polvo preservando mejor sus cualidades, sortear el problema de su inestabilidad, y disponer del colorante natural durante todas las estaciones del año y a lo largo de la cadena de elaboración y de distribución. Paralelamente, como todos los aditivos, los colorantes sintéticos se someten a revisiones de seguridad continuas a medida que los conocimientos científicos y los métodos de evaluación siguen progresando también en base a los adelantos científicos sobre las técnicas analíticas.

Los avances en los estudios complementarios de los aspectos de apariencia relacionados con la distribución espacial de la luz darán origen al desarrollo de escalas y espacios para la creación de productos innovadores en el área de alimentos.

Es posible que los consumidores tengan una sensación negativa con respecto a los desarrollos químicos y tecnológicos en el área de colorantes alimentarios. Muchos de ellos perciben a la tecnología de alimentos como una herramienta para producir "alimentos sintéticos". Sin embargo, lejos de ello, y en base a desarrollos e investigación en estas áreas, lo cierto es que todos los avances actuales y futuros tienden a preservar mejor los componentes naturales.

Referencias Bibliográficas

Arata, P.N. (1885). *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, Tomo XIX, primer semestre de 1885. Tomado de <http://www.metapublicidad.com.ar/ameghino/obras/arata/alquitran.htm>

ArgenBio(2005). El Cuaderno 75 del Programa Educativo Por Qué Biotecnología <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=3¬e=75>

Caivano, J.L. (1991). Cesia: A system of visual signs complementing color. *Color Res. App.* 16 (4), pp. 258-268.

Caivano, J.L. (1994). Apariencia (cesia): formación de escalas a partir de discos giratorios. *ArgenColor 1992*, pp 90-105. Ediciones INTI.

Fennema Owen R. (1993). *Química de alimentos*, Cap. 8. Zaragoza, Acribia.

Francis, F. J. (2005). *Colorimetric Properties of Foods*, en *Engineering Properties of Foods* Cap.8. Eds. M.A. Rao, S.H. Rizvi y A. K. Datta. Taylor & Francis Group, LLC.

Jannello, César V. (1984). *Fundamentos de Teoría de la Delimitación*. Buenos Aires, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UBA.

Hutchings, J. (2002). Cap. 2, en *Colour in Food - Improving Quality*. Ed. MacDougall, D.B. Woodhead Publishing

MacDougall, D.B. (2002). Cap. 3 en *Colour in Food - Improving Quality*. Ed. MacDougall, D.B. Woodhead Publishing

Moss, B.W. (2002). Cap. 7, en *Colour in Food - Improving Quality*. Ed. MacDougall, D.B. Woodhead Publishing
Wright, W.D. (1969). *The Measurement of Colour*, 4th Ed. Londres, Van Nostrand Reinhold.

28

DEGRADACIÓN Y MOVILIDAD DE LOS AGROQUÍMICOS EN SUELOS Y AGUAS NATURALES.

CASOS DE ESTUDIO EN ARGENTINA

Lic. Héctor R. Tévez¹ y Dra. María dos Santos Afonso²

1: Facultad de Cs Forestales- Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Email: htevez@gmail.com

2: INQUIMAE Y DQIAQF-FCEN-UBA Ciudad Universitaria Pabellón II 3er Piso C1428EHA

Ciudad Autónoma de Buenos Aires Argentina. Email: dosantos@qi.fcen.uba.ar

¿Qué es un plaguicida?

Los plaguicidas son sustancias químicas, de origen sintético o natural, destinadas a matar, repeler, atraer, regular o bien interrumpir el crecimiento de plagas. Consideramos plaga a aquellos organismos perjudiciales -a los intereses humanos- que transmiten enfermedades, compiten por alimentos o dañan bienes económicos y culturales: insectos, hierbas malas, hongos entre otros.

Resulta incuestionable desechar los beneficios que tuvieron y tienen los plaguicidas sobre la producción agrícola y el combate de enfermedades humanas y animales. Se le puede asignar casi un 30 % del incremento en la producción de alimentos solamente a estas sustancias, pero sin lugar a duda sus formas de aplicación más el mal manejo del suelo llevaron a que muchos ambientes se encuentren contaminados, degradados, desérticos, o en vías de serlo en no mucho tiempo; de ahí que el uso del suelo y el manejo de los plaguicidas debe ser de forma "sostenible". La sostenibilidad de los ecosistemas no niega la necesidad de que la agricultura siga contribuyendo al crecimiento, al alivio de la hambruna y a una mayor disponibilidad alimentaria; pero si exige que la agricultura lo realice de una forma que no degrade o destruya los recursos naturales, de tal modo que las generaciones futuras también puedan satisfacer sus necesidades de alimentos manteniendo el medio ambiente.

Los plaguicidas que se comercializan en el mercado contienen dos tipos de sustancias químicas: el ingrediente activo y un ingrediente inerte o inactivo. El ingrediente activo es el compuesto que tiene como misión el control de la plaga. El ingrediente inactivo es una sustancia que se agrega para facilitar la aplicación y mejorar la efectividad del ingrediente activo. La combinación de estos ingredientes se conoce en el mercado como formulaciones. Las formulaciones permiten que el plaguicida sea aplicado de diferentes

maneras (aerosoles, polvos humectables, granulados, concentrados emulsionables) para alcanzar resultados específicos.

¿Cómo se clasifican los plaguicidas?

Existen muchas formas de clasificar los plaguicidas, mencionaremos solo algunas de ellas que se corresponden con los grupos de organismos vivos sobre los que actúan, los grupos funcionales químicos principales, la toxicidad y el modo de acción de los mismos.

La clasificación según los organismos vivos que controlan se muestra en la Tabla 1.

La sistematización de acuerdo con la composición química que poseen los ordena en organoclorados, organofosforados, carbamatos y tiocarbamatos, piretroides; dinitrofenoles, triazinas, ácidos tricloroacéticos y fenoxiacético, cumarinas, bipiridilos, pirazolonas, organotinas, compuestos de cobre, mercurio y de arsénico, entre otros.

Tabla 1: Clasificación de los plaguicidas de acuerdo con los organismos que controlan

<i>Acaricidas</i>	<i>Algucidas</i>	<i>Antialimentadores</i>
<i>Avicidas</i>	<i>Bactericidas</i>	<i>Repelentes de pájaros</i>
<i>Quimioesterilizantes</i>	<i>Fungicidas</i>	<i>Protectores de Herbicidas</i>
<i>Herbicidas</i>	<i>Atrayentes de insectos</i>	<i>Repelentes de Insectos</i>
<i>Insecticidas</i>	<i>Repelentes de mamíferos</i>	<i>Alteradores del apareamiento</i>
<i>Molusquicidas</i>	<i>Nematicidas</i>	<i>Activadores de plantas</i>
<i>Reguladores de crecimiento de plantas</i>	<i>Rodenticidas</i>	<i>Sinergistas</i>
<i>Virucidas</i>	<i>Miscelánea</i>	

La toxicidad es otro de los parámetros a tener en cuenta, clasificándolos como extremadamente peligrosos, altamente peligrosos, moderadamente peligrosos, levemente peligrosos y de riesgo agudo poco probable en el uso normal.

La clasificación de acuerdo con el modo de acción para los herbicidas e insecticidas los separa en 27 grupos teniendo en cuenta los sitios de destino, los sitios de acción, la similitud de los síntomas inducidos o las clases químicas. Esta clasificación fue realizada en forma

conjunta por el Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) y la Weed Science Society of America (WSSA). La clasificación de los insecticidas fue realizada por The Insecticide Resistance Action Committee (IRAC).

¿Qué efectos tienen los plaguicidas sobre el ambiente?

El uso continuo y descontrolado de los plaguicidas llevaron al advenimiento de problemas ambientales, con incidencia directa sobre la salud humana y sobre la supervivencia de numerosas especies. En concordancia con el incremento del uso de plaguicidas, crecieron en forma significativa los accidentes y enfermedades relacionadas con los mismos. Las formas de ingresar al organismo puede ser a través de la piel, las vías aéreas o por ingestión en sus diferentes formas, y sus efectos son de los más variados dependiendo del plaguicida, dosis, el lugar de ingreso y el tiempo de exposición. De ahí que podemos tener efectos inmediatos de vómitos, diarreas, cefaleas, alteraciones nerviosas, somnolencia, convulsiones, abortos o muerte. También se pueden producir efectos crónicos, cáncer, necrosis de hígado, neuropatías periféricas o malformaciones. Estos y otros problemas pueden ser consecuencia de la acumulación debido a la biotransformación lenta que manifiestan muchos plaguicidas y también al efecto sinérgico de mezclar sustancias activas o de los coadyuvantes.

Los plaguicidas han sido diseñados para ofrecer una elevada acción específica, sin embargo su utilización permanente ha creado y produce muchos y variados efectos indeseados como la producción de organismos resistentes, la persistencia ambiental de residuos tóxicos y la contaminación de recursos hídricos, sumados a la degradación de la fauna y flora.

La persistencia en el ambiente por parte de estas sustancias xenobióticas produce una biomagnificación, producto de la acumulación en el organismo humano como punto final de la cadena trófica. Además de los desequilibrios ecológicos provocados por la desaparición de especies beneficiosas y la aparición de otras perjudiciales.

Cuando aparece una resistencia de la especie a combatir entonces se hace necesario incrementar la dosis del plaguicida o bien tratar de sustituirlo por otro con un efecto tóxico diferente.

La FAO, en el año 1965, censó 182 plagas, 12 años después se documentaron 364, mientras que hoy en día son más de 500 las variedades de insectos resistentes a los plaguicidas, por lo que el uso intensivo de los pesticidas no es una solución a los problemas de las plagas mas por el contrario las consecuencias de su uso pueden ser adversas. Ejemplo de ello es que en los EEUU, el uso de plaguicidas se ha multiplicado por 11 desde finales de los años 40, sin embargo, las pérdidas en las cosechas, debidas a plagas han aumentado de un 7% a un 13%.

El camino de los plaguicidas

La contaminación del recurso agua por plaguicidas tiene varias vías de ingreso. La vía directa, que se corresponde con las fumigaciones, el lavado de maquinarias de aplicación, o bien por lavado de envases y descargas de los residuos en represas, pozos o canales. La vía indirecta es producto de la contaminación de los suelos donde, por infiltración o escorrentía, las sustancias indeseables finalmente llegan a los reservorios de aguas subterráneas o superficiales.

Las aguas contaminadas esparcen los tóxicos sobre la flora y la fauna con la consecuente muerte de especies, intoxicaciones de personas, además de la pérdida de las reservas de agua (Figura 1).

Otras consecuencias

La acumulación de los recipientes que contenían los plaguicidas trae aparejada consecuencias indeseables, entre las que se puede resaltar la liberación de toxinas, cuya toxicidad suele ser aun mayor que el producto de origen, debidas a la quema de los envases. En el año 2001 fueron utilizados en todo nuestro país 12.670.430 envases de plaguicidas (con un peso de 5935 Toneladas métricas) y 1.303.840 de embalajes (1760 Toneladas métricas). De ellos el 77% fue de material plástico, el 4% de metal y el resto de papel, vidrio y aluminio (CASAFE, 2001).

La agricultura es uno de los sectores que presenta los mayores riesgos de trabajo del mundo. De acuerdo a estimaciones de la OIT (Organización Internacional del Trabajo), de un total de 335.000 accidentes mortales de trabajo anuales en todo el mundo, se calcula que 170.000 corresponden a decesos de trabajadores agrícolas (Forastieri, 2002). Sin lugar a duda que los efectos por intoxicaciones graves o fatales pueden ser determinados casi en su totalidad por sus secuelas visibles, pero la otra cara de esta situación son los cuadros crónicos, de difícil diagnóstico y de poder realizar un seguimiento profundo para determinar sus causas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) publicó que se producen entre 1 millón y 5 millones de casos de intoxicación por plaguicidas por año, con efectos letales para varios miles de trabajadores agrícolas. La gran mayoría de las intoxicaciones se dan en el mundo en desarrollo, donde las normas de sanidad a veces son inadecuadas o no existen, abarcando un impresionante 99 por ciento de las muertes por esta causa, aun cuando sólo utilizan el 25 por ciento de la producción mundial de plaguicidas (FAO, 2004).

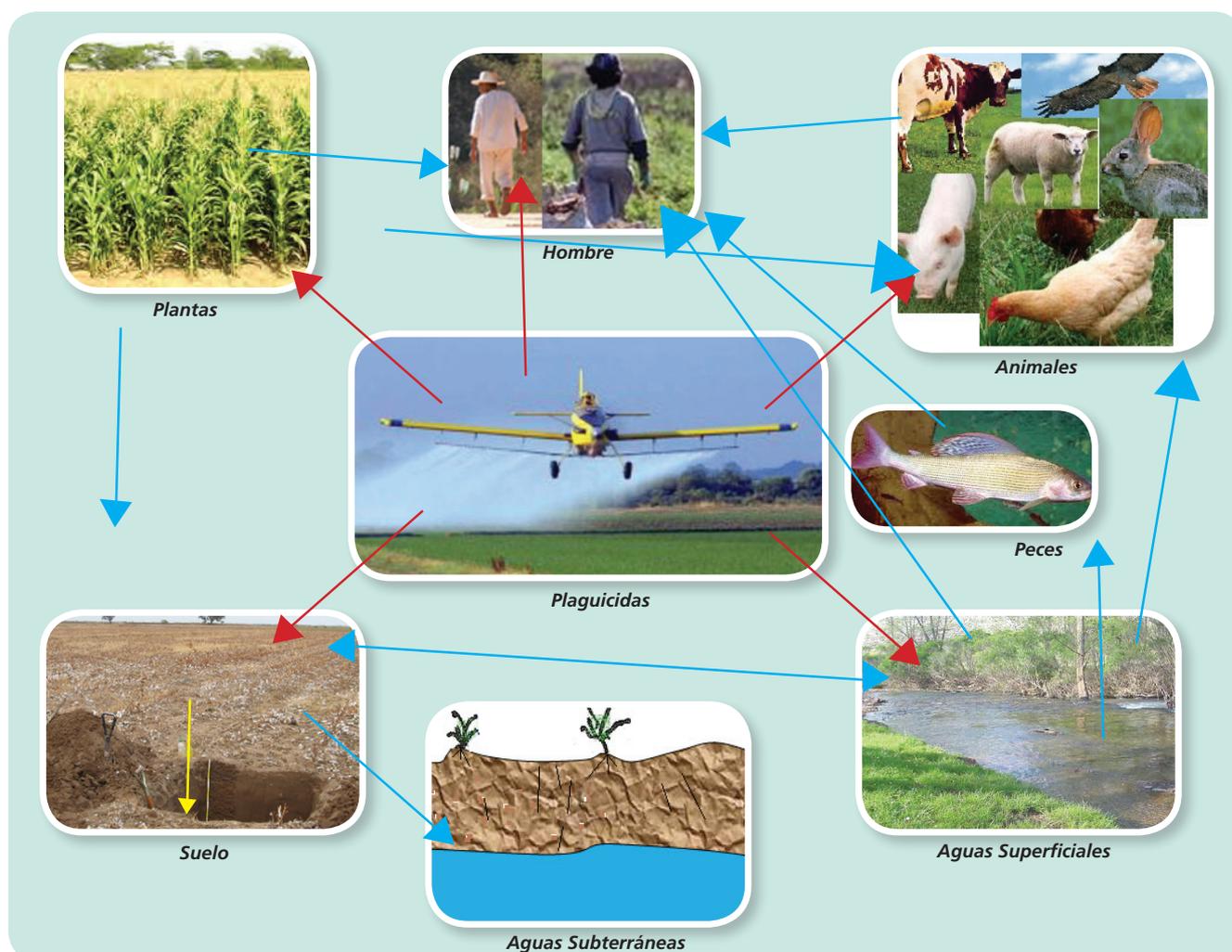


Figura 1: Esquema de las interacciones de los plaguicidas con el suelo, el agua y la cadena trófica.

¿Qué dicen las estadísticas?

La utilización de los plaguicidas en el mundo es muy cuestionada y no por ello ha disminuido su producción, por el contrario el incremento es continuo (Figura 2)

con casi 500 millones de kilogramos de plaguicidas utilizados anualmente en el mundo, de los cuales sólo el 1% llega a los organismos destinatarios, quedando el 99% restante en los ecosistemas.

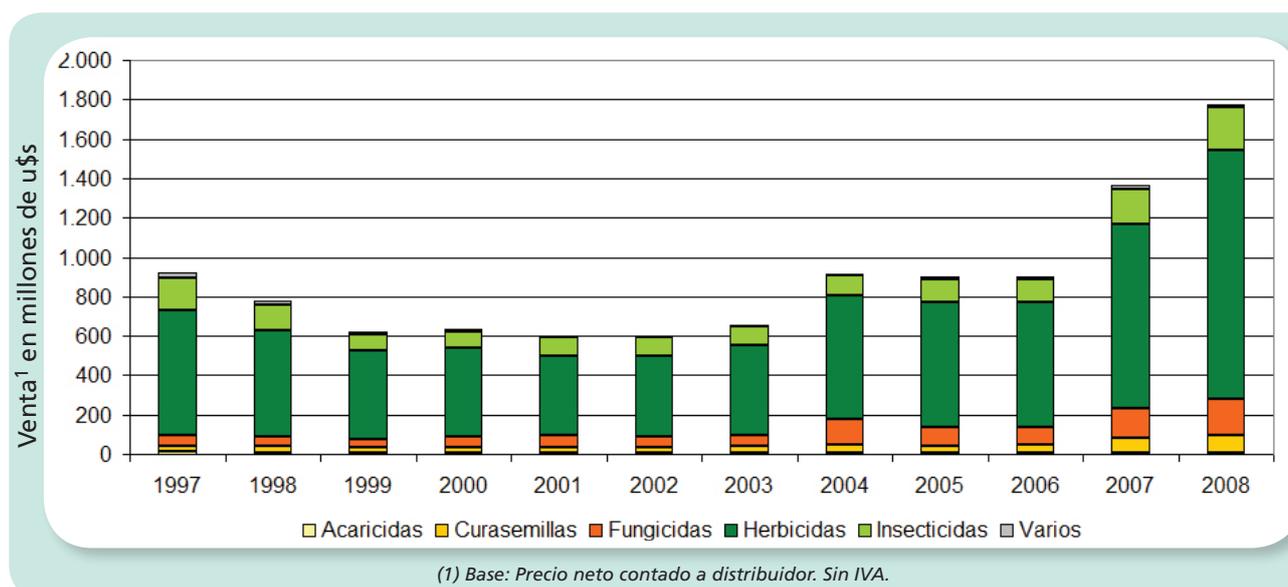


Figura 2: Evolución del Mercado Fitosanitario Argentino en los plaguicidas: Acaricida, Curasemillas, Fungicidas, Herbicida y acaricidas desde el año 1997 al año 2008 (CASAFA, 2008).

El mercado de pesticidas es dominado por seis compañías que efectuaron el 73 % de las ventas en 2002 y el 81 % en el 2003. La distribución geográfica de las ventas de plaguicidas muestra que América del Norte representa el 27 %, Europa Occidental 24 %, Asia oriental 25 %, América Latina 14 % y el resto del mundo el 10 %. Por otra parte si se discriminan las ventas por el tipo de organismos que controlan los herbicidas representan el 45,9 % del mercado de plaguicidas, seguido por los insecticidas con el 26,7 % y los fungicidas con el 22,6 % y otros productos como los reguladores de crecimiento y defoliantes con el 4,9 % (Rafiq Chaudhry, 2006). El mercado Argentino también sigue esta tendencia donde los herbicidas constituyen el 71 % del mercado, los insecticidas un 12 %, los fungicidas el 10 %, entre los principales plaguicidas (Figura 3).

¿Cómo pueden retenerse los plaguicidas en el ambiente?

Una vez esparcidos en el ambiente los plaguicidas pueden seguir variados caminos hasta llegar a su destino final. Estas vías de transformación ocurren tanto en fase homogénea (medio acuoso) como en fase heterogénea (suelos y/o sedimentos o material particulado).

Reacciones en fase homogénea

En el medio acuoso los plaguicidas pueden sufrir degradación química a través de la ocurrencia de reacciones como la hidrólisis que conducen a la formación de productos de menor peso molecular con igual o diferente grado de toxicidad que la molécula de la que se crearon. La hidrólisis puede ocurrir por catálisis ácida, básica o acuosa.¹ Ejemplos de plaguicidas que sufren este tipo de reacciones son los de las familias de sulfonilureas, carbamatos, ureas y anilinas (Gatidou y Iatrou, 2011; Nishiyama y cols, 2010, Tangri y cols 2010), entre otros.

La fotodegradación es otra de los caminos de eliminación de los plaguicidas; esta vía es mediada por la luz, particularmente la luz solar (Wallace y cols, 2010). La destrucción del plaguicida por la luz solar puede ocurrir en el follaje, sobre la superficie de los suelos, en el aire y en la zona fótica de los cuerpos de aguas. Los factores que afectan la fotodegradación son la intensidad de la luz solar, las propiedades del sitio, el método de aplicación y las características estructurales de la molécula del plaguicida. Las diez formulaciones de plaguicidas más utilizadas en nuestro país corresponden a ocho diferentes concentraciones del herbicida glifosato (N-fosfometilglicina), una a clorpirifós (un insecticida) y la última a la mezcla piraclostrobin-epoxiconazol con propiedades fungicidas. Tanto el glifosato (Cantera y cols, 2008) como el clorpirifós (Trinelli y dos Santos Afonso, 2006) son fotodegradados. Las vidas medias de algunos insecticidas que se fotolizan en medios acuáticos están en el rango de horas a meses (Tabla 2), mientras que las reacciones de fotólisis en los suelos son difíciles de determinar debido al ambiente heterogéneo de los mismos y a la dificultad de penetración que experimenta la radiación.

Las pérdidas por fotólisis se reducen si el pesticida se aplica directamente al suelo debido a los fenómenos de adsorción sobre la matriz mineral que se describen más adelante y que reducen la cantidad de plaguicida disponible para la fotodegradación. Por otra parte los metales disueltos en el medio acuoso pueden también participar de la reacción de degradación fotoquímica, como por ejemplo en las reacciones del tipo fenton (Kuo y Ho, 2010; Quivet y cols 2006). Los procesos fotocatalíticos también han sido estudiados como posible herramienta para la degradación de plaguicidas (Senthilnathan y Philip, 2010; Phanikrishna Sharma y cols, 2010, entre otros).

Mercado Argentino Productos Fitosanitarios Año 2007 vs. 2008						
Tipo	CAN07	CAN08	%	VAL07	VAL08	%
Acaricidas	9,53	8,79	-7,76	9,6	9,32	-2,9
Curasemillas	4,33	3,9	-9,88	75,46	87,63	16,12
Fungicidas	9,61	8,88	-7,54	150,69	183,77	21,95
Herbicidas	198,42	168,23	-15,21	932,12	1264,88	35,7
Insecticidas	22,25	25,03	12,49	177,46	212,59	19,8
Otros	9,93	10,39	4,62	18,98	18,9	-0,45
Total general	254,06	225,22	-11,35	1364,31	1777,09	30,26

Base: Precio neto contado a distribuidor. Sin IVA.
Valores en millones de u\$s y cantidades en millones de Kg/l.

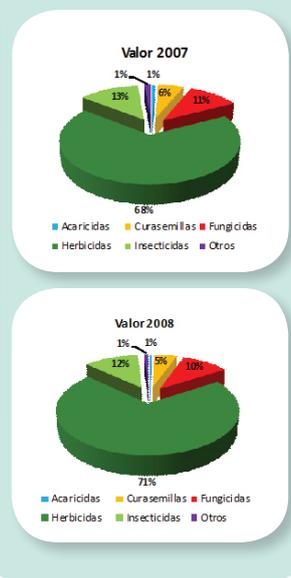


Figura 3: Mercado Argentino de Fitosanitarios de los años 2007 y 2008. Tomado de <http://www.casafe.org/estad/m2008/m2008.htm>

1. Es decir por ataque del protón (H⁺), del ion hidroxilo (OH⁻) o de una molécula de agua (H₂O) sobre la unión de dos átomos de la molécula del plaguicida.

Tabla 2: Valores de vida media de algunos insecticidas que sufren procesos de fotólisis (Harris, 1982).

Insecticida	Tiempo de vida media
Trifluralin	~ 1 h
Malathion	15 h
Carbaril	50 h
Sevin	11 h
Metoxiclor	29 h
2,4-D, metil eter	62 h
Mirex	1 h

Las reacciones de complejación con metales comúnmente presentes en los cuerpos de agua -ya sea por ocurrencia natural o por contaminación antropogénica- son otras de las reacciones a tener en cuenta en medios acuosos homogéneos. Este tipo de reacciones ocurre entre aquellos plaguicidas que en su molécula contienen grupos químicos tales como fosfato, carboxilato, amino, fenol, hidroxilo y sulfuros, dado que dichos grupos son susceptibles de coordinar a los metales como por ejemplo: hierro, cobre, zinc, plomo, aluminio, etc, presentes en el cuerpo de agua (Barja y dos Santos Afonso, 1998; Barja y cols, 2001; Popov y cols, 2001; Ramstedt y cols, 2004; Paschevskaya y cols, 2006). A modo de ejemplo en la Figura 4 se muestra uno de los complejos de cobre con glifosato.

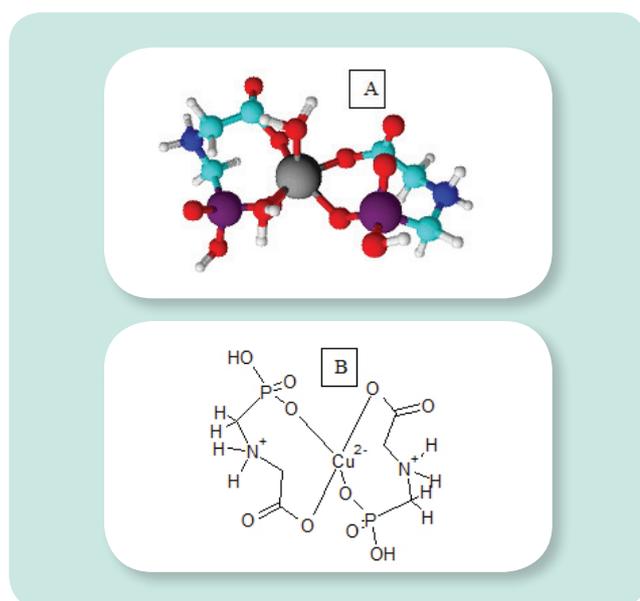


Figura 4: Complejo de Cu/glisofato en solución acuosa con estequiometría 1:2 Cu(PMG)₂⁻². A: estructura tridimensional con ● : fósforo, ● : carbón, ● : oxígeno, ○ : hidrogeno, ● : nitrógeno y ● : cobre y B: estructura planar.

La formación de compuestos de coordinación lleva a cambios en la concentración total del plaguicida -ligando de coordinación del catión metálico- en solución acuosa, incrementándola por formación de complejos muy solubles o disminuyéndola debido a la formación de sales metálicas insolubles (como las que forma el herbicida glifosato con metales de transición) que luego pasan a formar parte de los sedimentos y que constituyen fuentes de aporte continuo del plaguicida en el cuerpo de agua. Los complejos de inclusión de los plaguicidas con ciclodextrinas (Li y cols, 2010) son muy interesantes ya que por una parte aumenta la solubilidad (Petrovic y cols, 2010) y por ende la disponibilidad del compuesto orgánico en solución acuosa²; por otra parte, este tipo de compuestos tiene un uso potencial para la recuperación de suelos o aguas contaminados con plaguicidas (Baruch-Teblum, y cols, 2010), y/o para su uso en la preparación de dosificadores de liberación lenta (Mazomenos y Moustakali-mavridis, 1997).

Reacciones en fase heterogénea

En los medios heterogéneos (suelos y sedimentos o material particulado) los plaguicidas interactúan con las pequeñas partículas sólidas suspendidas (coloides) que corresponden a macromoléculas orgánicas (materia orgánica), óxidos (de hierro y aluminio principalmente), minerales arcillosos o bien combinaciones de éstos. El fenómeno de interacción entre las partículas mencionadas y el plaguicida se denomina adsorción. El término adsorción es una expresión general para un proceso en el cual un componente se mueve desde una fase líquida o gaseosa para acumularse sobre la superficie de un sólido, la adsorción se diferencia de la absorción en que la primera es un fenómeno de superficie y la última de volumen.³

La adsorción física o fisisorción ocurre cuando están en juego las fuerzas de Van der Waals⁴. En estos casos, la molécula adsorbida mantiene su esfera de hidratación y no está fija en un lugar específico, pudiendo trasladarse sobre la superficie. Esta adsorción, en general, predomina a temperaturas bajas -es una transformación de baja energía ($E < 8$ kJoule/mol). A este tipo de compuestos se los suele llamar complejos de esfera externa (Figura 5).

En el caso que la interacción entre el adsorbente⁵ y el adsorbato⁶ lleve a la formación de nuevas uniones químicas ya sea iónicas o covalentes, la adsorción se denomina química, adsorción activa o quimisorción. En este caso la unión es fuerte, la molécula adsorbida pierde la esfera de hidratación lo que permite un acercamiento mayor a la superficie y la energía de adsorción es elevada ($E > 8$ kJoule/mol) debido a que el adsorbato forma enlaces fuertes localizados en los sitios activos⁷ del adsorbente comparables a las uniones covalentes. A este tipo de compuestos se los suele llamar complejos de esfera interna (Figura 6).

2. Lo que es importante sobre todo en aquellos compuestos que son poco solubles.

3. Un compuesto se adsorbe en la superficie de un cuerpo, o un compuesto es absorbido por otro, distribuyéndose en todo su volumen.

4. Un tipo de fuerzas intermoleculares.

5. Sustancia sólida sobre cuya superficie ocurre la adsorción.

6. Sustancia que se adsorbe sobre una superficie.

7. Sitio de la superficie donde el adsorbato "se pega" formando una unión química

Generalmente los fenómenos de adsorción son combinaciones de las distintas formas de adsorción y no es fácil distinguir entre adsorción física y química. Sin embargo es de suma importancia lograr conocer esta diferencia en cada caso, debido a que cuando la fuerza de la unión entre el sustrato (adsorbente) y el adsorbato aumenta, este último es retenido sobre la superficie más fuertemente, el proceso de desorción se vuelve más débil y lento, y por lo tanto, aumenta el tiempo de retención del contaminante sobre la fase mineral. Los complejos de esfera interna tienen un mayor tiempo de retención sobre la superficie que los complejos de esfera externa. El tiempo de retención está directamente asociado al tiempo de permanencia sobre el material particulado, el sedimento o el suelo, e inversamente con la biodisponibilidad del adsorbato.

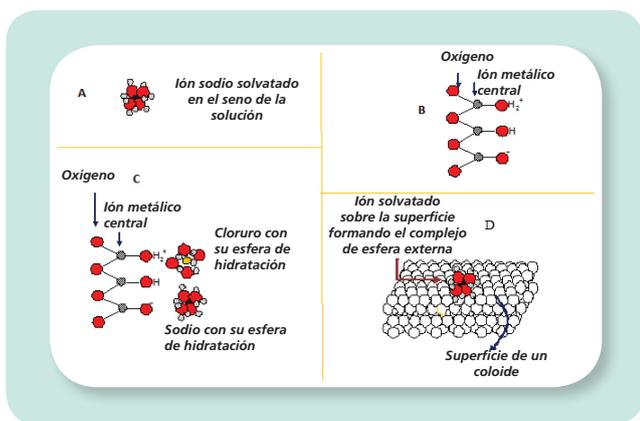


Figura 5: Formación de complejos de esfera externa sobre la superficie de un coloide. A: ion solvatado en el seno de la solución acuosa. B: Representación esquemática lateral de la superficie de un oxihidróxido metálico mostrando los sitios superficiales protonados, neutros y deprotonados que le dan a la superficie las características ácido-base. C: Representación esquemática detallada en B con agregado de los complejos superficiales de esfera externa aniónicos (cloruros) y catiónicos (sodio) cada uno de ellos acompañados de su esfera de hidratación⁸. Notar que los iones cloruros interaccionan con los sitios protonados y que los sodios lo hacen con los sitios deprotonados de la superficie. D: Vista de la superficie, se puede observar sobre la superficie del coloide la presencia de iones sodios (●) rodeados de su esfera de hidratación donde H_2O representa la molécula de agua. Modificado de Sposito, 1984; Stumm, 1992.

Cuando todos los sitios del sustrato están ocupados, o cuando el empaquetamiento de las moléculas adsorbidas produce fuerzas contrarias, la adsorción alcanza el equilibrio. En realidad es un equilibrio dinámico entre el proceso de adsorción y el proceso opuesto llamado desorción, en el cual una molécula adsorbida es liberada de la superficie.

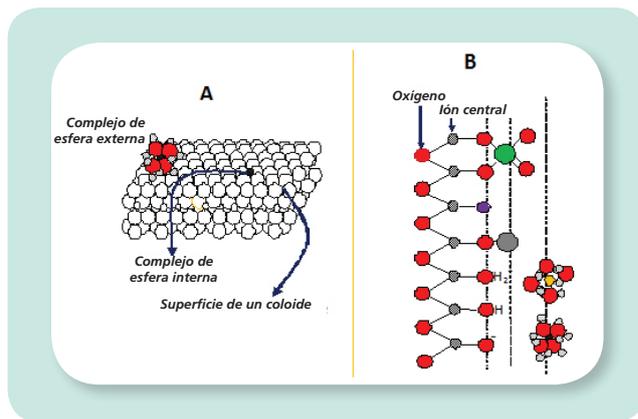


Figura 6: Complejos superficiales. A: Vista de un complejo de esfera interna sobre la superficie de un coloide, se incluye el complejo de esfera externa detallado en la figura 5 para una mejor visualización de las diferencias existentes entre ambos tipos de complejos. B: Vista lateral de la superficie de un oxihidróxido metálico mostrando la formación de tres complejos de esfera interna: fosfato donde ● es el fósforo, fluoruro (●) y cobre (●), también en este caso se incluyen los complejos de esfera externa catiónico y aniónico esquematizados en la figura 5. Notar las diferencias de la fuerza de interacción indicadas por las líneas verticales punteadas, a mayor distancia las interacciones son más débiles.

Los minerales que conforman los suelos y los sedimentos se clasifican de acuerdo con su origen en primarios y secundarios. Los minerales primarios son aquellos formados por enfriamiento de la roca fundida y están constituidos mayoritariamente por silicatos. Los minerales secundarios son productos de la meteorización de las rocas y están constituidos por óxidos de hierro, óxidos de aluminio, minerales de arcillas, carbonatos y sulfatos. Todos ellos presentan extensas áreas superficiales susceptibles de sufrir los procesos de adsorción anteriormente mencionados donde los plaguicidas pueden coordinar los centros metálicos superficiales en forma similar a la coordinación de los metales libres en solución. De esta manera, los plaguicidas son retenidos sobre la fase mineral de los suelos disminuyendo su biodisponibilidad para la biodegradación e incrementando el tiempo de residencia del contaminante orgánico en el medio ambiente. Resulta importante, entonces, conocer las constantes de coordinación a la superficie ya que a mayor valor de las mismas, mayor energía de unión a la superficie y mayor tiempo de retención del compuesto en el medio.

Los suelos pueden ser modelados⁸ (Taubaso y cols, 2004). Se ha encontrado, por ejemplo, que el glifosato -el herbicida utilizado en forma masiva en todo el planeta- forma complejos sobre la superficie de los minerales que componen los suelos (dos Santos Afonso y cols, 2004; Pessagno y cols 2005; Pessagno y dos Santos Afonso, 2006; Pessagno y cols, 2008; Tevez y cols 2008) coordinando al hierro superficial presente en los óxidos de hierro (III) a través del grupo fosfonato (Barja y dos Santos Afonso, 2000; Sheals y cols, 2003, Gimsing y dos Santos Afonso, 2005; Barja y dos Santos Afon-

8. Con información provenientes de diferentes tipos de análisis se hace un modelo del suelo. Sobre ese modelo se hacen cálculos y, a partir de ellos, también se pueden hacer predicciones.

so, 2005), o a los grupos aluminoles presentes en los minerales arcillosos. También se ha encontrado que algunos plaguicidas, tanto catiónicos como aniónicos, son capaces de ingresar a la intercapa de los minerales arcillosos expandibles donde se localizan los cationes de intercambio y producir un aumento del canal interlaminar. Ejemplos de ello son los estudios de adsorción de glifosato (Figura 7) (Damonte y cols, 2007, Khoury y cols, 2010); bencimidazol (Torres Sánchez y cols, 2010), iprodion (Pantanetti y cols 2008a y b) y picloram (Marco Brown y cols, 2008) que han mostrado un importante grado de retención de los plaguicidas por la fase mineral. El ingreso del plaguicida en el canal interlaminar lleva a la oclusión de esta sustancia dentro de la estructura del mineral y este es un proceso irreversible con muy bajo grado de desorción.

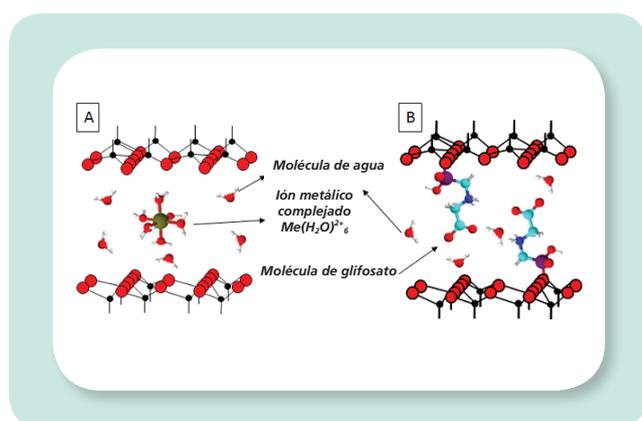


Figura 7: Adsorción de un A: complejo iónico metálico hidratado divalente y B: glifosato en la zona interlaminar o intercapa de un mineral arcilloso expandible 2:1. Modificado a partir de McBride, 1994 y Khoury y cols, 2010.

Aunque parezca redundante es importante volver a remarcar que los estudios químicos de los suelos, permiten conocer para los distintos sustratos, los parámetros termodinámicos de los procesos de adsorción (tales como las constantes de equilibrio, las energías de unión a la superficie), y las estructuras de los compuestos superficiales formados. Esos datos nos llevan a estimar los tiempos de retención en el medio ambiente para cada compuesto, y ello nos permitiría establecer posibles estrategias de remediación para la contaminación ambiental.

La estructura de los complejos superficiales formados puede ser determinada a través de diferentes métodos de análisis estructural como la Espectroscopía de Infrarrojo por Transformadas de Fourier (FTIR), Reflectancia Total Atenuada acoplada a FTIR (ATR-FTIR), Espectroscopía Fotoelectrónica de Rayos X (XPS), Espectroscopía Dispersiva de Rayos X (EDX), Difracción de Rayos X (DRX), Difracción de Rayos X de pequeños ángulos (SAXS), Resonancia Magnética Nuclear de Estado Sólido (RMNSS), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), etc.

Otras técnicas analíticas utilizadas para el estudio de los procesos ambientales son la determinación del potencial eléctrico de la superficie o potencial zeta y/o de la movilidad electroforética de las partículas coloidales, las titulaciones potenciométricas de la su-

perficie, las determinaciones de tamaño de partícula y de las áreas superficiales de los sustratos sólidos, etc. Por ejemplo, los cambios producidos en las curvas de potencial zeta por adsorción del plaguicida glifosato, como los mostrados en la Figura 8, son indicativos de una quimisorción con formación de compuestos superficiales de coordinación de esfera interna, lo que es una indicación de una fuerte retención y/o baja disponibilidad del plaguicida.

Para la determinación de las concentraciones de equilibrio de los ligandos en la fase acuosa se utilizan técnicas analíticas convencionales tales como cromatografía iónica (CI), cromatografía de alta eficiencia (HPLC), cromatografía gaseosa (GC), cromatografía líquida (LC) con los diferentes métodos de detección como la UV-Vis, fluorescencia, índice de refracción, métodos electroquímicos, espectroscopía de masa, etc.

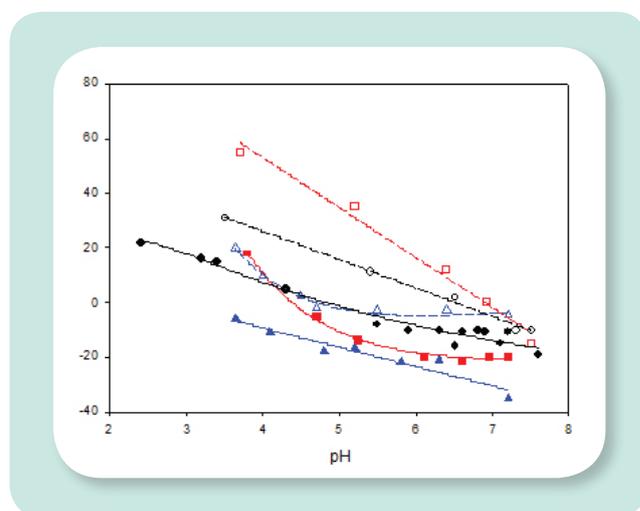


Figura 8: Curvas de potencial zeta de suelos de Chalten, Provincia de Santa Cruz (▲, △); Navaja, Provincia de Corrientes (■, □) y de Cerro Azul, Provincia de Misiones (●, ○). Los símbolos vacíos y las líneas cortadas corresponden al suelo libre y los símbolos llenos y las líneas sólidas al suelo con glifosato adsorbido. Modificado de Pessagno y cols, 2005.

Estos resultados son potencialmente importantes para proporcionar una comprensión fundamental de la degradación y la disponibilidad de los plaguicidas en los suelos y las aguas naturales. La complejación con iones metálicos y su adsorción en superficies minerales podrían afectar a la degradación, la distribución, y la biodisponibilidad en los suelos y las aguas subterráneas. Los estudios de las propiedades de los suelos y de los complejos superficiales son de gran importancia para evaluar las implicaciones para el control de la contaminación por plaguicidas sobre todo de aquellos que tengan características estructurales que los clasifiquen como agentes quelantes ya que mediante el proceso de adsorción aumenta la persistencia en el suelo.

Finalmente, este capítulo intenta plantear la importancia de la disciplina Química y del trabajo de los químicos para el análisis, el modelado y la toma de decisiones sobre cuestiones medioambientales.

Referencias bibliográficas

- Barja B. C.; dos Santos Afonso M. (2005). Aminomethylphosphonic Acid and Glyphosate Adsorption Onto Goethite: A Comparative Study. *Environmental Science and Technology* 39, 585-592.
- Barja B. C., Herszage J.; dos Santos Afonso M. (2001). Iron(III) Phosphonates Complexes. *Polyhedron*, 20 1821-1830.
- Barja B.C.; dos Santos Afonso M. (1998). An ATR-FTIR Study of Glyphosate and its Fe(III) Complex in Aqueous Solution. *Environmental Science and Technology*, 32 3331-3335.
- Barja, B.C.; dos Santos Afonso, M. (2000). Surface complexes of glyphosate and AMPA onto goethite. *ACS Division of Environmental Chemistry*, Preprints 40 (2) , 652-655.
- Baruch-Teblum, E.; Mastai, Y.; Landfester, K. (2010). Miniemulsion polymerization of cyclodextrin nanospheres for water purification from organic pollutants *European Polymer Journal* 46 (8), 1671-1678.
- Cantera, C.; Trinelli, A.; dos Santos Afonso, M. (2008). Fotodegradación del herbicida glifosato. *V congreso iberoamericano de física y química ambiental* Mar del Plata Argentina 14-18 de abril de 2008 Actas publicadas por la Editorial UNSAM Editores Miguel Blesa, M dos Santos Afonso y R M Torres Sánchez pg 311.
- CASAFE. (2007). *Informe de Mercado Argentino de Fitosanitarios (Informe interno)*. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, 1-61.
- CASAFE. (2008). *Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes*. Recuperado el Noviembre de 2009, de <http://www.casafe.org/estad/m2008/m2008.htm>.
- Damonte, M.; Torres Sánchez, R.M.; dos Santos Afonso M. (2007). Some Aspects of the Glyphosate Adsorption onto Montmorillonite and its Thermal Treated Product *Applied Clays Sci*, 36 (1-3), 86-94.
- Dideriksen, K.; Stipp, S.L.S. (2003). The adsorption of glyphosate and phosphate to goethite: A molecular-scale atomic force microscopy study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67 (18), 3313-3327.
- dos Santos Afonso, M.; Barja, B.C.; Pessagno, R.C.; Tévez, H.R. (2004). Glyphosate adsorption on soils *ACS Division of Environmental Chemistry*, Preprints 43 (2), 527-533.
- FAO. (2004). Los trabajadores agrícolas necesitan más protección contra los plaguicidas. Recuperado el Octubre de 2009, de Food and Agriculture Organization. Ginebra/Roma: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2004/50709/index.html>
- Forastieri, V. (2002). *Programa de la OIT sobre Seguridad y Salud en la Agricultura. El reto para el siglo XXI: prestar servicios de seguridad y salud en el trabajo a los trabajadores del agro*. Educación Obrera 2000/1-2: OIT.
- Gatidou, G.; Iatrou, E. (2011). Investigation of photodegradation and hydrolysis of selected substituted urea and organophosphate pesticides in water, *Environmental Science and Pollution Research* , 1-9.
- Gimsing, A.L.; dos Santos Afonso, M. (2005). Glyphosate in Biogeochemistry of Chelating Agents, ACS Symposium Series Volume 910 pp 263, J M Van Briesen; B Nowack editors.
- Harris, J.C. (1982). Rate of Aqueous Photolysis, in *Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behaviour of Organic Compounds*. Lyman, W.J., Reehl, W.F.,; Rosenblatt, D.H. (eds.). McGraw-Hill, New York, Cap. 8, 43.
- HRAC: <http://www.hracglobal.com>.
- IRAC: <http://www.irc-online.org/about/irac/>.
- Khoury, G. A.; Gehris, T. C.; Tribe, L.; Torres Sánchez, R. M.; dos Santos Afonso, M. (2010). Glyphosate adsorption on montmorillonite: An experimental and theoretical study of surface complexes. *Applied Clay Sci*, 50, 167-175.
- Kuo, W.S.; Ho, Y.Y. (2010). Treatment of pesticide rinsate towards reuse by photosensitized Fenton-like process, *Water Science and Technology* 62 (6), 1424-1431.
- Li, W.; Lu, B.; Sheng, A.; Yang, F.; Wang, Z. (2010). Spectroscopic and theoretical study on inclusion complexation of beta-cyclodextrin with permethrin, *Journal of Molecular Structure* 981 (1-3), 194-203.
- Marco Brown, J. L.; Barbosa, C. M.; Torres Sánchez, R. M.; dos Santos Afonso, M. (2008). Movilidad y control del herbicida picloram en arcillas En Las Fronteras de la Física y Química Ambiental en Ibero América, pp 496-502 M. Blesa, M dos Santos Afonso y R M Torres Sánchez Editores.
- Mazomenos, B.; Moustakali-mavridis, I. (1997). Inclusion complexes of cyclodextrin and their use in slow release formulations for attracting insects United States Patent 5650160, <http://www.freepatentsonline.com/5650160.html>.
- McBride, M. B. (1994). *Environmental Chemistry of Soils*. New York: Oxford University Press.
- Mohamed Naseer Ali, M.; Kaliannan, P.; Venuvanalingam, P. (2005), Conformation and function of N-hydroxy-glyphosate and N-amino-glyphosate: A comparative study using ab initio MO theory *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM* 714 (2-3), 99-108.
- Nishiyama, M.; Suzuki, Y.; Katagi, T. (2010). Hydrolysis and photolysis of insecticide metofluthrin in water *Journal of Pesticide Science* 35 (4), 447-455.
- Pantanetti, M.; dos Santos Afonso, M.; Torres Sánchez, R. M. (2008). Cambios en la adsorción del fungicida iprodion en montmorillonita por tratamiento térmico y mecánico En Las Fronteras de la Física y Química Ambiental en Ibero América, pg 469-474 M. Blesa, M dos Santos Afonso y R M Torres Sánchez Editores.

- Pantanetti, M.; dos Santos Afonso, M.; Torres Sanchez, M. R. (2008). Modificación de la Superficie de la Montmorillonita para la adsorción de Iprodion En La Contaminación en Iberoamerica Xenobióticos y Metales Pesados, M. Gonzalez, Ed. E. Iglesias, A. Iorio, R.M. Torres Sánchez). Salamanca, España, 139-157.
- Paschevskaya, N.V.; Bolotin, S.N.; Sklyar, A.A.; Trudnikova, N.M.; Bukov, N.N.; Panyushkin, V.T. (2006). Binary and ternary complexes of copper(II) with N-phosphonomethylglycine and valine, *Journal of Molecular Liquids* 126 (1-3), 89-94.
- Pessagno, R. C.; dos Santos Afonso, M. (2006). Estudio comparativo del impacto ambiental de tres herbicidas de uso común en cultivos de soja y trigo. En: Medioambiente en Iberoamérica. *Visión desde la Física y la Química en los albores del siglo XXI*, Juan F. Gallardo Lancho, Ed., , Tomo III, 345-352.
- Pessagno, R.C.; dos Santos Afonso, M.; Torres Sanchez, R.M. (2005). N-phosphonomethylglycine interactions with soils. *Journal of the Argentine Chemistry Association*, 93, 97-108.
- Pessagno, R.C.; Torres Sánchez, R. M.; dos Santos Afonso, M. (2008) Glyphosate behavior at soil and mineral water interfaces. *Environmental Pollution* 153, 53-59.
- Petrovic, G.; Stojanovic, G.; Palic, R. (2010). Modified β -cyclodextrins as prospective agents for improving water solubility of organic pesticides *Environmental Chemistry Letters*, 1-7
- Phanikrishna Sharma, M.V.; Durga Kumari, V.; Subrahmanyam, M. (2010). TiO₂ supported over porous silica photocatalysts for pesticide degradation using solar light: Part 2. Silica prepared using acrylic acid emulsion. *Journal of Hazardous Materials* 175 (1-3), 1101-1105.
- Popov, K.; Ronkkomaki, H.; Lajunen, L.H.J. (2001). Critical evaluation of stability constants of phosphonic acids: (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.* 73, 1641-1677.
- Quivet, E.; Faure, R.; Georges, J.; Païssé, J.-O.; Lantéri, P. (2006). Influence of metal salts on the photodegradation of imazapyr, an imidazolinone pesticide. *Pest Management Science* 62 (5), 407-413.
- Rafiq Chaudhry, M. (2006). *Investigación en Algodón: Situación en el Mundo*. 1629 K Street NW, Suite 702, Washington, DC, USA: International Cotton Advisory Committee.
- Ramstedt, M.; Norgren, C.; Sheals, J.; Boström, D.; Sjöberg, S.; Persson, P. (2004), Thermodynamic and spectroscopic studies of cadmium(II)-N-(phosphonomethyl) glycine (PMG) complexes, *Inorganica Chimica Acta* 357 (4), 1185-1192.
- Rennig, A.; Slutter, A.; Tribe, L. (2008). Interactions of aminomethylphosphonic acid and sarcosine with montmorillonite interlayer surfaces. *International Journal of Quantum Chemistry* 108 (3), 538-543.
- Torres Sánchez, R. M.; Genet, M. J.; Gaigneaux, E. M.; dos Santos Afonso, M.; Yunes S. (2010). Benzimidazole adsorption on the external and interlayer surface of montmorillonite and treated products. *Applied Clay Sci*, en prensa, Junio 2010.
- Senthilnathan, J.; Philip, L. (2010). Photocatalytic degradation of lindane under UV and visible light using N-doped TiO₂ *Chemical Engineering Journal* 161 (1-2), 83-92.
- Sheals, J.; Granström, M.; Sjöberg, S.; Persson, P. (2003). Co-adsorption of Cu(II) and glyphosate at the water-goethite (α -FeOOH) interface: Molecular structures from FTIR and EXAFS measurements, *Journal of Colloid and Interface Science* 262 (1), 38-47.
- Sposito G, (1984), *Surface Chemistry of Soils*, Oxford University Press, NewYork.
- Stumm W, (1992), *Chemistry of the Solid - Water Interface*, John Wiley & Sons, Inc. pp 428.
- Tangri, A.; Mishra, P.; Kumar, P. (2010). Kinetic study of hydrolysis of tri-phosphate ester of 2,5-diethoxy aniline an organophosphorus pesticide in buffer medium. *International Journal of Applied Chemistry* 6 (1), 139-150.
- Taubaso, C.; dos Santos Afonso, M.; Torres Sánchez, R. M. (2004). Modeling Soil Surface Charge Density using Mineral Composition. *Geoderma* 121(1-2), 123-133, 2004.
- Tévez, H. R.; dos Santos Afonso, M.; Alvarez Escalada, F. C.; Serrano, M.; Ruiz Mostacero, N. (2008). Glifosato en fracciones de suelo de la provincia de Santiago del Estero En *Las Fronteras de la Física y Química Ambiental en Ibero América*, pg 503-507 M. Blesa, M dos Santos Afonso y R M Torres Sánchez Editores.
- Tribe, L.; Kwon, K. D.; Trout, C. C.; Kubicki, J. D. (2006). Molecular orbital theory study on surface complex structures of glyphosate on goethite: Calculation of vibrational frequencies *Environmental Science and Technology* 40 (12), 3836-3841.
- Trinelli, A.; dos Santos Afonso, M. (2006). Fotodegradación de pesticidas organofosforados. Clorpirifós: un caso en estudio En: Medioambiente en Iberoamérica. *Visión desde la Física y la Química en los albores del siglo XXI*, Juan F. Gallardo Lancho, Ed., Tomo II, 359-366, 2006.
- Wallace, D. F.; Hand, L. H.; Oliver, R. G. (2010). The role of indirect photolysis in limiting the persistence of crop protection products in surface waters. *Environmental Toxicology and Chemistry* 29 (3), 575-581.

29

LA QUÍMICA SUBYACENTE AL CULTIVO DE LA SOJA. UN BALANCE NECESARIO ENTRE EL BENEFICIO ECONÓMICO Y LA PRESERVACIÓN DEL AMBIENTE

Dra. María Inés Errea¹, Lic. José Sebastián Barradas² y Dra. Norma B. D'Accorso²

¹ITBA, Madero 399, Departamento de Ingeniería Química.

Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

²CIHIDECAR (CONICET), Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

Email: norma@qo.fcen.uba.ar

En los últimos años es habitual que los diarios de mayor circulación del país dediquen espacios destacados a temas relacionados con la soja. La temática que abarcan es variada e incluye, desde cuestiones relacionadas con la rentabilidad del producto, debido a los vaivenes del precio internacional del mismo o a la política impositiva nacional, hasta cuestiones de política agropecuaria. En este último sentido, es común leer segmentos de opinión en los cuales el autor reflexiona acerca de los posibles perjuicios que puede ocasionar el actual "boom" sojero.

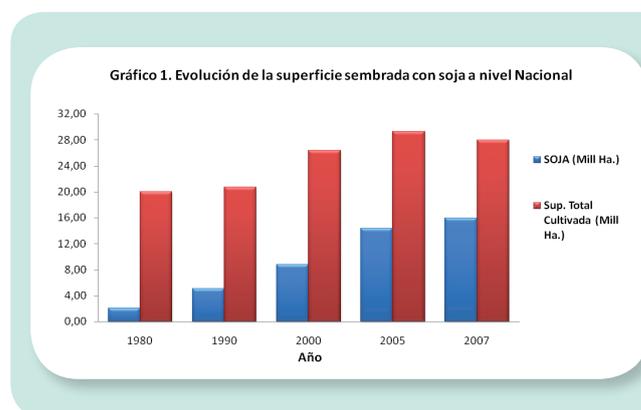
Además, ¿Quién no leyó o escuchó algún debate exaltando las virtudes ó demonizando la existencia de la soja transgénica?

Para poder comprender los motivos por los cuales el tema soja ocupa actualmente un espacio tan destacado en la opinión pública, es necesario ubicar a este cultivo dentro del contexto global de la agricultura en Argentina.

Contextualización de la situación

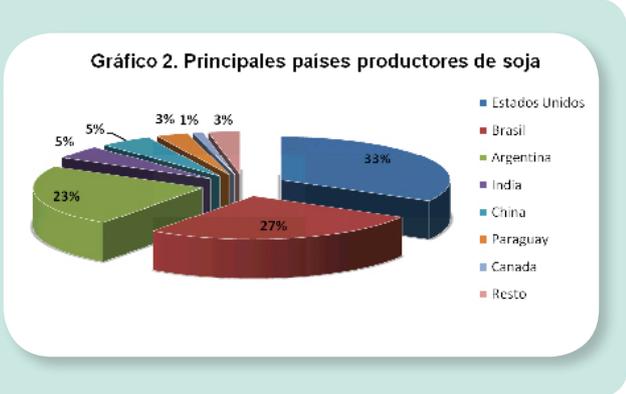
Nuestro país, que históricamente se caracterizó por ser uno de los mayores productores mundiales de trigo y maíz, y que ha sustentado gran parte de su economía en los ingresos generados por la exportación de estos cereales, ha sufrido en los últimos 40 años cambios significativos en su mapa agrícola, debido al aumento vertiginoso de las áreas destinadas al cultivo de soja.

La evolución se dimensiona analizando los datos del Gráfico 1, elaborado en base a información obtenida del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (Minagri, 2010). El incremento del área destinada al cultivo de soja en un período de aproximadamente 30 años (1980-2007) es del orden del 800 %. La situación es aún más extrema si la mirada se extiende un poco más lejos en el tiempo y se comparan las aproximadamente 30 mil hectáreas dedicadas a este cultivo en el año 1970 con las 18 millones de hectáreas de superficie cultivada proyectadas para el año 2010.



El análisis del gráfico 1 permite, también, evaluar la evolución del porcentaje de la superficie total cultivada que representa la soja. El aumento del área destinada a esta oleaginosa sufrió un incremento claramente superior al del resto de los cultivos, acercándose al 50 % de la superficie total cultivada en el año 2004. Este elevado valor se mantuvo aproximadamente constante a partir de ese momento, lo cual muestra el estado actual de preponderancia de la soja en el mapa agrícola argentino. La elevada proporción relativa de los cultivos de soja *versus* la superficie total cultivada adquiere aún mayor relevancia si se tiene en cuenta que antes de los años '90 los valores medios del cultivo dominante de esa época (trigo), representaban aproximadamente el 25% del área total cultivada. Se puede entonces afirmar que hasta el momento ningún otro cultivo ha ocupado un lugar tan relevante en la agricultura de Argentina.

La extraordinaria expansión de las áreas cultivadas con soja se ve reflejada en el posicionamiento, a nivel mundial, de la Argentina como país productor de esta oleaginosa. Un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) del año 2007 (FAOSTAT, 2007) ubicó a nuestro país en el tercer lugar, detrás de Estados Unidos y Brasil (Gráfico 2).



Las implicancias económicas de la expansión sojera son tan importantes, que hay quienes refieren a este fenómeno como "oleaginización" de la economía.

Justificación del fenómeno

Sin duda, es imposible atribuir la actual primacía del cultivo de soja en nuestro país a una única causa. Sin embargo, la alta rentabilidad sumada a la fuerte demanda del mercado internacional han sido sin duda algunos de los factores determinantes.

Por otra parte, los avances tecnológicos también han contribuido tanto a la posibilidad de cultivar grandes áreas como a aumentar el rinde de la cosecha.

Dentro de estos avances podemos mencionar como relevantes:

- Labranza cero con siembra directa: consiste en sembrar las semillas sobre los restos de la cosecha anterior, sin remover la tierra. Esta metodología presenta ventajas y desventajas: entre las ventajas se puede mencionar, la reducción del impacto de la erosión hídrica y eólica del suelo, dado que el mismo permanece cubierto todo el año y se produce la concomitante retención de la humedad por más tiempo. Las desventajas son que, al no remover el suelo y por lo tanto no eliminar los restos de la cosecha anterior, los nuevos cultivos conviven con un mayor porcentaje de malezas y pestes, por lo cual requieren para su supervivencia del uso de mayores proporciones de agroquímicos.
- El uso de semillas transgénicas, tema que se desarrollará más adelante en el capítulo.

¿Mitos o realidades?

Como se mencionó al comienzo del capítulo, la desmesurada expansión de los cultivos de soja ha convertido a esta oleaginosa en el centro de atención tanto de científicos como de la población en general.

Basta con escribir la palabra soja en cualquier buscador de Internet para dimensionar el interés que despierta el tema observando la gran cantidad de páginas relacionadas. Es llamativo también el hecho de que muchas de ellas refieren negativamente a este fenómeno.

Dada la controversia que genera el cambio del mapa agrícola argentino, resulta interesante plantear un análisis objetivo de los factores más cuestionados del denominado "fenómeno soja" tratando de esclarecer si se trata de mitos o realidades.

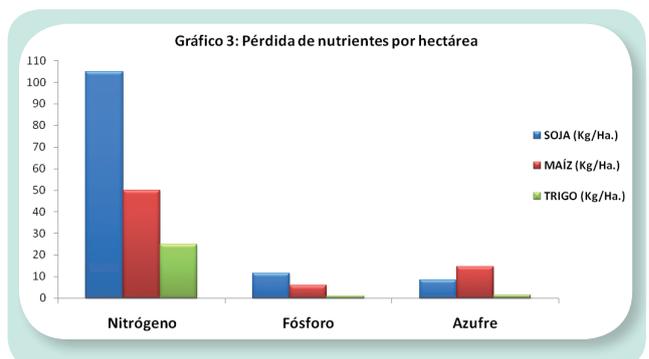
1 - "La desmesurada expansión sojera puede traer consecuencias negativas desde un punto de vista socioeconómico y/o ambiental".

Es indudable que la expansión desmesurada de un cultivo es en detrimento de la biodiversidad de la agricultura de la región y que este hecho conlleva a la homogeneización del paisaje y a la probable pérdida de especies silvestres que no pueden subsistir en las nuevas condiciones. Por este último motivo, para algunos autores, la menor diversidad agrícola es un indicador de deterioro ambiental por la diversidad de especies y procesos ecológicos asociados a paisajes heterogéneos. (Altieri 1999; Thrupp, 2000; Weyland, 2008). Desde el punto de vista socioeconómico, también es real el hecho de que, al quedar el crecimiento económico asociado a un único cultivo, se torna más dependiente de las fluctuaciones del precio internacional del mismo y en consecuencia aumenta la vulnerabilidad de toda la estructura económica. Este aspecto es especialmente relevante en nuestro país, dado que el crecimiento está fuertemente ligado a la rentabilidad de las exportaciones de productos primarios (Aizen, 2009).

2 - "La calidad del suelo se ve alterada por los cultivos de soja"

Existen estudios que demuestran que, tras la cosecha de soja, el balance de algunos de los nutrientes esenciales del suelo es negativo (Darwich, 2007; Studdert, 2000; Cruzate, 2003). Los cultivos de soja conducen a una mayor pérdida de nutrientes que los de los cereales tradicionales (trigo, maíz), como puede observarse en el Gráfico 3, producto de un estudio realizado en suelos de la región pampeana durante el ciclo 2002/2003 (Darwich, 2007). Esta situación es atribuida a los altos requerimientos de nutrientes de esta oleaginosa, sumada a la baja proporción de residuos que deja y a la escasa fertilización que en general recibe debido a que suele no responder muy bien a estos tratamientos (Darwich, 2007; Studdert, 2000).

Considerando que la sustentabilidad, en el contexto de la producción agrícola-ganadera, implica preservar y/o mejorar la calidad de los recursos renovables y no renovables incluidos en el sistema productivo (suelo,



agua, aire, biodiversidad, entre otros) y, destacando que el suelo es un recurso finito no renovable, la aseveración inicial acerca de que estos cultivos afectan la calidad del suelo parece ser real. Queda clara también la necesidad de revertir esta grave situación en el menor plazo posible para poder seguir manteniendo los altos índices de producción agropecuaria que han caracterizado históricamente a nuestro país.

Sin embargo, quizás no es justo atribuir el problema a la soja, sino a la política agropecuaria de nuestro país, dado que existen soluciones para evitar el deterioro del suelo. Una posible solución podría ser la siembra rotativa fertilizando generosamente el cultivo que precede a la soja (por ejemplo maíz), teniendo en cuenta que la soja hará un uso eficiente de los residuos dejados por el maíz. Si al realizar los cálculos de fertilizante requerido para el maíz no se olvida el hecho de que la soja responde mejor a los nutrientes residuales que a la fertilización directa, el problema podría minimizarse sensiblemente (Darwich, 2003).

3 - "La soja transgénica puede resultar perjudicial para la salud"

El término soja transgénica refiere a la siembra de semillas que han sido modificadas genéticamente. Es decir que sus características se han alterado mediante la inserción de genes de otras especies. Por ejemplo, se insertan genes de una bacteria a las plantas. En el caso del maíz, se inserta en su genoma un gen de una bacteria que sintetiza una proteína que mata a un insecto que normalmente ataca el maíz. Al transferirle al maíz el gen de la bacteria, se logra un maíz resistente al insecto (Figura 1). En otros casos, la modificación genética de semillas tiene por finalidad hacerlas resistentes a los agroquímicos habitualmente usados para la preservación de los cultivos y/o aumentar la calidad alimenticia de los mismos. En el caso particular de la soja la modificación genética estuvo orientada a la obtención de plantas resistentes a los herbicidas habitualmente usados para la preservación de estos cultivos.

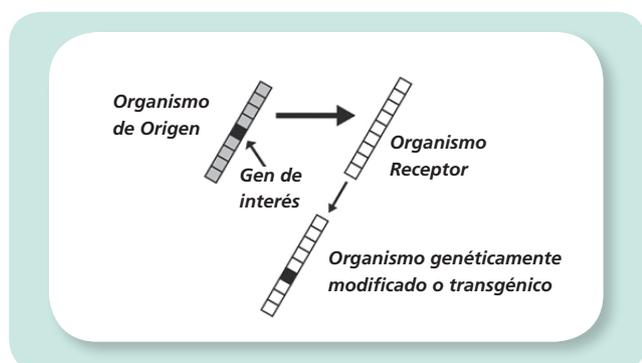


Figura 1: Esquema simplificado de la obtención de semillas transgénicas

El principal argumento esgrimido por los detractores del cultivo de semillas transgénicas es que no ha sido posible demostrar su inocuidad a largo plazo. La realidad es que, hasta el momento, no existe ningún informe científico que demuestre que el consumo de alimentos transgénicos puede resultar nocivo. Pero también es cierto, que el consumo masivo de estos ali-

mentos, desde una perspectiva histórica puede considerarse nuevo, dado que los primeros cultivos datan del año 1995, por lo cual quizás es muy pronto como para asegurar la inocuidad -o no- de los mismos. La Tabla 1, en la cual se listan en orden cronológico los avances más trascendentes en el campo de los cultivos transgénicos, en el marco de los acontecimientos más destacados de la biotecnología (AgroBIO, 2010), contribuye a la toma de conciencia de la cercanía temporal de la implementación de semillas genéticamente modificadas.

Tabla 1: Evolución de la biotecnología a través del tiempo

Año	Acontecimiento
1865	Nacimiento de la Genética como ciencia: Gregor Mendel descubre las leyes de la herencia.
1944	Oswald Avery prueba que el ADN porta la información genética.
1953	Watson y Crick describen la estructura de doble hélice del ADN.
1970	Se describe la primer enzima de restricción (corta el ADN en un sitio específico). Se usa, por primera vez, una enzima que une fragmentos de ADN.
1972	Primera molécula sintética recombinante: Berg logra combinar el ADN de dos virus.
1982	Primera transformación genética de una planta.
1983	Primera planta generada completamente por biotecnología: Petunia.
1995	Tomate de maduración retardada.
1996	Comercialización de los primeros cultivos resistentes a agroquímicos: maíz, algodón, soja.
1998	Cinco países de Asia se asocian para generar papayas resistentes a enfermedades.
2001	Primer genoma completo de una planta comestible: arroz.

La preocupación por el uso de semillas transgénicas se ve agravada por el hecho de que la Argentina ocupa el tercer lugar, luego de Estados Unidos y Brasil en el área de superficie total cultivada con semillas genéticamente modificadas (Gráfico 4) (Fundación Antama, 2009). Es de destacar que la soja ocupa un lugar predominante en este escenario, dado que el 90% de las semillas sembradas corresponden a esta categoría.

De todas maneras, no se debería perder de vista que todos los avances tecnológicos han ocasionado

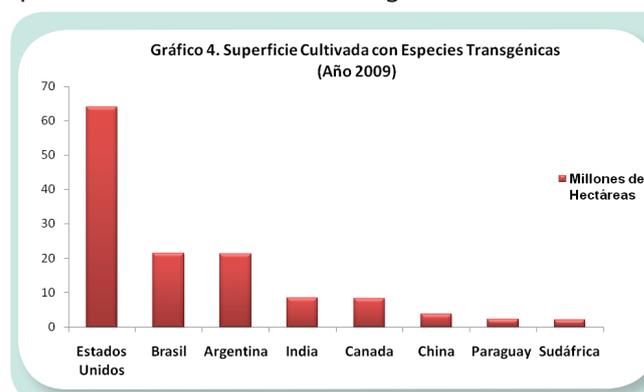


Gráfico 4: Superficie cultivada con especies transgénicas (Año 2009).

temores en sus albores y es razonable que este tema no resulte una excepción.

4. "Los agroquímicos utilizados para proteger los cultivos de soja son tóxicos"

Esta aseveración es quizás la más compleja de discutir y requiere una introducción previa al análisis de la veracidad o no de la misma.

¿Qué son los agroquímicos?

Se considera agroquímicos a todos los plaguicidas utilizados en agricultura. La definición más completa de plaguicida es la propuesta por la FAO (Food and Agriculture Organization), la cual establece que un plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de organismos causantes de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera, derivados de esta, o alimentos para animales. Asimismo la definición abarca las sustancias reguladoras del crecimiento de las plantas, desfoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de las frutas o agentes para evitar la caída prematura de las mismas y sustancias utilizadas antes o después de la cosecha, con el propósito de proteger el producto.

De acuerdo al tipo de plaga sobre la cual actúa el plaguicida se los puede clasificar en: herbicidas, insecticidas ó fungicidas. En muchos casos los plaguicidas que actúan contra los insectos también tienen actividad fungicida y se los agrupa con el nombre de pesticidas.

En conjunto, entonces, herbicidas y pesticidas forman parte del grupo de los agroquímicos.

Herbicidas

Los herbicidas tienen como función evitar la pérdida de rendimiento de la cosecha debido a la interferencia que ejercen las malezas sobre el crecimiento de la soja al competir por nutrientes, luz y agua. Existe una gran cantidad de herbicidas de eficacia probada, registrados para el cultivo de soja. Estos agroquímicos pueden ser clasificados, de acuerdo al momento de aplicación en:

- Herbicidas de presiembra
- Herbicidas de preemergencia: se aplican después de la siembra pero antes de que emerjan la maleza y el cultivo.
- Herbicidas de postemergencia: se aplican después de la emergencia del cultivo y en los primeros estadios de desarrollo de las malezas, etapa en la que son más susceptibles a los herbicidas y todavía

su competencia con el cultivo es mínima. Suelen ser más económicos para el productor, dado que se aplican sólo donde se presenta el problema.

En algunos casos, la acción del herbicida es indiferente al momento de aplicación, quedando entonces a criterio del productor en qué fase (etapa, o estadio) del cultivo en el cual se los utiliza.

Algunos de los herbicidas, desarrollados en laboratorios de síntesis orgánica, más comúnmente usados son: la trifluralina, que inhibe la división celular; la dimetenamida que interfiere en la síntesis de las proteínas, lípidos y de otros componentes de la membrana; el 2,4-DB y el 2,4-D que alteran el equilibrio hormonal y afectan la síntesis proteica y los glifosatos, derivados del aminoácido glicina que son inhibidores enzimáticos. Los glifosatos son comercializados por diversas empresas dentro de las cuales se destacan por su importancia Atanor, que comercializa los glifosatos con el nombre Glifosato II y Monsanto que los comercializa con el nombre de Roundup.

La función inhibitoria específica que cumple cada uno de los herbicidas mencionados en el párrafo anterior, se debe a sus particularidades estructurales. En la Figura 2, se muestran sus estructuras químicas (Whitacre, 2004).

Dentro de los herbicidas sintéticos, merecen una mención especial los glifosatos, por ocupar un lugar predominante en el mercado y porque sus formulaciones están registradas en más de 100 países. La particularidad de estos agroquímicos es que su uso es indicado únicamente para los cultivos de semillas de soja transgénica, desarrollada por la empresa Monsanto, con el nombre de soja RR, que significa Roundup Ready, en alusión a su resistencia al glifosato de nombre Roundup que la misma empresa comercializa.

Como se mencionó anteriormente, el uso de las semillas RR, combinado con el empleo de glifosatos y la siembra directa, son los factores que más han contribuido a aumentar significativamente la rentabilidad de los productores de soja, y en consecuencia al aumento vertiginoso del área destinada al cultivo de esta oleaginosa.

Las formulaciones de glifosato, al igual que la de la mayoría de los herbicidas, incluyen la presencia de

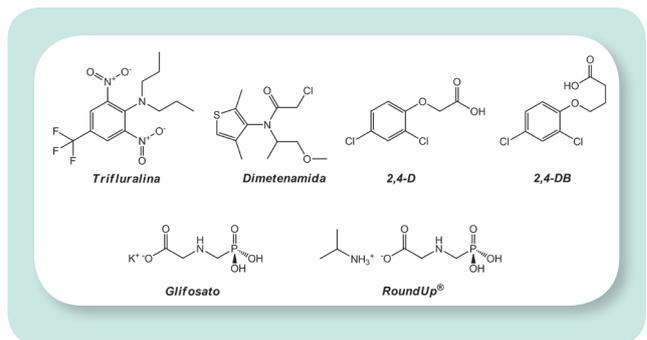


Figura 2: Estructuras químicas de algunos herbicidas de mayor aplicación.

un tensioactivo, cuya función es disminuir la tensión superficial¹ de la solución acuosa del herbicida y aumentar, por lo tanto, la superficie de contacto del producto con las hojas o la superficie vegetal rociada, favoreciendo su penetración.

Un tensioactivo posee en su estructura química dos regiones claramente diferenciadas: la primera es la porción lipofílica (no polar), afín a la mayoría de los compuestos orgánicos no solubles en agua y por lo tanto, a la superficie cerosa de las hojas. Esta porción corresponde a una cadena hidrocarbonada de longitud variable. La otra región de la molécula, es hidrofílica (afín al agua), y está compuesta por grupos polares que pueden interaccionar con los herbicidas. El tensioactivo más comúnmente empleado en las formulaciones de glifosatos es el denominado POEA (polioxietilamina).

En ausencia de tensioactivo, en muchos casos la penetración sería muy lenta dado que, por ser los glifosatos moléculas polares solubles en agua, no podrían atravesar la superficie cerosa de las hojas. Como consecuencia de la lenta penetración, puede haber mucho desperdicio del agroquímico debido, por ejemplo, al lavado del mismo por la lluvia.

De todos los herbicidas sintéticos utilizados, el más controvertido es el glifosato y muchos le temen a su potencial riesgo para la salud humana o animal. Sin embargo, hay otras opiniones que indican que estos compuestos no tienen capacidad de acumulación en animales y se excretan por orina sin modificaciones dado que, por ser sales de baja masa molecular, son completamente solubles en agua (Brunton, 2003). Sus efectos más tóxicos se producirían según esas mismas fuentes, a nivel de piel con cuadros de dermatitis de diversa gravedad.

Como contrapartida, debe considerarse que al combinar los glifosatos con tensioactivos, para favorecer su paso a través de la superficie cerosa de las hojas, aumenta también la absorción por piel y otras mucosas de seres humanos y animales, que también son lipofílicas.

No obstante, sin duda el mayor riesgo para la salud humana está relacionado con el almacenamiento y el momento de aplicación del agroquímico, lo cual implica que conociendo los riesgos a los que se está expuesto y tomando los recaudos adecuados, se minimizarían las posibles consecuencias negativas para la salud humana.

Pesticidas

Como se mencionó anteriormente, se utilizan para prevenir los daños que pueden ocasionar los insectos y los hongos a las cosechas.

Se los puede clasificar de acuerdo a su estructura química en los siguientes grupos:

- **Organoclorados:** A este grupo pertenecen un gran número de compuestos sintéticos, que, desde el punto de vista de su estructura química son hidrocarburos clorados. Las características comunes que poseen son su baja solubilidad en agua y su elevada solubilidad en la mayoría de los solventes orgánicos, así como también su alta estabilidad química y su notable resistencia al ataque de microorganismos. Precisamente los problemas toxicológicos de este grupo de insecticidas están relacionados con su elevada estabilidad, que hace que persistan en el medio ambiente por períodos muy prolongados de tiempo. Al persistir en el medio ambiente y ser muy lipofílicos, se bioacumulan en los tejidos grasos, conduciendo en muchos casos a procesos carcinogénicos (Monografías veterinarias, 1989). Dentro de este grupo merece una mención especial el endosulfán (Figura 3). Este compuesto ha sido ampliamente utilizado en agricultura para controlar plagas de insectos sobre todo del orden de lepidópteros, cuyas especies más conocidas son las mariposas y las polillas, coleópteros (escarabajos), homópteros (cigarras, pulgones), tisanópteros (un grupo de insectos neópteros, es decir sin alas) y dípteros (moscas, mosquitos, tábanos). Su uso ha sido históricamente muy controvertido, debido a cuestionamientos acerca de la toxicidad aguda y crónica del mismo. Se prohibió en más de 60 países, incluyendo la unión Europea y en agosto de 2009 Bayer CropScience, la rama agroquímica de Bayer, informó que planifica terminar las ventas de endosulfán para fines de 2010 en todos los países donde todavía se encuentra legalmente disponible (Desarrollo sostenible 2009).

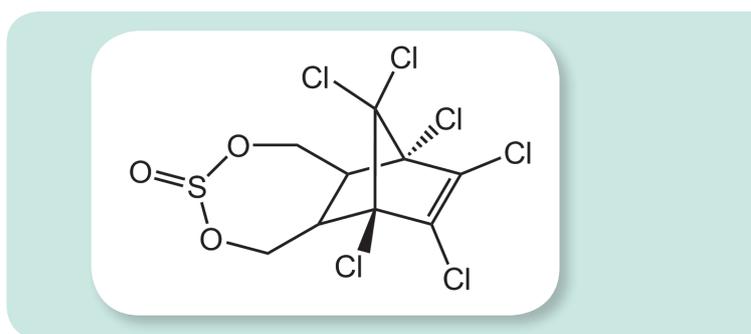


Figura 3: Estructura del endosulfán.

- **Organofosforados:** Todos los organofosforados son ésteres del fósforo que tienen diferentes combinaciones de oxígeno, carbono, azufre y nitrógeno. La utilización de insecticidas organofosforados debe realizarse con precaución dado que son altamente tóxicos para el hombre por vía oral, dérmica y por inhalación (Sosa-Gómez, 2001; Evaristo, 2002; Bouchard, 2006). Dentro de este grupo se puede mencionar al metamidofós, insecticida de amplio espectro y el clorpirifós (Figura 4), que se usa para control de insectos

1. La tensión superficial es la cantidad de energía requerida para aumentar la superficie una unidad.

de los órdenes coleópteros, dípteros, homópteros y lepidópteros, en estadios de larvas y adultos.

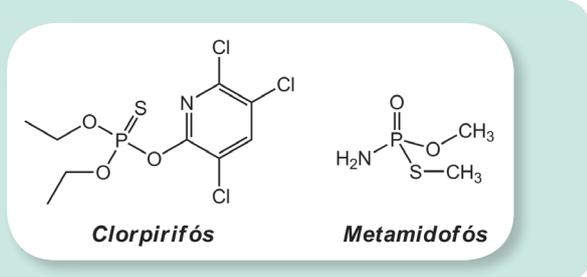


Figura 4: Insecticidas organofosforados

- Carbamatos:** Son sustancias orgánicas sintéticas conformadas por un átomo de nitrógeno unido a un grupo lábil, el ácido carbámico. Las características principales de los insecticidas que conforman este grupo son su alta toxicidad, su baja estabilidad química y su nula acumulación en los tejidos. Esta última característica los posiciona en ventaja con respecto a los organoclorados de baja degradabilidad y gran acumulación. Existen muchos casos de resistencia de insectos a carbamatos producto principalmente de un uso excesivo de estos insecticidas. Por otra parte, la resistencia generada por los organofosforados, conlleva resistencia a los carbamatos, y viceversa. Este fenómeno se denomina resistencia cruzada: fenómeno por el cual una población de artrópodos, sometida a presión de selección con un plaguicida, adquiere resistencia a él y a otros insecticidas relacionados toxicológicamente que no han sido aplicados. Debido a la elevada toxicidad de los mismos, muchos han sido prohibidos en gran parte del mundo. Dentro de los carbamatos comercialmente disponibles, se puede mencionar el metomil (Figura 5).

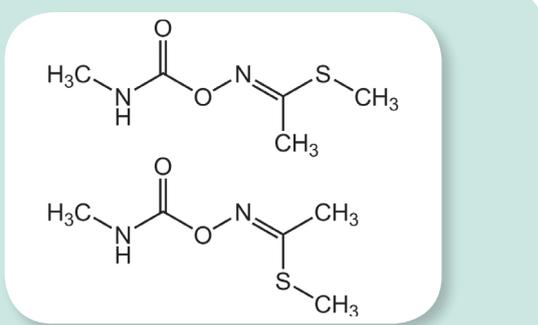


Figura 5: Estructura de metomil

- Piretroides:** Los piretroides son un grupo de pesticidas sintéticos desarrollados con la intención de emular los efectos insecticidas de las piretrinas naturales obtenidas del crisantemo, usadas desde el año 1850. La obtención de piretrinas sintéticas (denominadas piretroides, es decir, "semejantes a piretrinas"), se remonta a la síntesis de la aletrina en 1949 (Figura 6).

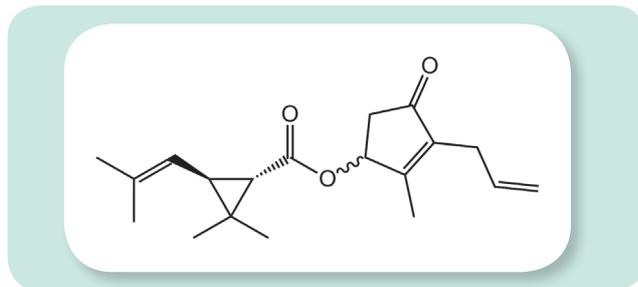


Figura 6: Estructura de la aletrina.

Los primeros piretroides se destacaban por su baja estabilidad, especialmente frente a la luz solar. El desarrollo de nuevas estructuras dio lugar a productos cada vez más estables a la fotodegradación y más efectivos como insecticidas. Los avances logrados en cuanto a la estabilidad y efectividad de este grupo de compuestos, sumados a los problemas toxicológicos atribuidos a los insecticidas que pertenecen a los grupos de organofosforados, organoclorados y carbamatos han contribuido a magnificar el uso en agricultura de los piretroides. Su empleo se vio también alentado por el bajo costo operativo de los mismos, debido a que se requieren mínimas cantidades de producto para combatir las plagas.

Con respecto a su modo de acción, estos insecticidas afectan tanto el sistema nervioso central como el periférico de los insectos. Estimulan las células nerviosas produciendo eventuales casos de parálisis.

De los piretroides comercialmente relevantes se puede mencionar la ciflutrina, que controla una amplia gama de insectos voladores y rastreros, la cipermetrina, que controla insectos lepidópteros (orugas cortadoras, defoliadoras, barrenadores y otras), y la deltametrina, de amplio espectro y elevado poder insecticida, que se usa para controlar las formas adultas y las fases ninfales de los insectos que no han penetrado en el interior de los tejidos vegetales (Figura 7).

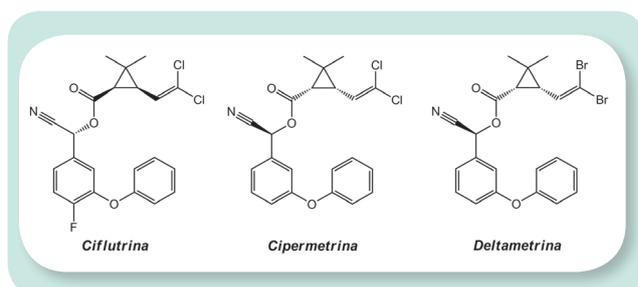


Figura 7: Estructura de Insecticidas pertenecientes al grupo de piretroides

Luego de haber descripto y discutido los aspectos más significativos de los agroquímicos es el momento adecuado para el cuestionamiento acerca de si la aseveración "los agroquímicos empleados para los cultivos de soja son tóxicos" es un mito ó una realidad

En alguna medida todos los agroquímicos pueden resultar un riesgo para la salud, sobre todo si son administrados por personal no capacitado adecuadamente. Pero nuevamente corresponde, en defensa de la soja, recalcar el hecho de que en mayor o menor

proporción la agricultura moderna hace uso de ellos en todo tipo de cultivo.

Esto significa que la discusión trasciende a la soja, y el cuestionamiento debería ser: ¿Existen alternativas al uso de los agroquímicos? La respuesta es que existen, pero son insuficientes. La alternativa actual radica en los denominados cultivos orgánicos, que se basan en preservar los cultivos mediante la aplicación de métodos exclusivamente naturales. En reemplazo de los herbicidas, en algunos casos, se recurre a la antigua metodología de eliminar manualmente las malezas, y en lugar de insecticidas sintéticos se recurre al uso de sustancias naturalmente presentes en el medio ambiente.

Los métodos propuestos permiten producción a baja escala. ¿Resulta razonable pensar la agricultura orgánica, como una alternativa para alimentar los 9.000 millones de habitantes que proyecta la ONU para el año 2050? Ya en el año 2003, la proporción mundial de personas desnutridas era alarmante (Figura 8; Hispanidad, 2009) y la FAO estima que la población mundial que padeció hambre en el año 2009 ascendió a 1020 millones de personas.

Ciertamente, es impensable sentar las bases de una agricultura sostenible que permita saciar el hambre mundial mediante la implementación de técnicas ancestrales.

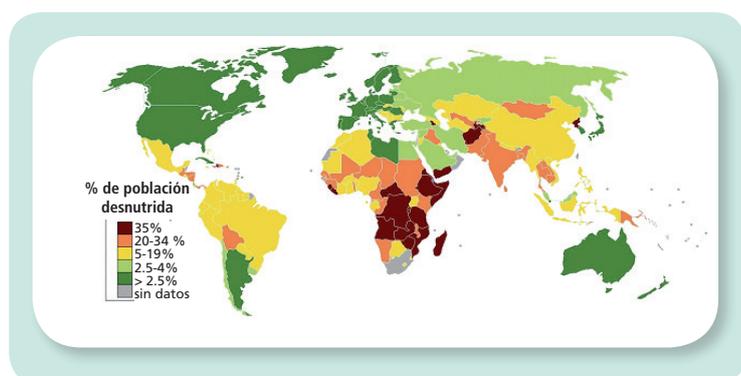


Figura 8: Distribución Mundial de la Desnutrición

¿Cómo pueden los profesionales químicos contribuir a un proceso de mejora en la agricultura?

Sin duda, el rol de los químicos es fundamental. Tienen la responsabilidad de contribuir al monitoreo de los suelos y reclamar por una política agropecuaria sustentable, en caso de que noten empobrecimiento de nutrientes. También son los que poseen los conocimientos necesarios como para avanzar hacia el desarrollo de agroquímicos cada vez más selectivos hacia las especies contra las cuales se los diseña y más inocuos para los animales y el hombre. Contribuirán también, seguramente, a los avances de la biotecnología, lo cual va a permitir aumentar el rendimiento de las cosechas, con máximo aprovechamiento de la tierra y mínimo agregado de pesticidas y agroquímicos.

En resumen, los profesionales químicos tienen la capacidad de trabajar para que, en un tiempo prudencial, se pueda afirmar con certeza que es posible lograr una agricultura sustentables para paliar el hambre del mundo, con cuidado del medio ambiente.

Referencias Bibliográficas

- AgroBIO (2010). La Biotecnología Agrícola http://www.agrobiomexico.org.mx/linea_tiempo.htm
- ArgenBIO (2008). Biotecnología Agrícola para Periodistas <http://www.argenbio.org/adc/uploads/Biotecnologia%20agricola%20para%20periodistas.pdf>
- Aizen, M.; Garibaldi, L. y Dondo, M. (2009). Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecología Austral*, 19, pp. 45-54
- Altieri, M. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74, pp. 19- 31
- Bouchard, M.; Carrier, G.; Brunet, R.; Dumas, P. y Noisel, N. (2006). Biological monitoring of exposure to organophosphorus insecticides in a group of horticultural greenhouse workers. *Ann. Hyg.*, 50, pp. 505-515

QUÍMICA, SOCIEDAD Y MEDIO AMBIENTE

Brunton, L.; Lazo, J. y Parker, K. (2003).

Las bases farmacológicas de la terapéutica.,
New York, Mc Graw Hill

Cruzate, G. y Casas, R. (2003). Balance de Nutrientes.
Fertilizar (INTA), 8, pp. 7-13

Darwich, N. (2003). *Nutrientes del suelo, cuanto queda y cuanto se va.* http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/68-nutrientes.pdf

Darwich, N. (2007). *El balance Físico-Económico de las rotaciones agrícolas* <http://www.fertilizando.com/articulos/>

Desarrollo sostenible (2009), <http://www.dsostenible.com.ar/nueva/2009/08/03/bayer-retirar-del-mercado-al-endosulfan/>

Evaristo, A., y Baptista G. (2002). *Dislodgeable residues of metamidophos in staked tomatoes.* *Sci. Agri.* 59, pp. 469-473

FAOSTAT (2007). *Food and Agriculture Organizations of the United Nations-Statistical Databases.* <http://faostat.fao.org>

Fundación Antama (2009). *La superficie Mundial de Cultivos Transgénicos Crece otros 9 Millones de Hectáreas en 2009.* <http://www.fundacion-antama.org>

Hispanidad (2009). *Mapa de la desnutrición del siglo XXI.* <http://www.hispanidad.infolmaphambre2003.htm>

MinAgri (2010). *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.* <http://www.minagri.gob.ar>

Monografías veterinarias (1989). http://www.monografiasveterinaria.uchile.cl/CDA/mon_vet_simple/0,1420,SCID%253D9312%2526ISID%253D450%2526PRT%253D9183,00.html

Sosa-Gómez, D.; Corso, I. y Morales, L. (2001). *Insecticide resistance to endosulfan monocrotophos and metamidophos in the neotropical brown stink bug *Euschistus heros*.* *Neotrop. Entomol.* 30, pp. 317-320.

Studdert, G.y Echeverría, H. (2000). *Crop Rotations and Nitrogen Fertilization to Manage Soil Organic Carbon Dynamics.* *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, pp.1496-1503

Thrupp, L. (2000). *Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture.* *Int. Aff.*, 76, pp.283-297.

Weyland, F.; Poggio, S. y Ghersa, C. (2008). *Agricultura y Biodiversidad.* *Ciencia Hoy* 106, pp. 27-35.

Whitacre, D. y Ware, W. (2004). *The pesticide book.* Ohio, Meister Pro.

30

TRESIENTOS CINCUENTA AÑOS DE QUÍMICA
LOGROS, ERRORES, TRIUNFOS, FRACASOS
Y DESAFÍOS PARA EL SIGLO XXI**Dr. Miguel A. Blesa**

Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica

Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA), Universidad Nacional de San Martín.

Email: miblesa@cnea.gov.ar

Introducción

Este artículo busca ilustrar las luces y las sombras de los logros de la Química a lo largo de los tiempos, usando la historia del cloro como ejemplo. Según cómo definamos y veamos a la Química, su historia se remonta hasta los orígenes de la humanidad, o acepta una era crucial, que marca su nacimiento como disciplina científica: la que va desde la segunda mitad del siglo XVII hasta las postrimerías del siglo XVIII. Esta disciplina científica es pues extremadamente reciente, en términos de la historia de la humanidad. Discutiremos entonces primero por qué, de manera bastante arbitraria, elegimos hablar de 350 años de Química, lo que equivale a fijar el comienzo de la Química en el año 1661. Después, haremos una reseña de la historia del cloro, que comienza con los albores de la Química, y que ilustra sus logros, sus errores, sus triunfos y sus fracasos.

Muchos de los temas tratados en este artículo se nutren de una serie de publicaciones incluidas en la página web de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias, bajo el título genérico de *Los Grandes Temas Ambientales en la Argentina del Bicentenario*, o incluidos en la revista *Ciencia e Investigación* (Blesa, 2010).

Un poco de historia

Comencemos precisando qué es la Química. La Real Academia Española nos da un buen punto de partida a través de su definición: Ciencia que estudia la estructura, propiedades y transformaciones de la materia a partir de su composición atómica. Esta definición implica que la Química es una ciencia que tiene: (a) un objetivo, que es el estudio y la manipulación de la materia (especialmente en condiciones no demasiado drásticas de temperatura) y (b) un modelo, que se usa como marco de referencia para describir sus resultados: la teoría atómica y molecular parece estar asociada indisolublemente con la disciplina (cuesta imaginar un modelo alternativo). Cabe agregar, además que, (c) se llega al modelo a través de metodologías, que se basan fuertemente en la experimentación.

El estudio y la manipulación de la materia nació con la especie humana: el fuego y la cocción de alimentos constituyen probablemente la primera manipulación de la materia. Después, el uso de los materiales, en especial metales, cerámicos y pigmentos fue marcando los estadios de la evolución de las civilizaciones. Sin embargo, estas actividades aún no constituían una ciencia química, porque le faltaba, entre otras cosas, el elemento de referencia, el modelo.

Desde nuestra perspectiva occidental¹, el primer modelo sobre la materia que tuvo aceptación generalizada es el de Aristóteles. Todos han escuchado hablar de los cuatro elementos de Aristóteles, aire, agua, tierra y fuego. En realidad, Aristóteles ponía énfasis en dos pares de cualidades para describir a la materia: seco o húmedo; frío o caliente. Los cuatro elementos simplemente describían la combinación de las propiedades, tal como se indica en la Figura 1.

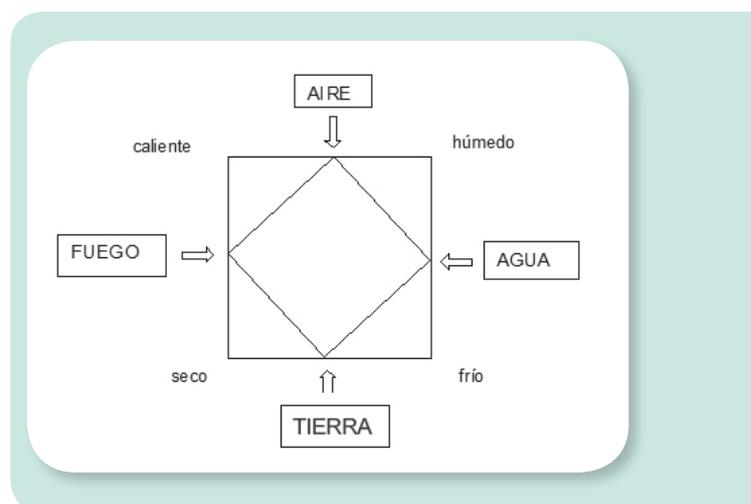


Figura 1: Los dos pares de propiedades de la materia y los cuatro elementos de Aristóteles

Para Aristóteles cualquier sustancia podía cambiar a otra, las sustancias no poseían una estructura inmutable, y aún la masa de un sistema no tenía por qué mantenerse constante. La ciencia aristotélica no se parece a lo que nosotros llamamos Química, porque no usaba la experimentación.

1. Cabe destacar que, antes que Aristóteles, y contemporáneamente con Demócrito, en la India se desarrollaba también una visión atomística del mundo material, que aceptaba la existencia de cinco elementos fundamentales, los cuatro de Aristóteles, y el éter.

Antecede a esta descripción la de Demócrito, quien creía que la materia primordial estaba formada por átomos de distinto tamaño, forma y disposición geométrica. De alguna forma u otra, todas las sustancias estaban formadas por estos átomos de la materia primordial, y sus propiedades estaban vinculadas con esas propiedades de los átomos. Resulta difícil imaginar cómo se podría construir una química que describa el cambio de una sustancia en otra sobre la base de la teoría de Demócrito, que no se basaba en la observación ni estaba sujeta a validación experimental.

Dice Demócrito, según Simplicio: Estos átomos se mueven en el vacío infinito, separados unos de otros y diferentes entre sí en figuras, tamaños, posición y orden; al sorprenderse unos a otros colisionan y algunos son expulsados mediante sacudidas al azar en cualquier dirección, mientras que otros, entrelazándose mutuamente en consonancia con la congruencia de sus figuras, tamaños, posiciones y ordenamientos, se mantienen unidos y así originan el nacimiento de los cuerpos compuestos."



Imágenes de Demócrito y Aristóteles, tomados de la galería de filósofos de la Facultad de Filosofía de la Universidad de Dusseldorf (<http://www.walt.phil-fak.uni-duesseldorf.de/philo/galerie/antike/>)

Los muchos años que van desde Aristóteles (siglo III antes de Cristo) hasta el siglo XVII produjeron sin duda muchos e importantes conocimientos, en el mundo islámico, en China y, finalmente, en la Europa medieval. Al trabajo de los artesanos, debe agregarse la larga historia de la *alquimia*. Dentro de la *prehistoria* de la Química, vale la pena mencionar a la *iatroquímica* y a los *assayers*. La iatroquímica, más que una Química Medicinal, era una forma de ejercer la medicina, basada en el uso de sustancias capaces de influir sobre los organismos. Los *assayers* fueron los primeros "químicos analíticos"; eran técnicos que sabían medir el contenido de metales en una muestra, cuando aun no habían sido formuladas las leyes ponderales de la Química y, menos aún, la teoría atómico-molecular.

Llegamos pues al siglo XVII. Tres años antes, en 1597, Libavius había usado, y difundido, el término *chymia*, en su libro *Alchemia*, para designar al estudio de las sustancias y sus propiedades (ver Figura 2). Según Salzberg (1991) es ésta la época del comienzo de la Química; se vuelven a discutir las teorías atomísticas, y se comienza a usar la balanza para vislumbrar el principio de conservación de la masa aplicado a sustancias que sufren una serie de cambios químicos para volver a su estado inicial.

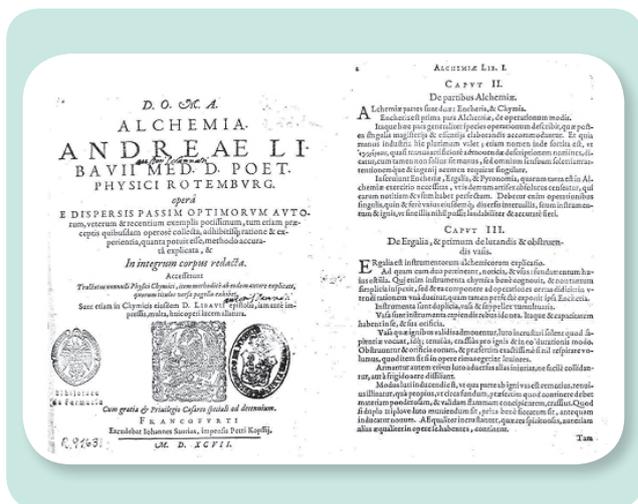


Figura 2: Carátula de *Alchemia*, y página en la que aparece mencionada la *Chymia*

¿Por qué entonces 350 años de Química? Allá por 1661 aparecía el libro *The Sceptical Chymist* de Robert Boyle; por razones que mencionamos más abajo, es que elegimos esa fecha como el nacimiento de la Química como ciencia, con todos sus atributos. Esta elección es muy subjetiva; la misma idea de *nacimiento de la Química* es arbitraria, pero la periodización de la Historia es un recurso útil para organizar las ideas. Es usual fijar el nacimiento de la Química en algún momento entre el que elegimos nosotros, y la aparición de los trabajos de Lavoisier, allá por 1789, fecha de aparición del *Traité Élémentaire de Chimie*.²

Si bien todavía había que esperar por la teoría atómico-molecular, en *The Sceptical Chymist* (ver Figura 3), ya se usan los métodos e ideas de la experimentación cuantitativa en Química. Aun faltaba el apogeo y la caída de la teoría del flogisto, el uso de la balanza de Lavoisier, y finalmente, la formulación de la teoría por Dalton. Sin embargo, este libro puede considerarse como el primer libro en el cual las características de la Química como ciencia comenzaban a plasmarse, aun cuando la teoría atómico-molecular no había sido formulada. El libro de Boyle reúne los requisitos de estudiar la materia y su transformación, y usar la experimentación. Mantenía, sin embargo la idea que la transmutación alquímica de los elementos era posible, si bien este aspecto caía fuera del ámbito de la Química.

2.. Ver, por ejemplo, B. Bensaude-Vincent e I. Stenger, *Historia de la Química*, Addison Wesley/Universidad Autónoma de Madrid, Wilmington, 1997.

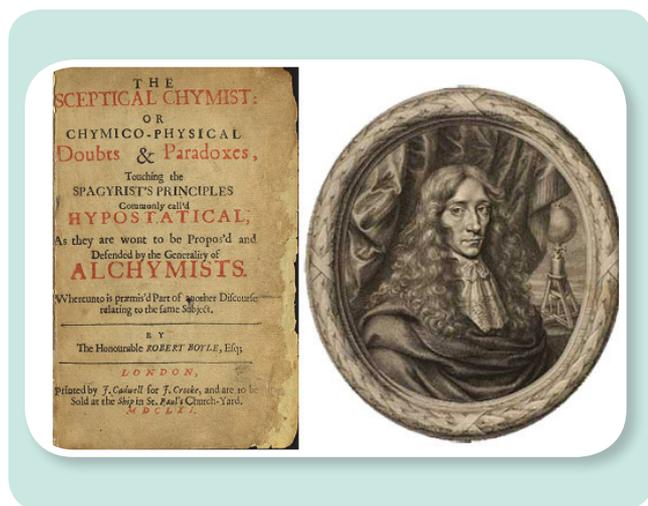


Figura 3: Portada de *The Sceptical Chymist* y grabado con el retrato de Boyle, por W. Faithorne (Sutherland Collection, Ashmolean Museum, Oxford), reproducido de <http://www.bbk.ac.uk/boyle/index.htm>

En lo que resta de este artículo discutiremos qué ocurrió en estos trescientos cincuenta años, de qué manera la química influyó sobre la evolución de la sociedad y, a la inversa, de qué manera la evolución de la sociedad influyó sobre el devenir de la Química. Para ello usaremos la historia del cloro, como representativa de toda la historia de la Química.

La Química y el quehacer humano. La historia del cloro como ejemplo de los avatares de la Química.

La rica interacción entre la historia de la Química y la Historia a secas puede ilustrarse bien describiendo la historia de los estudios y usos de ciertas sustancias químicas. Abundan los buenos y los malos ejemplos que muestran que por sí misma, la Química no es ni buena ni mala. También abundan los ejemplos que muestran la notable capacidad de los químicos³ para ir corrigiendo sus errores a medida que los mismos son advertidos. En particular, la historia del cloro es muy representativa.

El cloro (símbolo Cl) es un *elemento químico* del grupo 17 de la Tabla Periódica (Halógenos). Este elemento químico es muy abundante en la naturaleza como anión cloruro (Cl⁻). Este anión se encuentra esencialmente en forma de cloruro de sodio (símbolo NaCl) (y otros cloruros en menor medida), principalmente en el agua de mar. La *sustancia elemental* (macroscópica) cloro, es un gas en condiciones ambientes de temperatura y presión, formada por moléculas biatómicas (símbolo Cl₂). De ella hablaremos en esta sección, usando el término cloro para la sustancia elemental (es el gas cloro), excepto cuando explícitamente digamos que nos referimos al elemento químico cloro. La diferencia entre elemento y sustancia elemental, aunque nos pa-

rezca trivial, fue enunciada con claridad por primera vez por Mendeleiev recién en 1871, hace sólo 140 años (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

El gas cloro, al margen de alguna posible mención de los químicos árabes del medioevo, fue preparado y caracterizado por C. W. Scheele, en 1774. El cloro es una sustancia muy reactiva; en términos químicos, es un oxidante poderoso, y no se encuentra en la naturaleza. Podemos entonces considerar al cloro como una de las primeras sustancias *xenobióticas* (ajenas a la vida, sustancias sintetizadas y liberadas al ambiente por el hombre). Su impacto ecológico es sin embargo escaso, porque se degrada rápidamente en el ambiente. A pesar de ello, su toxicidad no puede ignorarse.⁴

Los usos y abusos del gas cloro (y del cloro líquido, obtenido del gas por enfriamiento y/o compresión) ilustran los logros y los errores de la Química. Entre los usos fundamentales del cloro, describiremos brevemente la potabilización del agua, la síntesis de materiales plásticos importantes, como el PVC (policloruro de vinilo; PVC por su nombre en inglés), y su uso en la industria del papel (tema siempre de actualidad por controles y conflictos con fábricas de pulpa de papel, como la pastera Botnia, en Uruguay). Entre los problemas que causó el uso del cloro, mencionaremos su uso como arma química durante la Primera Guerra Mundial, y la generación y mal uso de los llamados contaminantes orgánicos persistentes (POPs, por su sigla en inglés), que son muy usualmente compuestos organoclorados.

La Figura 4 muestra la importancia relativa de los usos de cloro en el mundo en 2002. Debe notarse que junto con el cloro se fabrica soda cáustica, insumo también importante para muchas actividades productivas.

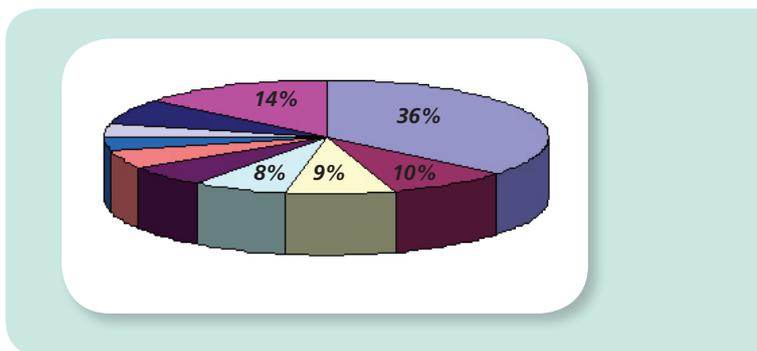


Figura 4: Distribución de los usos del cloro: 36% para síntesis de PVC; 9% para fabricar fosgeno; 8% para HCl; 7% para óxido de propileno; 6% para solventes (clorometano y otros); 10% para alúmina; 8% para jabones y detergentes; 8% para industria textil; 3% para producción de lavandina; 5% para tratamiento de aguas; 4% para compuestos alílicos; 4% en la industria del papel y la pasta; 7% para otros compuestos orgánicos; 14% para la síntesis de otros compuestos inorgánicos. Fuente: World Chlorine Council, <http://www.worldchlorine.org/products/index.html>

3. Se ha generalizado el mal uso del término químico, usándolo para designar sustancias químicas. Este uso debe evitarse. Un químico es una persona que ejerce la Química.

4. <http://www.bt.cdc.gov/agent/chlorine/basics/facts.asp>

La potabilización del agua

La disponibilidad de agua segura para consumo humano fue un problema desde los comienzos de la humanidad, que se agravó notablemente en la medida en que se construyeron ciudades. La provisión de agua centralizada y la eliminación también centralizada del agua residual eran conocidas desde la antigüedad (Blesa, 2010). Las obras hidráulicas romanas son bien conocidas. Estas "cloacas" eran más bien desagües pluviales y de aguas subterráneas, que recibían indirectamente los residuos domiciliarios, arrojados directamente a las calles. Todas estas obras de ingeniería no apuntaban a preservar o mejorar la calidad del agua, sino sólo al aprovisionamiento en las ciudades.

La Edad Media en Europa mostró los límites de las obras que simplemente llevaban el agua al lugar de consumo, y retiraban las aguas residuales. El crecimiento de las ciudades condujo a condiciones pestilentes⁵. Hasta esa época, las aguas distribuidas no recibían ningún tipo de tratamiento, con la posible excepción de procesos naturales de sedimentación. No debe extrañar pues que las epidemias de enfermedades hídricas y las vinculadas con el estado sanitario fueran serias. Baste recordar que la epidemia de peste bubónica del siglo XIV diezmó la población europea. Se calcula que entre el 30 y el 60% de la población murió.

Debemos esperar al siglo XIX para observar cambios drásticos, ya bien entrada la edad de las revoluciones (la Revolución Francesa y la Revolución Industrial) (Hobsbawm, 1991). En 1854 John Snow realizó un estudio del origen de un brote de cólera en Soho (Londres, Inglaterra). Diez años antes que Pasteur presentara su teoría germinal, Snow estableció, por un procedimiento epidemiológico, que el consumo de agua (contaminada) proveniente de un cierto pozo era la causa de una epidemia de cólera en Londres.

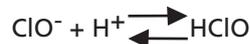
Snow propuso, como medidas preventivas para frenar la transmisión del cólera, usar agua de mejor calidad, lo que significaba agua proveniente de tomas seguras del río Támesis (lejanas a las descargas cloacales), usar agua filtrada, y eventualmente hervida.

En la segunda mitad del siglo XIX la provisión de agua centralizada en ciudades se fue extendiendo, a tal punto que al comenzar el siglo XX, la mayoría de las ciudades de Inglaterra contaban con ese servicio.

La gran solución para la desinfección de las aguas vino de la mano del cloro. En aguas alcalinas, el cloro, que es un gas moderadamente soluble en agua⁶ se transforma mediante una reacción química conocida como dismutación en una mezcla de cloruro (Cl^-) e hipoclorito (ClO^-):



En aguas de pH entre 5 y 9, esta reacción ocurre parcialmente, y se encuentra en solución tanto cloro molecular como la mezcla cloruro/hipoclorito. El poder oxidante, que es la base del poder desinfectante del cloro, permanece adecuadamente alto. Además, el hipoclorito, en ese rango de pH manifiesta su afinidad por el protón, y forma ácido hipocloroso HClO . Existen pues en solución tanto el ácido neutro como el anión hipoclorito:



El ácido hipocloroso es un excelente agente desinfectante: puede atravesar con facilidad las paredes de las bacterias (habitualmente las mismas tienen carga negativa, y repelen a los iones ClO^-), y en su interior libera radicales altamente oxidantes. Estas especies son capaces de atacar a las proteínas, desnaturalizándolas. El ataque destruye las interacciones débiles que definen las estructuras secundaria y terciaria, y el interior hidrofóbico se pone en contacto con el medio acuoso. Estos fenómenos conducen a la agregación y precipitación de la proteína desnaturalizada.

El cloro para el tratamiento de agua corriente se usó por primera vez en Kent, Inglaterra, en 1897, en ocasión de un brote de fiebre tifoidea. En EE.UU. la ciudad de Jersey City fue la precursora del uso del cloro para desinfección del agua corriente en 1908. La experiencia fue muy exitosa, y por ello el Departamento del Tesoro decidió en 1918 que era conveniente clorar todas las aguas de consumo humano. La efectividad del cloro queda en manifiesto en la Figura 5, que muestra la mortalidad por fiebre tifoidea. Adviértase que la tasa de alrededor de 25 muertes anuales por cada 100.000 habitantes, típica antes de la cloración, significaría en EE.UU. alrededor de 100.000 muertes anuales en la actualidad.



Figura 5: Tasa de muerte anual por fiebre tifoidea por cada 100.000 habitantes en EE.UU. durante el Siglo XX. Tomada del U.S. Centers for Disease Control and Prevention, *Notifiable Diseases*, 1997.

La baja tasa de mortalidad por enfermedades transmisibles por aguas infestadas, típica de los EE.UU. en la actualidad, no es, desgraciadamente, una característica de América Latina. La epidemia de cólera en la región que comenzara en Perú en 1991, causó alrededor de 10.000 muertes, y 1.000.000 de casos informados.

5. El lector interesado por una vívida descripción de las condiciones en París, Londres y otras ciudades medioevales, puede consultar Schladweiler (2004).

6. La solubilidad es de 3 L de gas por litro de agua. Esa solubilidad equivale a una concentración de 0,13 moles/L, o unos 10 g/L.

Cuesta imaginarse un planeta poblado por 6.000 millones de personas sin el cloro para desinfectar el agua.

Por supuesto, el uso del cloro tiene sus problemas: por un lado, la formación de sustancias organocloradas cuando el agua contiene compuestos orgánicos; por otro, la preocupación, a partir del atentado a las Torres Gemelas, del posible uso de cloro sustraído de plantas potabilizadoras para actos terroristas (ver abajo). Las alternativas al cloro son el ozono, y la desinfección por radiación UV. Estas opciones no están, en general, en capacidad de competir con el uso del cloro.

El uso del cloro como desinfectante en la limpieza hogareña, como lavandina, se remonta a 1922, primera referencia de su uso en EE.UU (Brazin, 2006).

La historia del cloro como desinfectante de agua de consumo humano es, pues, largamente una historia exitosa. Los límites de este éxito, de cualquier manera, comienzan a manifestarse por el ataque indiscriminado del cloro sobre la materia orgánica, que produce sustancias no deseadas (ver más adelante, compuestos organoclorados).

El uso del cloro en la Primera Guerra Mundial

La revolución industrial potenció la capacidad de intervención del hombre en el ambiente. Este incremento de capacidad no podía dejar de manifestarse también en las guerras, que son sin duda el mayor desastre ambiental que podamos imaginar. La primera guerra de gran escala en la que la industrialización se manifestó claramente fue la Primera Guerra Mundial.

En esta guerra se recurrió a las armas químicas. Los alemanes, con el asesoramiento de dos íconos de la historia de la Química (W. Nernst y F. Haber, ambos más tarde galardonados con el premio Nobel por otros hallazgos importantes), desarrollaron gases tóxicos.⁷ Entre éstos, se incluía el cloro y dos productos derivados de él, más tóxicos que el cloro mismo: el fosgeno (Cl_2CO) y difosgeno (cloroformiato de triclorometilo, $\text{Cl}_3\text{COC(O)Cl}$, $\text{Cl}_4\text{C}_2\text{O}_2$). Los alemanes usaron el cloro el 22 de abril de 1915, en Bixchoote, Langemarck, Bélgica, y los ingleses pagaron con la misma moneda el 25 de septiembre del mismo año, como preludio de su ofensiva en Loos, también en Bélgica.

A lo largo de la guerra fueron apareciendo nuevos agentes químicos, siempre gases, de los cuales el más conocido es el gas mostaza, sulfuro de bis(cloroetilo), $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$.

El cloro no era un agente de guerra química muy eficiente. Los gases en general difunden según los vientos y pueden afectar a las tropas propias. El cloro no es extremadamente tóxico, y más bien genera-

ba molestias (aunque se le atribuyen cerca de 2.000 muertes entre las tropas británicas durante la Primera Guerra Mundial). Los nuevos agentes químicos, como la *lewisita*, el gas *sarin* (se dice que la dictadura de Pinochet lo acumulaba), el *cloruro de cianógeno* son potencialmente extremadamente peligrosos. Si bien la devastación causada por el agente incendiario *napalm* (mezcla de benceno y poliestireno) es sin duda muy impactante, como lo muestran las imágenes de la guerra de Vietnam, los estragos producidos en Vietnam por una mezcla organoclorada, el *agente naranja*, ilustran los horrores de la guerra química. Este exfoliante y herbicida es una mezcla de los ácidos di- y tri-clorofenoxiacéticos, pero el producto empleado en Vietnam estaba contaminado con 2,3,7,8-tetraclorodibenzodioxina, la más tóxica de las dioxinas. Se calcula que casi 5.000.000 de personas fueron expuestas al agente naranja, lo que resultó en 400.000 muertes o discapacidades, amén de las malformaciones de niños durante su gestación.



Figura 6: Fotografía tomada durante la guerra de Vietnam, el 8 de junio de 1972, por Nick Út, que recibió el Premio Pulitzer.

Volviendo al cloro elemental, después del atentado a las Torres Gemelas el 11 de septiembre de 2001, EE.UU. ha tomado algunas medidas para prever la posibilidad de desvío hacia células terroristas de cilindros de cloro líquido usado para diversos fines productivos. Se dice que se usó cloro líquido en ataques terroristas en Iraq.

El mismo cloro imprescindible, por ahora, para potabilizar agua, fue también un agente de guerra química.

Los compuestos organoclorados

Los compuestos organoclorados no se presentan mucho en la naturaleza; una de las fuentes importantes es la combustión de la materia orgánica, cuando esa combustión ocurre en presencia de cloruros o de cloro. Sin embargo, la introducción de uno o más átomos de cloro en reemplazo de hidrógeno genera sustancias de mucho interés. La síntesis de compuestos organoclorados jugó un papel importante en la evolución de los conceptos básicos de la Química. El químico francés Dumas enunció en 1830 la ley empíri-

7. Ver Katz, M. capítulo LA QUÍMICA Y CONTEXTOS. EL CASO FRITZ HABER, en este libro Química y Civilización.

ca de sustituciones, según la cual la deshidrogenación de un hidrocarburo por acción del cloro, conduce al agregado de un átomo de cloro por cada átomo de hidrógeno perdido (Bensaude-Vicent y Stengers, 1997); así por ejemplo, Dumas sintetiza el ácido cloroacético. Estos hallazgos resultaron a la larga incompatibles con la teoría *dualista* de Berzelius, por entonces en boga, según la cual los cuerpos compuestos resultaban de la combinación de cargas eléctricas opuestas. La teoría dualista fue más tarde reemplazada por la teoría de los *tipos* químicos.

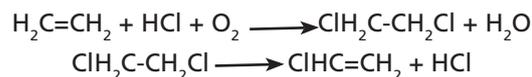
El interés tecnológico de los compuestos organoclorados es también grande. El reemplazo en el metano, CH₄ transforma un gas no polar en líquidos polares de mucho interés como solventes. El reemplazo en el etileno, H₂C=CH₂ conduce al cloruro de vinilo, HClC=CH₂, usado en grandes cantidades en la fabricación de su polímero, el poli cloruro de vinilo (PVC). Los tristemente célebres bifenilos policlorados (PBCs por su nombre en inglés), se obtuvieron en grandes cantidades por cloración del bifenilo (H₅C₆-C₆H₅) para usarlos como líquidos dieléctricos (como aislantes en transformadores y otros equipos eléctricos). Muchos agroquímicos e insecticidas son compuestos organoclorados. En síntesis, el hombre fabricó solventes, plásticos, plaguicidas y otros compuestos de mucho interés introduciendo átomos de cloro en moléculas orgánicas, muchas por reacción con cloro, otras veces usando ácido clorhídrico fabricado a partir del cloro.

Dada la importancia de estos compuestos organoclorados, ampliaremos algunas de sus características y usos.

El PVC

Los plásticos son polímeros, compuestos que contienen moléculas muy grandes, formadas por la adición (unión secuencial) de moléculas pequeñas (los monómeros) muchas veces idénticas. Los dos plásticos que se producen en mayor cantidad son el polietileno (PE) y el polipropileno (PP), productos de la polimerización de etileno y propileno, respectivamente. El poli(cloruro de vinilo) (PVC) es análogo al polietileno, pero en él uno de cada cuatro átomos de hidrógeno ha sido reemplazado por un átomo de cloro (el cloruro de vinilo, monómero que forma el PVC, es simplemente el cloroetileno, ClHC=CH₂). En comparación con el PE, el PVC es mucho más denso, y su uso más importante es para cañerías, reemplazando las viejas tuberías de plomo o de metales corroibles para conducir agua.⁸

El monómero, a partir del cual se obtiene el PVC, se produce principalmente por craqueo térmico del dicloroetano. Éste a su vez, es obtenido a través de la oxiclación del etileno, según las siguientes ecuaciones químicas:



Todos estamos familiarizados con el PVC y sus usos; sin la industria del cloro, toda la forma de resolver la plomería se vería afectada. Sin embargo, no son todas las rosas: la incineración del PVC, y su destrucción en rellenos sanitarios, puede producir dioxinas (ver más abajo), y ello ha generado preocupación en organizaciones ambientalistas.

Los insecticidas y plaguicidas

El DDT (diclorodifeniltricloroetano) es ampliamente conocido. Ésta fue la sustancia empleada para combatir (y largamente erradicar) el paludismo (malaria) de la Argentina durante la gestión de salud del Dr. Ramón Carrillo. Pero la historia de éxitos del DDT no se restringe a la Argentina. El premio Nobel de Medicina o Fisiología de 1902 fue otorgado a Ronald Ross *por su trabajo sobre la malaria, por el que ha demostrado cómo entra al organismo y por lo tanto ha sentado las bases para la investigación exitosa de esta enfermedad y los métodos de combatirla*, y el de 1907 a Alphonse Laveran *en reconocimiento por su trabajo sobre el papel de los protozoarios como causa de enfermedades*. Y en 1948, se le otorgó el mismo premio a Paul Müller *por su descubrimiento de la alta eficacia del DDT como veneno de contacto contra varios artrópodos*.

Sin embargo, pronto fue el uso masivo del DDT el disparador de fuertes críticas ambientalistas. Es más, se puede marcar (arbitrariamente) el nacimiento de los movimientos ambientalistas en la publicación del libro *Primavera Silenciosa* (1962) de Rachel Carson, como el punto de partida de la toma de conciencia masiva del impacto ambiental de la actividad industrial humana. Carson enfocó su libro en los efectos ecotoxicológicos del DDT que, según su libro, podían llevar a una primavera sin el canto de los pájaros. Cabe destacar que Carson no abogó por la prohibición total del uso del DDT, sino por su uso en cantidades imprescindibles. De cualquier manera, *Silent Spring* marca el comienzo del activismo ambiental, del que se nutren posiciones bien fundadas, pero también posiciones marcadas por una fuerte impronta emocional. En la actualidad, el DDT está incluido en el Anexo B de la Convención de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (POPs), que requiere la restricción de su uso, pero sujeto a excepciones específicas. Aun hoy la malaria es una causa muy importante de muerte; se ha estimado que mueren alrededor de 800.000 por año por la malaria,⁹ y el DDT sigue siendo una herramienta útil para combatir al mosquito *Anopheles*, vector del parásito del género *Plasmodium*, responsable de la enfermedad. Las campañas de la Organización Mundial de la Salud se basan ya no en fumigaciones masivas,

8. Ver capítulo de Fascio, Lamanna y D'Accorso, *POLÍMEROS: DESDE GOODYEAR HASTA LOS MICROCHIPS*, en este libro *Química y Civilización*.

9. World Health Organization, *Malaria Report 2010*. Ver: http://www.who.int/malaria/world_malaria_report_2010/worldmalariareport2010.pdf.

M. R. Powell, *Control of Dioxins (and other Organochlorines) from the Pulp and Paper Industry*

sino en la fumigación de interiores con insecticidas de acción residual, y en el uso de mosquiteros tratados con insecticidas. En reemplazo del DDT, los insecticidas más usados en el primer caso, y los únicos usados en el segundo caso, son los piretroides.

Y para dar una vuelta de tuerca adicional, la aparición de cepas de mosquitos resistentes a estos insecticidas es una preocupación adicional que señala que ninguna solución tecnológica es eterna. La Figura 5 resume la lección aprendida sobre la interrelación entre progresos tecnológicos y respuestas ambientales, que bien puede aplicarse al caso de la malaria y del DDT.

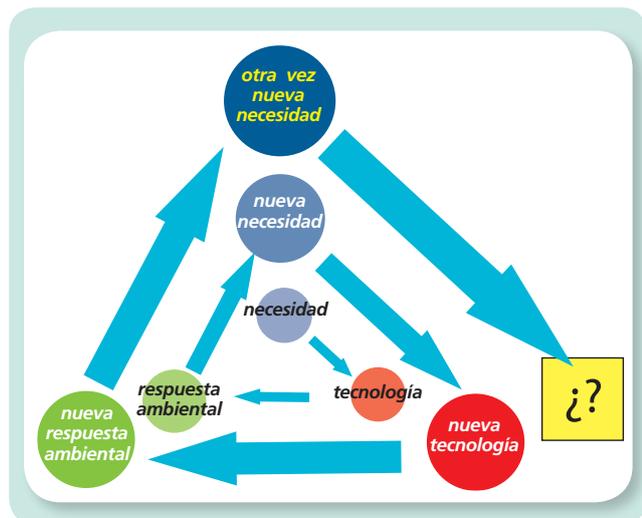


Figura 7: Desarrollo de tecnologías y la respuesta ambiental.

El DDT no es más que uno de los POPs que forman parte de la llamada *docena sucia*, los doce compuestos orgánicos persistentes en el ambiente identificados originalmente por la Convención de Estocolmo en función de los siguientes criterios: no se degradan en el ambiente por largos períodos de tiempo (años); se distribuyen ampliamente en el ambiente; se acumulan en tejidos grasos; son tóxicos a los seres humanos y a la vida silvestre. La docena sucia se muestra en la Figura 8. Cabe señalar que en 2010, la Convención, reunida en Ginebra, agregó otros nueve compuestos al listado, entre los que figuran cinco compuestos organoclorados (ver Figura 9), tres organobromados y uno organofluorado.¹⁰

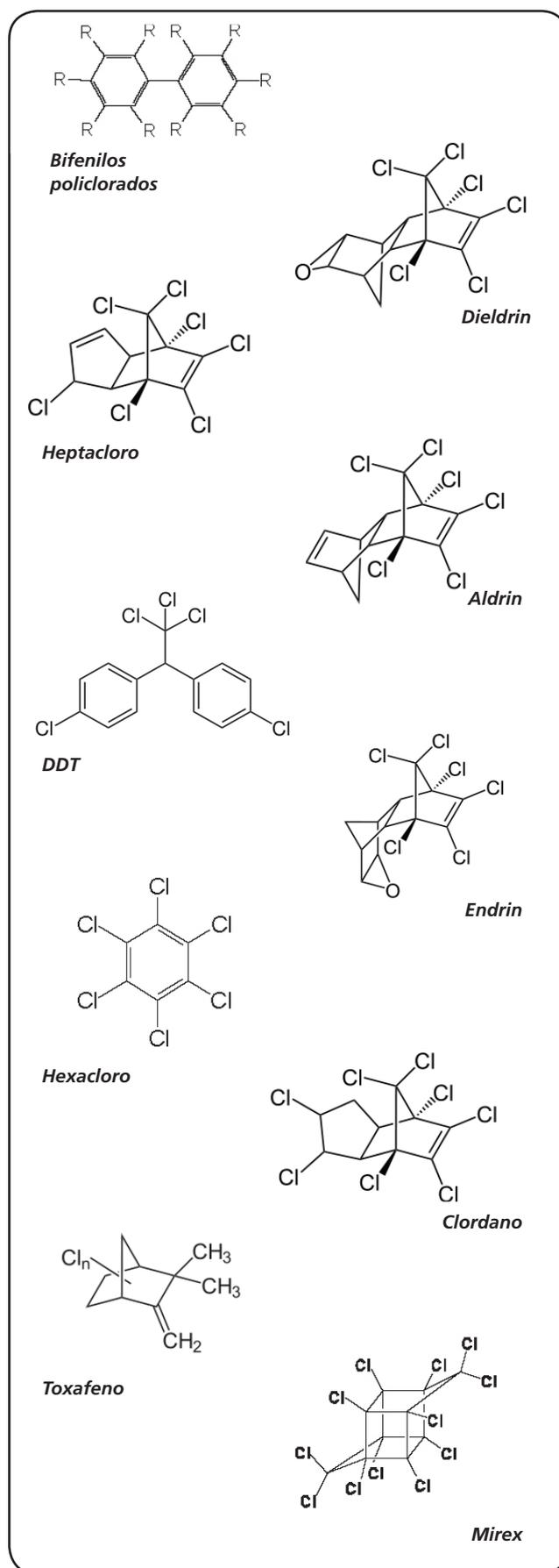
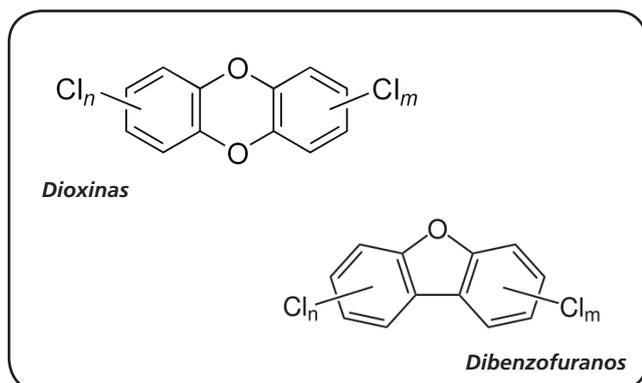
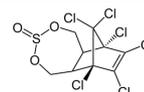


Figura 8: La docena sucia original de la Convención de Estocolmo sobre compuestos orgánicos persistentes.

10. Después que este trabajo fuera redactado, el 29 de abril de 2011, la Convención incluyó otro compuesto organoclorado en el Anexo A, que llama a la prohibición total. Se trata del endosulfán, cuya fórmula se muestra a continuación:



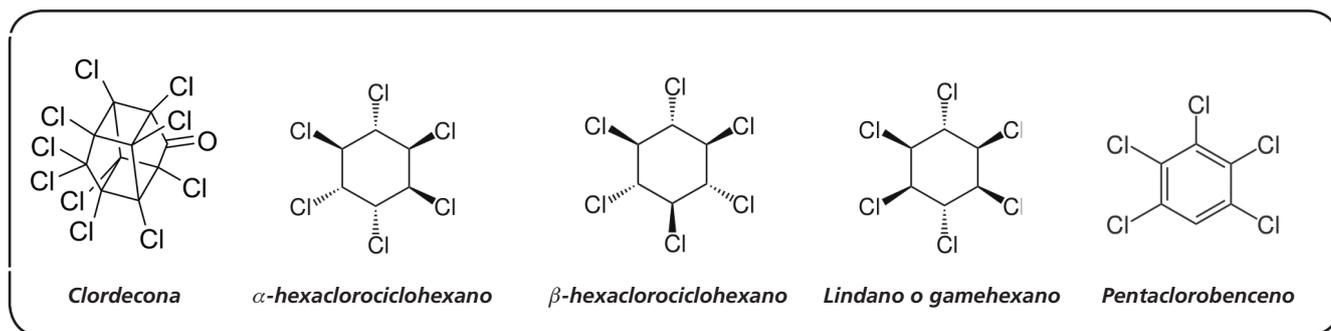


Figura 9: Los cinco nuevos compuestos organoclorados incluidos en los Anexos de la Convención de Estocolmo

El cloro, las pasteras y las dioxinas

La producción masiva de papel se remonta a la invención del proceso de fabricación mecánica de pasta a partir de la madera. Se da crédito al alemán F.G. Keller y al canadiense C. Fenerty por la invención, en forma simultánea e independiente, hacia mediados del siglo XIX. Muy pronto se desarrolló también el procesamiento químico, basado en el uso de dióxido de azufre o de sulfito, y poco después el proceso kraft, que usa soluciones acuosas de sulfuro de sodio e hidróxido de sodio (el llamado *licor blanco*).

La madera está compuesta por fibras de celulosa unidas por lignina. La celulosa es un polímero formado por cadenas lineales de la glucosa; es la fibra que constituye básicamente la pasta y después el papel. La lignina es también un polímero, pero de estructura compleja, cuya función es unir las fibras de celulosa. El proceso mecánico simplemente rompe esa estructura, manteniendo la mezcla entre celulosa y lignina; en cambio, los procesos químicos remueven en buena medida la lignina, atacándola con los reactivos empleados. La lignina es responsable de conferir color marrón al papel, y por eso debe removerse si se desea papel de buena calidad para la impresión.

Si bien el tratamiento con sulfuro en el proceso kraft remueve buena parte de la lignina, la pasta sigue conteniéndola (en el orden del 5% o menos), y la fabricación de papel blanco requiere de una etapa adicional, el *blanqueo*. En esta etapa se produce un ataque químico sobre la lignina (buscando evitar el ataque a la celulosa). Tradicionalmente, el reactivo usado para ello fue el cloro (Cl_2) o el hipoclorito de sodio (NaClO). Estos reactivos atacan a la lignina rompiéndola parcialmente, en un proceso en el que se unen átomos de cloro a las moléculas orgánicas, formando así compuestos organoclorados. Estos compuestos liberados al ambiente, pueden generar dioxinas, sustancias incluidas en la docena sucia, por sus propiedades ecotoxicológicas; los compuestos considerados más peligrosos son la tetraclorodibenzo-*p*-dioxina y el tetraclorodibenzofurano (ver Figura 6). Vemos de nuevo en acción la operación de un ciclo como el de la Figura 5. La necesidad de papel de buena calidad impulsó el uso del cloro, y la posible respuesta ambiental sugi-

rió la necesidad de limitar dicho uso. La nueva opción tecnológica fue el pasaje a tecnologías libres de cloro elemental (ECF, por sus siglas en inglés), basadas en el uso del dióxido de cloro, ClO_2 . Este gas disuelto ataca también a la lignina, pero no adiciona átomos de cloro a la estructura orgánica. Sin embargo, en cierta medida, probablemente por la formación de algo de cloro (Cl_2), se sigue formando algo de dioxinas. Las plantas modernas, como la de Botnia, usan esta tecnología. El hecho que se sigan formando dioxinas produce de cualquier manera preocupación ambiental, y se proponen las tecnologías totalmente libres de cloro (TFC por sus siglas en inglés), basadas, por ejemplo, en el uso del ozono. Existen otras preocupaciones vinculadas con el impacto ambiental de las pasteras, pero las mismas caen fuera del alcance de este artículo.

La discusión detallada de los efectos ecotoxicológicos de las dioxinas y furanos clorados, y de los criterios regulatorios que se definen para controlar esos efectos excede este trabajo.¹¹

11. El tema se puede consultar, por ejemplo en la referencia Powell (1997).

Consideraciones finales

La Química no es una serena disciplina basada en un mero ejercicio intelectual característico de los claustros universitarios. Si bien se nutre de los hallazgos científicos originales del laboratorio, y tiene la rigurosidad de una ciencia exacta, su impacto en la vida cotidiana es inmenso. La historia de la Química está indisolublemente ligada a la historia de la tecnología y, en particular, a los espectaculares cambios que produjo la revolución industrial, con todas sus luces y sus sombras. Los comienzos del siglo XXI marcan en cambio un punto de inflexión en la aceleración típica del siglo pasado en la producción de bienes y en el consumo de recursos naturales. El gran interrogante inmediato es cómo podremos mantener los niveles de bienestar alcanzados (largamente gracias a la actividad productiva), pero tomando recaudos para preservar nuestro ambiente. En ese contexto, la Química, en función de su adaptabilidad y sus habilidades se constituye en una herramienta poderosa e imprescindible para participar en ese turbulento periplo.

Los químicos, por su parte, tendrán en sus manos esa poderosa herramienta de cambio, y sus ideas, ingenio y trabajos perseverantes, serán insumos imprescindibles para las nuevas generaciones.

Referencias bibliográficas

Blesa, M.A. (2010). (a) *Los Grandes Temas Ambientales de la Argentina del Bicentenario*, <http://www.aargentinapciencias.org>.

(b) *La Contaminación del Agua en el siglo XXI*, Ciencia e Investigación 60 (4), 4-11 (2010) (disponible en la misma página web).

Bensaude-Vicent, B. y Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*, Addison-Wesley/Universidad Autónoma de Madrid. ISBN: 84-7829-011-7.

Brazin, J. (2006). *Chlorine and its consequences*. Ver <http://web.archive.org/web/20060918145109/http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Earth--Atmospheric--and-Planetary-Sciences/12-091January--IAP--2006/0EF9264B-3205-44A3-8306-8E8364917DF0/0/brazin.pdf>

Hobsbawm, E.J (1991). *La Era de la Revolución (1889-1848)*, Editorial Labor, Barcelona.

Powell, M. R. (1997). *Control of Dioxins (and other Organochlorines) from the Pulp and Paper Industry under the Clean Water Act and Lead in Soil at Superfund Mining Sites: Two Case Studies in EPA's Use of Science*, Resources for the Future (1997). Ver: <http://www.rff.org/documents/RFF-DP-97-08.pdf>

Salzberg, H.W. (1991). *From Caveman to Chemist*, American Chemical Society, Washington DC.

Schladweiler, J. C. (2004) *Tracking Down the Roots of our Sanitary Sewers*. Ver: http://www.sewerhistory.org/chronos/early_roots.htm

31

LOS PECADOS DE LA QUÍMICA

Dr. Rolando A. Spanevello y Dra. Alejandra G. Suárez

Instituto de Química Rosario, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas.

Universidad Nacional de Rosario - CONICET. Suipacha 531, S2002LRK Rosario, ARGENTINA

Email: spanevello@iquir-conicet.gov.ar; suarez@iquir-conicet.gov.ar

La ciencia es una aventura intelectual que lleva implícitas las ideas de creatividad y progreso, es una parte esencial de la cultura moderna que ha revolucionado nuestra concepción del mundo y de nosotros mismos.

En la época del hombre de las cavernas el hacha de sílex constituía la herramienta universal y con este instrumento se inició gradualmente la civilización de la humanidad. Las máquinas comenzaron a rodear a los seres humanos, a integrarse en sus vidas, a componer sus hábitats. Hoy el avance científico ha transformado el hacha de sílex en una diminuta agenda electrónica con sistema de posicionamiento global.

Nuestras mentes se han educado, se han entrenado, se han sofisticado y recurrimos a computadoras y toda clase de recursos audiovisuales para mejorar nuestras opciones de información y comunicación. Los logros de la humanidad en materia científica y sus aplicaciones tecnológicas se han convertido en factores claves del desarrollo socio-económico de los países.

La investigación científica tiene por objetivo la generación de conocimiento verificable, y abierto constantemente a la confirmación o confrontación. Estos nuevos conocimientos siempre conducen a áreas no previstas del desarrollo humano, para las cuales la evaluación del riesgo y la incerteza del impacto de estos nuevos avances científicos no son fáciles de llevar a cabo. En este punto es conveniente definir las implicancias de los términos riesgo e incerteza en ciencia: riesgo es la situación en la cual la probabilidad de un resultado en particular y la naturaleza de su impacto son bien entendidas; incerteza es la situación en la cual no hay suficientes bases para estimar con precisión la probabilidad de un resultado en particular y predecir las consecuencias como así también, evaluar su impacto.

Un ejemplo de incerteza puede ser tomado de la física: Hertz descubrió al final del Siglo XIX que la luz expulsa electrones de una placa metálica si su frecuencia está por encima de cierto valor de energía. Varios

años más tarde, Einstein propuso una explicación considerando la luz como una serie de cuantos de energía. Este fue el fundamento del efecto fotoeléctrico, a partir del cual podemos rastrear una serie de revoluciones tecnológicas, no solo en artefactos electrónicos sino también, en armas de destrucción masiva que marcaron para siempre la historia de la humanidad. Ni Hertz, ni Einstein al momento de efectuar sus investigaciones podrían haber previsto el uso o abuso de las mismas; ellos estaban tratando con hechos científicos, no con las aplicaciones de la ciencia.

Otro ejemplo sobre la aplicación de los conocimientos científicos son los estudios de Luigi Galvani¹ y los desarrollos de Thomas A. Edison (Clark, 1977) en materia de electricidad, los cuales no podrían haber hecho suponer inicialmente su posterior aplicación en la silla eléctrica.

En química, se puede mencionar el caso de la síntesis de MDMA (3,4-metilendioxi metanfetamina) coloquialmente conocida como Éxtasis, un poderoso psicotrópico. Anton Köllisch² sintetizó por primera vez MDMA en 1912 porque deseaba desarrollar sustancias que permitieran detener el sangrado anormal y MDMA era un intermediario sintético para la obtención de análogos de un compuesto denominado hidrastinina. Durante casi seis décadas, esta sustancia estuvo prácticamente olvidada, recién a mediados de los años setenta Shulgin y Nichols (Shulgin y cols., 1978) publicaron un trabajo sobre los efectos psicotrópicos en humanos y contemporáneamente comenzó a extenderse su abuso hasta convertirse en una sustancia prohibida en Estados Unidos en 1977, siendo actualmente ilegal en la mayoría de los países.

Las aplicaciones del conocimiento científico siempre tienen una arista desconocida y por ende a veces peligrosa. Según Goliszek (Goliszek 2003) los avances científicos en algunos casos tienen su contracara. Más allá de la promesa de vacunas que salven vidas o tecnologías que prolonguen la vida, subyace el verdadero costo de los esfuerzos para desarrollarlos. El conocimiento tiene su precio, y en ciertas ocasiones

1. El trabajo de Luigi Galvani "De viribus electricitatis in motu musculari commentarius" publicado en 1791 por la "Accademia delle Scienze" representa una importante contribución en la historia de las ciencias de la vida. El tratado describe las observaciones experimentales de las interacciones entre la electricidad y el movimiento muscular además de proponer su teoría de la electricidad animal. Su teoría fue debatida en los principales centros de investigación científica del siglo XVIII y contribuyeron al desarrollo de nuevos campos de investigación, principalmente en el estudio de la electricidad.

2. Anton Köllisch (1888-1916) era un químico alemán que trabajaba para Merck en Darmstadt. A finales de 1912 Merck presentó una solicitud de patente que fue concedida en 1914. Sin embargo Köllisch falleció como soldado en la Primera Guerra Mundial en 1916 sin tener idea del impacto que tendría su síntesis.

ese precio ha sido el sufrimiento humano. Los límites éticos que gobiernan el uso del cuerpo humano en experimentación han sido excedidos, redefinidos y nuevamente sobrepasados.

El término “uso dual” es frecuentemente empleado en el lenguaje político y diplomático para referirse a tecnologías que pueden ser utilizadas para fines pacíficos u hostiles. La energía nuclear y las armas nucleares son un ejemplo insoslayable en este sentido (Greco, 1995). Cuando Enrico Fermi se trasladó a los Estados Unidos a causa de las condiciones políticas imperantes en Italia, también lo hicieron muchos miembros de su grupo de investigación y en los años siguientes a Pearl Harbor, varios de ellos estuvieron involucrados en el proyecto Manhattan. Sin embargo, Franco Rasetti, un físico destacado y uno de los más estrechos colaboradores de Fermi, fue una de las excepciones. En una carta dirigida en 1946 a Enrico Pérsico, otro físico teórico y amigo personal de ambos, este escribía:

“he estado tan disgustado por las últimas aplicaciones de la física (...) que estoy seriamente pensando en trabajar solamente en geología y biología. No sólo el pasado y reciente uso de las aplicaciones de la física es monstruoso a mis ojos, sino que además la actual situación hace imposible restaurar el carácter libre e internacional de esta ciencia, que ahora se ha tornado un instrumento de opresión política y militar. Es casi imposible comprender como gente, que una vez pareció tener percepción de la dignidad humana, están ahora dispuestas a convertirse en herramientas de estas monstruosas generaciones”.

El caso de Rasetti no fue el único, son bien conocidas reacciones similares que surgieron en diferentes tiempos y también dentro del propio proyecto Manhattan (Vesentini, 2004).

Un posible ejemplo de ética y responsabilidad científica que la historia ha sacado a la luz luego de muchos años, al ser desclasificados archivos secretos y puestos a disposición del público en 1992, pareciera ser el caso de Heisenberg.³ Si bien es difícil probar que el fracaso alemán en producir la bomba atómica no fue por la falta de conocimiento en materia nuclear,

sino a una decisión personal del científico, reticente a aplicar ese conocimiento a un fin bélico, esto sería lo ocurrido durante la Segunda Guerra Mundial.

Cerca del final de la guerra en Europa como parte de la Operación Epsilon (Goldberg y cols., 1992), Heisenberg fue capturado y secuestrado por los aliados el 3 de mayo de 1945. Este investigador, junto con otros nueve científicos, incluyendo a Otto Hahn,⁴ Carl Friedrich von Weizsäcker y Max von Laue, fueron internados en una casa de campo llamada “Farm Hall” en la campaña inglesa que pertenecía al servicio de inteligencia británico M16. Esta casa tenía micrófonos ocultos que grababan todas las conversaciones de los prisioneros. El 6 de agosto de 1945 a las seis de la tarde Heisenberg y los demás científicos alemanes escucharon un informe de radio de la BBC sobre la bomba atómica de Hiroshima. A la noche siguiente Heisenberg dio un seminario a sus compañeros, a manera de informe, que incluía el cálculo estimativo correcto de la masa crítica y de Uranio-235 necesarios, además de características del diseño de la bomba. El hecho de haber realizado estos cálculos en menos de dos días,⁵ da credibilidad a su afirmación que la razón por la cual no desarrollaron la bomba atómica durante la guerra, se debía única y exclusivamente al hecho que no habían intentado seriamente resolver el problema.⁶

En realidad la percepción que se tiene en la actualidad del uso dual de la investigación científica, ha estado presente a través de toda la historia de la ciencia desde tiempos anteriores a los de Arquímedes.

La preocupación de los científicos por la imagen pública de la química como disciplina científica no es nueva. Una encuesta reciente organizada por la revista Nature⁷ sondeando quien puede ser considerado el químico más grande de todos los tiempos arrojó resultados poco predecibles. Linus Pauling⁸ fue quien obtuvo el mayor número de votos superando a Madame Curie,⁹ en honor a quien se celebra el Año Internacional de la Química 2011. Sin embargo, la encuesta reveló que no existe un claro consenso sobre el tema, hallándose una importante dispersión de opiniones y encontrándose sorprendentemente la ausencia de mención de nombres tales como Frederick Sanger,¹⁰

3. Werner Heisenberg (1901-1976) Notable físico alemán que obtuvo el Premio Nobel de Física en 1932 por su desarrollo de la mecánica cuántica. Fue además uno de los principales científicos alemanes liderando la investigación en energía nuclear durante la Segunda Guerra Mundial.

4. Otto Hahn (1879- 1968) fue un químico alemán que ganó el Premio Nobel de Química en 1944 por sus trabajos pioneros en el campo de la radiactividad. Hahn había expresado su deseo de suicidarse en 1939 cuando se dio cuenta por primera vez que su descubrimiento de la fisión nuclear realizado en diciembre de 1938 podía llegar a conducir a la bomba atómica. Aquel tristemente recordado 6 de agosto de 1945 nuevamente habló de suicidio y por tal motivo tanto sus compañeros de cárcel como los oficiales encargados de custodiarlos pusieron especial cuidado en controlarlo durante aquella noche.

5. Cuando Hans Bethe, quien fuera jefe de la división teórica en Los Alamos durante el proyecto Manhattan, leyó las transcripciones de las grabaciones de Farm Hall 47 años más tarde, quedó inmediatamente asombrado por la sofisticación de Heisenberg. Su primera impresión fue que Heisenberg sabía mucho más de lo que ellos siempre habían supuesto. Estas transcripciones revelan que el elevado entendimiento que Heisenberg poseía sobre la física de la bomba lo guardó para sí mismo durante la guerra. (ver referencia: Goldberg y cols., 1992)

6. Como Heisenberg les comentó a sus colegas aquella noche del 6 de agosto de 1945: “El punto es que toda la estructura de relación entre científicos y el estado Alemán era tal que a pesar que nosotros no estábamos 100% deseosos de producir un arma nuclear, por la otra parte éramos tan poco confiables para el estado que aunque hubiésemos querido hacerlo, no hubiese sido fácil llevarlo adelante”.

7. Artículo editorial (2011). A great question: ¿Who is the greatest chemist of all time?. Nature Chemistry, 3, 179 (<http://www.nature.com/nchem/journal/v3/n3/full/nchem.989.html>) doi:10.1038/nchem.989.

8. Linus Pauling (1901-1994) destacado químico, educador y activista de la paz. Realizó importantes contribuciones en química cuántica y biología molecular. Obtuvo el Premio Nobel de Química en 1954 pero además obtuvo el Premio Nobel de la Paz en 1962.

9. Marie Sklodowska Curie (1867-1934) fue la primera mujer en recibir un Premio Nobel y la primera persona en ser honrada con dos de estos Premios: uno en Física en 1903 y el otro en Química en 1911 por sus trabajos sobre radiactividad. Fue además la primera mujer en ser profesora en la Universidad de París.

10. Frederick Sanger (1918-) obtuvo el Premio Nobel de Química en dos oportunidades, el primero en 1958 por su trabajo sobre la estructura de proteínas, especialmente aquella de la insulina y el segundo en 1980 por sus contribuciones sobre la determinación de la secuencia de bases en los ácidos nucleicos.

http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1958/sanger-bio.html.

quien fue, no solo, la única persona en obtener en dos oportunidades el Premio Nobel en Química pero que además, sus técnicas de secuenciación de proteínas y ADN subyacen en toda la bioquímica moderna y la revolución genómica.

Los resultados de esta encuesta condujeron a un análisis más profundo, ya que la falta de una clara definición sobre estos nombres puede atribuirse a la naturaleza diversa de la química, como así también a un indicador de problemas con la imagen pública.

Comparativamente *Physics World* publicó un fascículo especial¹¹ en 1999 con motivo del nuevo milenio en el que presentó los datos de una encuesta en la cual Einstein¹² recibió la mayor cantidad de votos seguido por Newton y en tercer término Maxwell. En este caso los resultados fueron bastantes predecibles dada la notoriedad de sus aportes pero también a su elevada imagen pública fácilmente reconocible por sus fotos que lo estereotipan en la cultura popular como el genio loco con su despeinada cabellera blanca.

Deberíamos preguntarnos si en el caso que la química tuviera un ícono popular como Einstein contribuiría a mejorar un tanto la deslucida imagen pública de esta disciplina científica, en la cual la cultura popular presenta a hombres y mujeres con guardapolvos y gafas de laboratorios parados delante de envases de vidrio con formas estafalarias conteniendo líquidos altamente coloridos.

Los químicos están legítimamente afligidos por la quimiofobia del público en general. Una de estas manifestaciones es el estereotipo del químico, que al igual que Fausto, es capaz de vender su alma al diablo en su afanosa búsqueda de conocimiento o de la piedra filosofal.

Retrocediendo en el tiempo, podemos encontrar antecedentes de este tipo de percepción pública en textos tan antiguos como aquellos de la mitología griega, en los cuales, Dédalo es descrito como el genial arquitecto y artesano capaz de realizar creaciones fabulosas que posteriormente tendrán consecuencias funestas. Es así como primero construye el aparato que le permite a Pasífae engendrar al Minotauro. Posteriormente a pedido del rey Minos diseña y construye el famoso laberinto de Creta¹³ para encerrar al monstruo, de cuya existencia era en parte responsable. Finalmente, otro producto de su gran ingenio, las alas que construye para escapar, junto con Ícaro, de la prisión en la cual habían sido reclusos por Minos, termina con la vida de su propio hijo.

El pecado implícito es más que fáustico, ya que la traición no es solo personal, sino que dirigida hacia toda la humanidad, y Fritz Haber (Glickstein, 2005) es el paradigma al cual siempre se alude en la historia reciente.

Con el advenimiento de la revolución industrial, el uso dual del conocimiento científico adquirió una relevancia preponderante. Solo para citar uno de los mayores episodios de la Primera Guerra Mundial, la humanidad presenció por primera vez el uso de gases venenosos, realizado a gran escala.

Durante la Gran Guerra, cloro y fosgeno gaseosos fueron liberados en los campos de batalla y dispersados por el viento. Estos productos químicos fueron elaborados en grandes cantidades hacia finales del siglo XIX y utilizados como armas durante el período de la guerra de trincheras. El primer ataque a gran escala con cloro gaseoso ocurrió el 22 de abril de 1915 en Ieper,¹⁴ Bélgica, donde se liberaron aproximadamente 150 toneladas; esto marca tristemente el inicio de la guerra química moderna.

El empleo de diferentes tipos de armas químicas, entre ellos, gas mostaza, causó aproximadamente 90.000 muertes y más de 1.300.000 heridos durante la guerra. Aquellos que resultaron heridos en la guerra química sufrieron los efectos por el resto de sus vidas. Hacia el final de 1918, se habían utilizado 124.000 toneladas de agentes químicos.¹⁵

El 6 de febrero de 1918, el Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) hizo un enérgico llamamiento a los beligerantes de la Primera Guerra Mundial contra el uso de gases tóxicos. El CICR describía estos gases como "una bárbara innovación que la ciencia tiende a perfeccionar", se protestaba "con todo el vigor posible contra esa forma de hacer la guerra que sólo puede ser calificada de criminal y advertía que habría una lucha que superaría en ferocidad a los episodios más bárbaros de la Historia". Paradójicamente, el Premio Nobel de Química de 1918 le fue otorgado a Fritz Haber, químico industrial, quien preocupado por la producción mundial de alimentos desarrolló el proceso para convertir el nitrógeno atmosférico en amoníaco y subsecuentemente en fertilizante agrícola. Pero el ingenio de Haber no se limitó únicamente a la producción de alimentos; pensaba que la química servía también para resolver el punto muerto en las trincheras en la guerra en esos días. Convencido del potencial de una nueva forma de guerra, desempeñó un papel central en aquel primer ataque con gases en la historia militar moderna supervisando personalmente la libe-

11. <http://physicsworld.com/cws/article/print/851>.

12. El amplio consenso que tuvo la figura de Albert Einstein demuestra que su imagen no se vio afectada por la carta que en 1939, el físico le enviara al Presidente de EE.UU. Franklin D. Roosevelt. El objetivo de dicha carta fue alertar sobre la posibilidad que la Alemania Nazi estuviera desarrollando la bomba atómica y al mismo tiempo recomendar que el gobierno debía involucrarse directamente en la investigación con uranio y las reacciones en cadena. La carta se cree fue posiblemente el puntapié inicial para proyecto Manhattan, con el cual Estados Unidos ingresó en la carrera nuclear para desarrollar la bomba. Cabe mencionar que este acto fue su única participación en el tema y del cual se sintió profundamente arrepentido. En 1954 le mencionó a su viejo amigo Linus Pauling que el gran error de su vida fue firmar la carta enviada a Roosevelt.

13. Francis Bacon describe el mito de Dédalo y el laberinto como un trabajo perverso en su fin y destino, pero con respecto al arte e innovación, excelente y admirable.

14. Ieper puede también hallarse escrito como Ypres.

15. *Basic Facts on Chemical Disarmament (2004)*. Organización para la Prohibición de Armas Químicas, 5ª Edición La Haya.

ración de gases tóxicos en 1915.¹⁶ Sus convicciones lo impulsaron a declarar que: *“los gases venenosos eran la forma más sofisticada de matar”*. Una vez que dejó de ser tabú el empleo del veneno en la guerra, las dos partes en conflicto utilizaron gas mostaza, el cual provoca quemaduras en la piel y ceguera.

Sin lugar a dudas Haber puede ser considerado el padre de las armas químicas modernas, las cuales irónicamente tuvieron una gran incidencia en la muerte de millones de personas durante la Primera Guerra Mundial y en las cámaras de gases de Nazis durante la Segunda Guerra Mundial. Esas cámaras utilizaban entre otros Zyklon B, un agente tóxico que el mismo contribuyó a desarrollar inicialmente como pesticida (Katz, 2011).

Haber ha recibido fuertes críticas en su momento por sus contemporáneos y también en la actualidad por su participación en el desarrollo de las armas químicas. Los resultados de sus investigaciones muestran la ambigüedad de su actividad científica. Por un lado, a través del desarrollo de la síntesis de amoníaco (para fabricar explosivos) o procesos técnicos para la manufactura y uso de gases venenosos en guerra, pero por otra parte, sin su conocimiento y habilidad, la alimentación de buena parte de la población mundial no sería hoy posible sin el proceso Haber-Bosch.

No sorprende que luego de la batalla de Ieper, como contrapartida, los franceses recurrieran a los servicios de otro eminente químico de la época y también Premio Nobel de Química, François Auguste Victor Grignard,¹⁷ quien además de trabajar en la identificación de las armas químicas, desarrolló sistemas de detección de gas mostaza y se dedicó al estudio de la producción de fosgeno.

Otro ejemplo resonante es el caso de Louis Fieser, el hombre que inventó las bombas napalm.¹⁸ Fieser fue un distinguido profesor de química de la Universidad de Harvard que obtuvo importantes premios por sus contribuciones sobre las causas químicas del cáncer, fue pionero en desarrollar la producción de la vitamina K, de drogas para combatir la malaria y sobre la

química de esteroides que condujo a la síntesis de cortisona (Johnson, 1978). Pero a pesar de esta extensa labor en pro de la humanidad fue duramente criticado por haber inventado las bombas de napalm¹⁹ (Lenoir y cols., 2009). Su equipo de investigación fue quien superó a los grupos de Du Pont y Standard Oil en la competencia gubernamental para desarrollar una bomba incendiaria.²⁰ A diferencia de algunos de los físicos que contribuyeron a desarrollar la bomba atómica, Fieser no tuvo reparos morales sobre su protagonismo en la fabricación de una de las más temidas armas de guerra moderna.²¹ En su momento publicitó su invento (Fieser, 1964) y obtuvo una patente (Fieser, 1952) que puede haberle redituado una sustancial cantidad de dinero (Lenoir y cols., 2009).

Otro proyecto controversial en el cual estuvo involucrado fueron las bombas murciélago posteriormente denominado Proyecto rayo-X. Este proyecto consistía en liberar sobre ciudades japonesas que tuvieran un amplio y disperso parque industrial un gran número de murciélagos a los cuales se les adosaba pequeñas cargas incendiarias con un fulminante de tiempo, con ello se buscaba iniciar múltiples incendios. El plan se sustentaba en cuatro factores biológicos: (a) los murciélagos se reproducen en grandes números; (b) pueden cargar más de su propio peso en vuelo; (c) hibernan y mientras duermen no requieren de alimentación y mantenimiento; (d) vuelan en la oscuridad y buscan sitios apartados (generalmente lugares inaccesibles en edificios) para esconderse de la luz solar.

Con ese fin Fieser diseñó dos aparatos incendiarios de 17 y 28 gramos para ser transportados por los murciélagos y se construyeron jaulas especiales para transportar y arrojar en paracaídas a los animales de forma de liberarlos a una altura adecuada. Cada avión bombardero B-24 podría llevar 104.000 murciélagos. Posteriormente durante una serie de ensayos realizados, la liberación accidental de los murciélagos provocó el incendio de una base aérea en Nuevo Méjico y aunque luego del incidente se continuaron las pruebas, el proyecto fue finalmente cancelado en 1944.

16. Clara Immerwahr, esposa de Haber y también química, por razones humanitarias disintió profundamente con el trabajo que desarrollaba su esposo y se suicidó en la mañana del 15 de mayo de 1915. Si bien las razones de su deceso no son del todo claras, es posible imaginar que el motivo fue la desazón provocada al tomar conocimiento que Haber había supervisado personalmente la liberación de gases tóxicos en la batalla de Ieper. Eso no detuvo a Haber para que esa misma mañana partiera hacia el frente oriental para controlar la liberación de gases contra los rusos. En 1946, su hijo Hermann también se suicidó por la vergüenza que sentía por la labor realizada por su padre.

17. François Auguste Victor Grignard (1871-1935) recibió el Premio Nobel de Química en 1912 por sus contribuciones en el desarrollo de compuestos organomagnésicos y la reacción que hoy lleva su nombre.

18. Las bombas incendiarias fueron utilizadas como un arma explosiva de gran efectividad en la Segunda Guerra Mundial y Vietnam. Las bombas más grandes eran llenadas con pequeñas bombas incendiarias (de racimo) y diseñadas para abrirse a determinada altitud esparciéndolas en áreas de gran extensión. Una carga explosiva era la iniciadora de la acción en cadena. El empleo de fuego como arma de guerra tiene una larga historia, antiguamente se hacía alusión al “fuego griego”, el cual era generado por un elemento pegajoso que se cree estaba constituido a base de petróleo.

19. Napalm es el nombre dado a un número de líquidos inflamables utilizados en guerra como combustible en gel. La palabra es una contracción morfológica que proviene de fusionar los nombres de los ingredientes que erróneamente fueron considerados en un principio originales: sales de aluminio coprecipitadas de ácido nafténico y ácido palmítico. El frasco de este último componente se hallaba mal rotulado y más tarde resultó ser ácido láurico.

20. Las imágenes capturadas por Nick Ut, reportero de Associates Press, del bombardeo realizado el 8 de junio de 1972 con bombas napalm en las afueras del poblado de Trang Bang, se convirtieron en un icono de la barbarie y sufrimiento humano en la guerra de Vietnam. En una de ellas se observa a la pequeña niña Kim Phuc huyendo con desesperación y desnuda luego que una bomba cayera sobre su casa. La niña sobrevivió a las quemaduras pero su pequeño hermano, falleció a los pocos días. (<http://digitaljournalist.org/issue0008/ng2.htm>).

21. La revista Times Magazine del 5 de enero de 1968 transcribió declaraciones de Fieser con respecto al invento de la napalm: “Yo no tengo el derecho de juzgar la moralidad de la napalm simplemente por haberla inventado” luego afirmó que “un investigador no puede ser responsable por la manera en que otros utilicen sus invenciones”, y agregó “Uno no sabe que es lo que viene, yo estaba trabajando en un problema técnico que era considerado apremiante y lo volvería a hacer nuevamente en defensa de mi país”. (<http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,712094,00.html>).

Cabe destacar que si bien estos son ejemplos de la historia reciente sobre el uso dual de la química, el plan militar no era nuevo. Leonardo da Vinci ya lo había mencionado en su carta de 1482 (*Códice Atlanticus*) dirigida a Ludovico el Moro, en la cual le ofrecía sus servicios haciendo gala de sus dotes militares.

“se puede tirar yeso, polvo de sulfuro de arsénico y verdín molido entre los barcos enemigos mediante pequeñas catapultas, y todos los que inhalen el polvo resultarán asfixiados, pero asegúrate de que el viento no mande el polvo en tu contra...”

En una revisión histórica no debe asombrar hallar diferentes ejemplos del empleo de agentes de guerra químicos y biológicos. En el siglo X a.C. escritos chinos contienen recetas para producir humos tóxicos e irritantes para usarlos durante tiempos de guerra. En el siglo VI a.C. los asirios utilizaron parásitos de centeno dañinos a la salud para envenenar los pozos de agua de sus enemigos. En el siglo V a.C. Solón de Atenas empleó raíces de eléboro, una hierba con efecto purgante, para envenenar el acueducto del río Pleistrus durante el sitio de Krissa. Posteriormente en el año 423 a.C. durante la guerra del Peloponeso los espartanos derrotan a las fuerzas atenienses sitiadas utilizando el humo producido por la quema de azufre, resina, caliza, nitrato de potasio y alquitrán.

En los años 198-199 a.C. en Hatra, capital del Imperio Parto (cerca de la actual ciudad de Mosul, en el norte de Iraq), los defensores de esta antigua ciudad fortificada utilizaron dos efectivas armas químicas y bioquímicas para repeler el asedio de las Legiones Romanas del Emperador Lucio Septimio Severo. Primero volcaron nafta encendida para quemar a los soldados y sus máquinas de asedio, posteriormente cuando los soldados intentaron escalar las murallas, les arrojaron vasijas de arcillas llenas de escorpiones ponzoñosos.

En el año 1346 de nuestra era, durante el sitio de Kaffa, el ejército Tártaro arrojó cuerpos infectados sobre las murallas provocando la irrupción de la peste y la rendición de las fuerzas que defendían la ciudad. Es probable que la peste se haya extendido por Europa a través de aquellos que huían de allí. Ya en el Nuevo Continente Francisco Pizarro en 1530 hace uso de las armas biológicas para conquistar el Imperio Inca, al ofrecerles a los nativos ropas contaminadas con viruela.

Los pueblos originarios de América del Sur, principalmente aquellos que habitaban la cuenca del Amazonas y los llanos del Orinoco históricamente han utilizado “*curare*”²² una mezcla de extractos obtenidos de diferentes plantas para envenenar las puntas de sus flechas y cerbatanas. El *curare* es un poderoso veneno que actúa paralizando los músculos voluntarios y provocando la asfixia de sus presas de caza o enemigos de guerra. En 1510 Juan De la Cosa, ex-geógrafo de Colón, murió a causa de un dardo cuya punta estaba untada con pasta de *curare*, disparado por una cerbatana.

En 1759, durante la Guerra Franco-Británica en las colonias, los soldados británicos también les ofrecieron a los nativos americanos, que formaban parte de las defensas francesas, frazadas contaminadas con viruela provocando el exterminio de tribus enteras.

En 1672 durante el sitio de la ciudad de Groningen, se emplearon explosivos incendiarios, algunos de los cuales incluían en su composición belladona, con el propósito de generar vapores tóxicos. Tres años más tarde, franceses y alemanes suscribieron el Acuerdo de Estrasburgo, en el cual se prohibía el uso de elementos tóxicos. A este acuerdo le sucedieron la Declaración de San Petersburgo en 1868, en la cual se afirmaba: “el empleo de armas, que agravarían inútilmente los sufrimientos de los hombres (...), o haría su muerte inevitable; (...) sería contrario a las leyes de la humanidad” y posteriormente las Conferencias de Paz de La Haya de 1899 y 1907 en las cuales se proscribía el uso de armas envenenadas y gases asfixiantes o deletéreos.

El 17 de junio de 1925, 108 naciones firmaron el protocolo de Ginebra. Este fue el primer tratado que extendía la prohibición a las armas químicas y biológicas. Sin embargo, el tratado proscribía el uso pero no la producción y almacenamiento de este tipo de armas de destrucción masiva. En 1936, en el transcurso de estudios para el desarrollo de nuevos pesticidas, Gerhard Schraeder descubre accidentalmente el primer agente nervioso denominado Tabún y dos años más tarde sintetiza Sarín.

Durante la segunda guerra mundial, los japoneses operaron un laboratorio de investigaciones secretas de armas químicas y biológicas en Manchuria y llevaron a cabo experimentos en prisioneros chinos y de otras nacionalidades. En uno de ellos expusieron a 3000 víctimas al ántrax y a otros agentes biológicos. Las víctimas fueron estudiadas en el desarrollo de la enfermedad y se les realizaron las autopsias. El ántrax o carbunco es una de las grandes enfermedades de la antigüedad. Se cree que fueron epidemias de carbunco en animales y humanos las causas de la quinta y sexta plagas mencionadas en el libro del Éxodo 9:9 de la Biblia. El carbunco también fue descrito por los autores clásicos de la Grecia y Roma antigua, Homero, Hipócrates, Ovidio, Galeno, Virgilio. Epidemias devastadoras fueron registradas por muchos escritores de la Edad Media y Moderna. En los siglos XVIII y XIX hubo grandes epidemias que se extendieron como una plaga por todo el sur de Europa. En 1876, los estudios de Robert Koch (Premio Nobel de Medicina en 1905) con *Bacillus anthracis* permitieron establecer firmemente, por primera vez en la historia, el origen microbiano de la enfermedad. En 1881 Pasteur fue el primero en desarrollar una vacuna efectiva contra la enfermedad infecciosa de *B. anthracis*.

22. El término *curare* se aplica genéricamente a diversos venenos de flechas de América del Sur. Algunas de las plantas de las cuales se obtienen los extractos son del género *Strychnos* y *Chondrodendron*. Uno de los primeros alcaloides aislados de estos extractos y ser utilizados en clínica médica ha sido la D-tubocurarina. En 1917, el Servicio Secreto inglés evitó la consumación de un atentado contra el primer ministro David Lloyd George. Los conspiradores iban a eliminar al mandatario lanzándole dardos impregnados con *curare*.

En 1942 los EE.UU. formaron su Servicio de Investigaciones de Guerra. El ántrax fue inicialmente investigado para su uso como arma y suficientes cantidades fueron acumuladas en junio de 1944 para permitir represalias si los alemanes decidían ser los primeros en usar agentes biológicos. Los ingleses probaron bombas de ántrax en la isla de Gruinard, situada hacia el noroeste de la costa de Escocia, entre 1942 y 1943; posteriormente prepararon y acumularon importantes cantidades de ántrax. En 1957, el gobierno británico decidió terminar con sus capacidades ofensivas de guerra biológica y destruir sus depósitos de este tipo de armas. Los EE.UU. terminaron con su programa de armas biológicas con microorganismos en 1969 y de toxinas en 1970. Difícilmente Koch y Pasteur podrían haber previsto las aplicaciones de sus estudios científicos.

El uso de veneno en la guerra, que sólo fue codificado en el Protocolo de 1925, era ya repudiado 2000 años antes y se basaba en las normas de la guerra de diferentes órdenes morales y culturales. No obstante, a pesar de existir una aversión hacia el uso de tácticas crueles y desleales como así también al empleo de armas tóxicas, existen evidencias que las actitudes hacia ellas en ciertos casos eran ambivalentes. Los romanos acostumbraban a respetar la prohibición del empleo de las armas envenenadas, sin embargo en el año 129 a.C. luego que el general romano Manius Aquilius finalizara una larga guerra en Asia envenenando los pozos de agua de varias ciudades rebeldes, el historiador Lucius Florus declaró esa victoria como deshonrosa. En India, en el año 50 a.C. se había prohibido el uso de estas armas en virtud de las Leyes de Manú (Fleming, 2005) aplicables en la guerra. Como contrapartida, el Arthashastra, un tratado de guerra recopilado por el Rey Chandragupta (siglo 4º a.C.), daba cientos de recetas para armas tóxicas, pero también aconsejaba a los comandantes militares a respetar la vida de los no-combatientes (Mayor, 2003).

Unos mil años después, las normas sobre la conducción de la guerra que los sarracenos extrajeron del Corán prohibían especialmente el envenenamiento. Pero estos códigos ancestrales no impidieron el uso de gas mostaza y agentes nerviosos como tabún en la Guerra Irán-Iraq entre 1980-1988. El mismo año en que finalizó la guerra, la aldea iraquí de Halabja sufrió un ataque con agentes químicos (gas mostaza, sarín, tabún y VX) durante el cual perecieron aproximadamente 5.000 de sus 50.000 pobladores civiles kurdos.

En la década de 1990 un nuevo episodio sorprendió a la humanidad, miembros del culto Aum Shinrikyo adquirieron la capacidad para producir agentes nerviosos dando paso a una nueva era de terrorismo químico. Es

así como, el 20 de marzo de 1995, miembros del culto Aum liberan una solución diluida de Sarín en el subterráneo de Tokio, provocando la muerte de 12 personas, la hospitalización de cientos de transeúntes y esparciendo un sentimiento de terror en todo el mundo.

Tanto estas acciones terroristas como la obra de Fritz Haber nos confrontan con una realidad en el progreso de la ciencia y el uso dual que puede dársele a los nuevos conocimientos adquiridos. Casi todos los avances más importantes, independientemente del ámbito en que se hayan logrado, han sido o pueden ser utilizados de manera dual. A comienzos del siglo XXI, debemos considerar cuál será el futuro de la humanidad si los más provechosos adelantos en las ciencias que actualmente comprobamos, son utilizados en detrimento del ser humano.²³

La condena pública, las normas éticas, los códigos de conducta, las medidas preventivas jurídicas y prácticas, son los medios a que ha recurrido la humanidad en el transcurso de generaciones y de milenios para evitar el mal uso del conocimiento alcanzado a través de la investigación científica.²⁴

Garnier (Garnier, 2005) hace una diferencia entre investigación básica, investigación aplicada y los usos de la investigación. Con ello, define el objetivo de la investigación básica como el desarrollo de conocimiento denominado conocimiento científico para diferenciarlo del conocimiento filosófico y religioso. El conocimiento científico se limita a medir, comprender y reproducir fenómenos. Ello implica un código de conducta o código de conducta científica bien establecido tiempo atrás: hacer público los resultados y datos que fundamentan los mismos, bajo la forma de una publicación revisada/evaluada por pares especialistas. El sistema de evaluación por pares no es perfecto pero es el mejor que conocemos para el avance de la ciencia. Por lo tanto, los resultados de la investigación básica, por definición, están disponibles para todos los científicos y público en general, cualquiera sea su nacionalidad o régimen político al que pertenezcan. La libertad de comunicación es un aspecto esencial en el desarrollo del conocimiento. Los científicos reconocen universalmente a la ciencia como una aventura propia de toda la humanidad que va más allá del marco de las naciones, en las cuales cada científico tiene su participación.

La investigación básica es un proceso a largo plazo, la motivación inicial de un científico en investigación básica es entender más qué aplicar. Esta es la razón por la cual el tiempo que transcurre entre un descubrimiento y su aplicación no puede predecirse.

23. Jacques Forster, Comité Internacional de la Cruz Roja, Seminario internacional sobre la amenaza del empleo de armas químicas y biológicas con motivo del octogésimo aniversario del Protocolo de Ginebra de 1925. (<http://www.icrc.org/web/spa/sitespa0.nsf/html/gas-protocol-100605>).

24. Como un vago rayo de esperanza – que fue la última entidad en emerger de la caja de las desgracias de Pandora – está reflejado nuevamente en la mitología griega el poder destructor de las armas químicas, cuando Hércules inventa las flechas envenenadas. Luego de matar a Hydra, la serpiente policéfala, embebe sus flechas en el veneno del monstruo y a partir de ese momento su carcaj poseía un suministro perpetuo de flechas envenenadas. Cuando Hércules muere – irónicamente por el mismo veneno – le pasa el carcaj a un joven guerrero llamado Philoctetes. Philoctetes sufre también la herida de una de esas flechas, pero usa esas flechas para obtener la victoria para los griegos en la guerra de Troya. Aun así, cuando Philoctetes llega al final de su vida, decide no pasar su carcaj a las próximas generaciones. En cambio, entrega las armas a Apolo, el dios de la medicina y las curaciones, depositándolas en su templo. De esta forma el mito ofrece un modelo para terminar con el mortal ciclo de las armas de destrucción masiva (texto transcrito de la referencia Fleming, 2005).

Sin embargo, para Garnier, los científicos no son los únicos actores en la aplicación del conocimiento científico: hay otros miembros de la sociedad y más importante aun, agencias gubernamentales financiando la investigación y el desarrollo.²⁵ En países democráticos, los ciudadanos tienen el derecho y la responsabilidad sobre la aplicación del conocimiento científico. Por lo tanto propone que, es mejor hablar de un código de buena conducta de las aplicaciones de la ciencia, que concierne a todos los ciudadanos incluyendo a los gobiernos en sí mismos, antes que buscar un código específico para los científicos como si ellos fueran los únicos a quienes les compete el uso dual del conocimiento científico.

Los científicos, no obstante, tienen obligaciones con toda la sociedad. Estas obligaciones son más evidentes cuando la investigación científica se cruza directamente con preocupaciones sociales más amplias, como ser la protección del medio ambiente, el tratamiento de los animales de laboratorio o el consentimiento informado sobre temas de experimentación humana. Estas obligaciones son también comunes en investigación aplicada, en la cual los productos de la investigación científica tienen un impacto inmediato o directo sobre la vida de las personas.

Los científicos que realizan investigación básica también deben ser conscientes que su trabajo podrá tener en última instancia un gran impacto sobre la sociedad. Descubrimientos que cambian al mundo pueden surgir de áreas de la ciencia relativamente desconocidas. Es por ello que la comunidad científica debe reconocer el potencial de dichos descubrimientos y estar preparada para afrontar las preguntas e incógnitas que de ellos surjan.²⁶

Pero independientemente del código de conducta o código ético al cual adhiramos, es evidente la preocupación actual para que la aplicación del conocimiento científico sea en beneficio de la humanidad toda y que su difusión sea universal para que los resultados que éste genere lleguen equitativamente a todos los seres humanos y sirva para preservar nuestro planeta para las generaciones futuras. Estas aspiraciones han sido plasmadas en la Declaración sobre la Ciencia y el Uso del Conocimiento Científico, también conocida como Declaración de Budapest (1999) en ocasión de realizarse la Conferencia Mundial sobre la Ciencia organizada por la UNESCO conjuntamente con el Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU). El primer párrafo de su preámbulo expresa:

“Todos vivimos en el mismo planeta y formamos parte de la biosfera. Reconocemos que nos encontramos en una situación de creciente interdependencia y que nuestro futuro está íntimamente ligado a la preservación de los sistemas de sustentación de la vida en el planeta y de la supervivencia de todas las formas de vida. Las naciones y los científicos del mundo deben reconocer la apremiante necesidad de utilizar responsablemente el conocimiento de todos los campos de la ciencia para satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas sin emplearlo de manera incorrecta. Buscamos la colaboración activa en todos los campos del quehacer científico, esto es, las ciencias naturales tales como las ciencias físicas, biológicas y de la tierra, las ciencias biomédicas y de la ingeniería y las ciencias sociales y humanas. Mientras que el Marco General de Acción enfatiza las expectativas y el dinamismo de las ciencias naturales, pero también sus potenciales efectos adversos y la necesidad de comprender sus repercusiones y relaciones con la sociedad, el compromiso con la ciencia, así como los desafíos y responsabilidades recogidas en esta Declaración corresponden a todos los campos de la ciencia. Todas las culturas pueden aportar un conocimiento científico de valor universal. Las ciencias deben estar al servicio del conjunto de la humanidad y contribuir a dotar a todas las personas de una comprensión más profunda de la naturaleza y la sociedad, una mejor calidad de vida y un medio ambiente sustentable y saludable para las generaciones presentes y futuras.”

Preámbulo de la Declaración sobre la ciencia y el uso del conocimiento científico (Declaración de Budapest, 1999, Unesco – ICSU International Council for Science) (http://www.unesco.org/science/wcs/esp/declaracion_s.htm#preambulo).

25. Un infame y escandaloso ejemplo fue el caso de la Unidad 731 del ejército imperial japonés que realizó un sin número experimentos con armas químicas y biológicas en seres humanos en Manchuria durante la guerra sino-japonesa. En esos años de terror miles de chinos, rusos y otros prisioneros murieron a causa de los terribles experimentos llevados a cabo por Shiro Ishii y su grupo. Al final de la Segunda Guerra Mundial, el gobierno de EE. UU. a través del general MacArthur les concedió inmunidad a todos los miembros de dicha unidad por los crímenes de lesa humanidad cometidos a cambio de toda la información científica que habían recopilado durante ese período.

26. Artículo Editorial (1989). *On Being a Scientist*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 86, 9058. (www.pnas.org/content/86/23/9053.full.pdf).

Referencias Bibliográficas

Clark, R. W. (1977). Thomas Alva Edison: El Hombre que inventó el futuro. México D.F., EDAMEX.

Fieser, L. F. (1952). Incendiary gels. US Patent 2.606.107.

Fieser, L. F. (1964). The Scientific Method, A Personal Account of Unusual Projects in War and Peace. New York, Reinhold.

Fleming, S. (2005). Biowar in Ancient Times. Expedition Magazine, 47, 44 (www.penn.museum/documents/publications/expedition/PDFs/47-1/Fleming.pdf).

Garnier, J. (2005). Some comments on scientists and more generally on science. IUPAB News N° 51 December, 5. (www.iupab.org/wp/wp-content/uploads/2008/04/news-200512.pdf).

Glickstein, N. (2005). Putting a Human Face on Equilibrium, J. Chem. Educ., 82, 391.

Goldberg, S.; Powers, T (1992). Reopen Nazi Bomb Debate, The Bulletin of the Atomic Scientists, 48, 32. (<http://books.google.com/books?id=pAwwAAAAMBAJ&pg=PA32#v=onepage&q&f=true>)

Goliszek, A. (2003) In the name of science: A history of secret programs, medical research, and human experimentation. New York, St Martin Press.

Greco, P (1995). Hiroshima. La fisica conosce il peccato. Roma, Editori Riuniri.

Johnson, W. S.(1978). Organic Synthesis, 58, xiii-xvi (<http://www.orgsyn.org/obits/fieser.pdf>).

Katz, M. (2011) La Química y sus contextos. El caso Fritz Haber. Capítulo en este libro

Lenoir, D.; Tidwell, T. T. (2009). Louis Fieser: An Organic Chemist in Peace and War. Eur. J. Org. Chem. 481.

Mayor, A. (2003). Greek Fire, Poison Arrow and Scorpion Bombs: Biological and Chemical warfare in Ancient World. Woodstock, Overlook.

Shulgin A. T.; Nichols, D. E. (1978) The Psychopharmacology of Hallucinogens. Eds: Willette, R. E.; Stillman, R. J. New York, Pergamon Press. pp 74-83.

Vesentini, E. (2004) Science and individual responsibility. Colloque "Science et conscience européennes" Collège de France, 25-27 noviembre 2004.

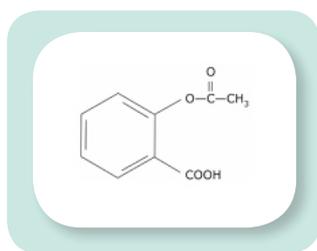
32

QUÍMICA PARA COMPRENDER AL MUNDO.
DOS EJEMPLOS AMBIENTALES**Dr. Luis Federico Sala**

Profesor Titular, Área Química General. Departamento de Químico Física. Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, UNR. Investigador Principal Conicet Instituto IQUIR.
Email: sala@iquir-conicet.gov.ar

Vivimos en un mundo de sustancias químicas, muchas son de origen natural y otras sintéticas. Las sustancias químicas están presentes en los alimentos, medicinas, vitaminas, pinturas, pegamentos, productos de limpieza, materiales de construcción, automóviles, equipos electrónicos, equipos deportivos, fibras naturales, fibras sintéticas, entre otros.

Las sustancias químicas difieren entre sí: *los compuestos químicos que se emplean en los fertilizantes difieren mucho de los que se utilizan en los herbicidas. La importancia de cada sustancia radica en la singularidad de sus propiedades químicas.* Los alimentos contienen muchos tipos de sustancias químicas, algunas de ellas suministran materia y de ellas se deriva el crecimiento y la energía que necesitan los organismos vivos; otras sustancias pueden ser tóxicas. Todos los fármacos, tanto los que se venden solamente bajo receta médica, como los de venta libre, contienen sustancias que sufren reacciones químicas en el interior del cuerpo, lo cual implica una situación de *riesgo-beneficio*; es decir, sus efectos benéficos van acompañados de efectos colaterales, por ello se deberá manifestar un equilibrio desplazado hacia los *beneficios* para la mayoría de las personas, y deben valorarse y comunicarse muy bien los riesgos de los medicamentos. Por ejemplo, la *aspirina*, es una sustancia química que mitiga la fiebre y el dolor, pero también puede agravar una úlcera o producir gastritis.



Fórmula química de la aspirina.
Su nombre tradicional es **ácido acetilsalicílico**.

Algunas sustancias químicas salvan vidas; otras pueden ser letales, lo cual nos lleva a la siguiente conclusión: *en potencia muchas sustancias son a la vez nocivas y útiles.* Un investigador de renombre internacional, Ralph Pearson (Pearson, 2005), lo denominó *la paradoja de la química*. Un ejemplo, que nos permite

tener una cabal idea de lo dicho anteriormente, radica en el elemento químico selenio (Se)¹. Cuando la presencia de ese elemento es mínima, resulta esencial para la vida (se dice que el elemento se encuentra a *nivel de traza o vestigio*), ya que actúa en los organismos superiores ayudando a eliminar los radicales libres² que conducen al *cáncer*. Por otro lado, si el elemento selenio está presente en concentraciones elevadas en el organismo, es sumamente tóxico. Las vacas que pastorean en campos cuyas hierbas son ricas en selenio desarrollan, al cabo de un tiempo, una enfermedad nerviosa, que se conoce como vértigo ciego, y mueren a causa de ella. Llegamos a la conclusión que lo que determina y marca la diferencia con respecto a una sustancia química *en cuanto a riesgo y beneficio*, es cómo se la utiliza, o la dosis en que se halla presente en el medio que nos rodea, o la cantidad que puede entrar en el metabolismo de los organismos vivos.

Por ello, decimos que necesitamos saber de Química para comprender al mundo en que vivimos.

Las sustancias químicas están en todas partes. Sin ellas, la vida misma sería imposible. Estemos preparados o no, todos somos químicos en potencia, porque trabajamos diariamente con sustancias químicas, por ejemplo, tanto en nuestra higiene, como en la selección y preparación de nuestros alimentos.

Los procesos químicos

Los procesos químicos simplemente están ocurriendo todo el tiempo en nuestro mundo. Por ejemplo, cuando clavamos un vara del metal hierro³ para que sirva de sostén a una planta que cultivamos en nuestro jardín, al cabo de un tiempo notamos que la vara ha adquirido un color rojizo y que al tocarla se desprende de ella un material rojo y poroso, que suele denominárselo en la jerga común: *herrumbre*. La *herrumbre* no es más que el resultado de la reacción en la superficie del metal entre sus átomos de hierro con el oxígeno⁴ del aire en un ambiente con humedad⁵, en un proceso conocido como *corrosión*. Entender por qué ocurre la corrosión, cuál es su mecanismo, la rapidez con que ocurre, las condiciones que la favorecen o la

1. Su símbolo químico es Se.

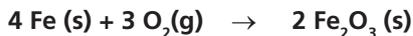
2. Radicales libres son sustancias químicas que presentan electrones desapareados y son causantes de la degeneración celular.

3. Símbolo del elemento hierro: Fe.

4. Símbolo del elemento oxígeno: O; símbolo de la sustancia gaseosa oxígeno: O₂.

5. Símbolo de la sustancia agua: H₂O.

detienen, requiere una gran cantidad de conocimientos químicos; sin embargo, la representación entre el estado inicial y final, de reactivos y productos, se puede representar en forma sencilla, mediante ecuaciones químicas balanceadas:



Un químico lee la ecuación anterior diciendo: cuatro moles del metal hierro (sólido) reaccionan en presencia de tres moles de oxígeno (un no metal gaseoso), para dar dos moles de óxido férrico sólido. Reactivos y productos tienen propiedades totalmente diferentes; el proceso necesita la presencia de agua, aunque el agua no está presente en el balance de reactivos y productos; la unidad "mol" tiene significado sobre las cantidades involucradas en esta reacción, ya sean estas cantidades el número de partículas involucradas, o las masas que deben pesarse para que no sobren ni falten reactivos y "todo" se convierta en productos.

Así, ejemplificado con el fenómeno de la *corrosión*, vemos que puede expresarse a través de una ecuación, pero queremos marcar que es un proceso muy complejo. Los químicos buceamos en esos problemas complejos para desentrañar los misterios de los procesos de la Naturaleza. Podemos tomar otro ejemplo, rescatado de procesos en los organismos vivos:

Las plantas (organismos autótrofos) producen compuestos vitales, como por ejemplo hidratos de carbono, a partir de materias primas inorgánicas como el dióxido de carbono atmosférico que captan sus hojas, y el agua que toman por las raíces, y una maravillosa maquinaria de enzimas que aprovechan la luz solar gracias al pigmento *clorofila*. Es el proceso denominado fotosíntesis, que requirió gran parte del siglo XX para poder ser comprendido mediante la investigación de numerosos científicos.

La ecuación química sencilla que resume la formación, por ejemplo, de un mol de glucosa⁶ es:

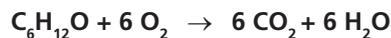


Los químicos decimos que el carbono está *oxidado* en el compuesto gaseoso dióxido de carbono (CO₂) y que está *reducido*, cuando forma parte de la glucosa. Oxidación y reducción son procesos químicos inversos (un compuesto químico se oxida cuando en una reacción aumenta la proporción de oxígenos en su estructura final, o si pierde electrones; y, un compuesto químico se reduce cuando en una reacción aumenta la proporción de hidrógenos en su estructura final, o si logra una ganancia de electrones).

La glucosa tiene varias funciones en las células vegetales, fundamentalmente de sostén, pues es la unidad repetitiva para la formación del polímero celulosa.

Pero nos interesa señalar aquí que los organismos heterótrofos no pueden sintetizar glucosa de esta forma y, por lo tanto, la deben ingerir en los alimentos⁷. Las células animales, "queman" glucosa, para obtener energía, mediante complejos sistemas enzimáticos que oxidan glucosa, degradándola a moléculas más pequeñas, y logrando captar la energía liberada con formación de otras moléculas que la pueden "conservar", como el ATP (adenosín-tri fosfato). Para oxidar glucosa, los organismos necesitan reducir otro compuesto; y es nada menos que el oxígeno presente en la atmósfera. Esta parte del metabolismo es la denominada *respiración celular* y que ocurre en las mitocondrias de las células.

La fórmula química de ecuación balanceada que señala cómo la glucosa puede ser nuevamente oxidada a CO₂ es:⁸



Conocer los innumerables detalles y factores que intervienen han requerido la investigación de cientos de científicos. La comprensión de este fenómeno del área Química Biológica ha demandado gran parte del siglo XX, aunque sus preguntas más generales ya intrigaban a los hombres desde muchos siglos anteriores.

La Química y la Sociedad

La *Química* influye en la vida de todos en todo momento y sus procesos pueden ser localizados o afectar a todo el ambiente planetario. Cuando se quema un combustible de origen fósil, ocurren reacciones químicas que liberan energía capaz de suministrar potencia para el transporte, generación de electricidad para nuestros hogares y negocios, etc. Sin embargo... algunos de los productos secundarios de la combustión de grandes cantidades de estas sustancias están dañando nuestro ambiente planetario, dando lugar a lo que se conoce como *efecto invernadero* que produce profundas modificaciones en el clima. Los químicos podemos ayudar a la sociedad para trabajar sobre esta problemática, como también para superar otros procesos de alteración del ambiente mediante la preservación de recursos hídricos; el logro de mejores cosechas con el empleo de fertilizantes y pesticidas que presenten el menor riesgo posible para los organismos vivos, etc.

La comprensión química de un proceso ambiental: remediación para el caso del Lago Nyos, en Camerún.

En el continente Africano, se encuentran diferentes lagos, dos de ellos, se los conoce como los *Lagos asesinos de Camerún*.

6. La fórmula molecular de la sustancia D-glucosa es: C₆H₁₂O₆. Se trata de un monosacárido cuya molécula está formada por seis átomos de carbono, doce átomos de hidrógeno y seis átomos de oxígenos. Como podría escribirse C₆(H₂O)₆ a estos compuestos de los llama hidratos de carbono. Su estructura química es un ensamble muy específico de uniones entre estos átomos. Con esa misma fórmula molecular podemos tener más de 40 compuestos diferentes, cada uno con su nombre y sus propiedades particulares. No todos esos hidratos de carbono son moléculas que existen en los organismos vivos, pero los químicos los pueden sintetizar en el laboratorio.

7. Algunas células animales pueden sintetizar glucosa, pero nunca a partir de compuestos inorgánicos, como lo hacen las plantas fotosintetizadoras.

8. Esta ecuación es inversa a la anterior, de síntesis de glucosa... ¡Sin embargo, los mecanismos biológicos que hacen posible cada proceso son totalmente diferentes!



Figura 1: Lago Nyos en Camerun. África

Dos de dichos lagos: el Lago Nyos y el Lago Monoum que son lagos de cráteres, formados cuando los cráteres volcánicos fríos se llenaron de agua, provocaron una inmensa tragedia natural en el año 1986. El día jueves 21 de agosto de 1986, el Lago Nyos provocó en un instante, la muerte de 1700 personas y la de aproximadamente 4000 animales. Una enorme burbuja que contenía el compuesto gaseoso dióxido de carbono (CO_2), se elevó al aire desde el fondo del lago alcanzando una altura de 79 m y permaneció allí. Al explotar la burbuja, el dióxido de carbono liberado se desplazó a una velocidad de 72,4 km/h, y llegó a pueblos que se encontraban a una distancia de 19 km. El lago liberó aproximadamente un kilómetro cúbico de dióxido de carbono gaseoso, el cual desplazó el oxígeno necesario para la vida y provocó asfixia instantánea en las personas y animales. ¿Cómo puede una persona que tiene conocimientos de química, explicar lo ocurrido? El fondo del lago hay un basamento constituido por carbonato de calcio (CaCO_3) conocido comúnmente como *pedra caliza*, que cuando se ve sometido a temperaturas superiores a los 800°C se descompone para dar lugar a dióxido de carbono gaseoso y óxido de calcio sólido (CaO), conocido bajo el nombre vulgar de *cal viva*. Este último reacciona con el agua para dar lugar a hidróxido de calcio [$\text{Ca(OH)}_2(\text{s})$] al que se lo conoce con la denominación vulgar de *cal apagada*.

La ecuación balanceada es:



El dióxido de carbono puede disolverse en agua, pero lo hace en forma muy limitada⁹.

La solubilidad del dióxido de carbono en agua disminuye con el aumento de la temperatura, por lo cual se explica el desprendimiento de la enorme burbuja de CO_2 (g). ¿Qué provocó el aumento de la temperatura en el fondo del lago? Los movimientos sísmicos y la continua elevación del magma candente de la tierra. No nos olvidemos que nuestro Planeta Tierra está "vivo".

¿Cómo pudo provocar el dióxido de carbono la muerte de tantas personas? Los seres vivos de la biosfera estamos rodeados por la atmósfera, estamos inmersos en un océano gaseoso; los gases tienen diferentes valores de densidad. Los podemos clasificar en gases menos densos como el oxígeno y el nitrógeno, cuyas densidades están por debajo de 1,2 g/L, y los más densos (densidad superior a 1,2 g/L). Entre estos últimos se encuentra el dióxido de carbono.¹⁰ Cuando la inmensa burbuja explotó, el dióxido de carbono liberado, se desplazó a gran velocidad hacia abajo, hasta el nivel del suelo y desplazó al oxígeno gaseoso necesario para la respiración, por lo tanto las personas y animales murieron por asfixia instantánea.

¿Como se remedió esta situación?

A principios de 2001, los científicos introdujeron en el lago un tubo de aproximadamente 200 m de alto. En la actualidad, la presión del dióxido de carbono que escapa da lugar a un chorro de agua que se eleva hasta 50 m en el aire. En el transcurso del año se liberan aproximadamente 20.000 L de gas.

Por ello, es necesaria una concientización en la sociedad con respecto a la comprensión que la Química nos brinda sobre fenómenos naturales. Hoy muchos libros de texto a nivel de enseñanza media, terciaria y universitaria, no sólo introducen los fundamentos de la Química sino que narran los hechos sociales y la importancia para la sociedad en el devenir del descubrimiento de dichos fundamentos a través de la Historia de la Química (Petrucci et al., 2003, Kotz et al., 2006).



Figura 2: Adaptación realizada en el Lago Nyos, para lograr la liberación de CO_2 (g) producido en forma natural en el fondo del lago.

La química de los metales involucrada en la biología: Química Bioinorgánica.

La gran actividad fabril desarrollada a partir de lo que se conoció como *Revolución Industrial* a mediados del siglo XIX, originándose principalmente en Inglaterra, conllevó a que el mundo lograra aumentar el bienestar de la sociedad a través de actividades

9. La concentración de ácido carbónico es insignificante; casi todo el CO_2 disuelto está como tal.

10. En el teatro o en salones de baile a veces se ambienta con la presencia de niebla; está se logra empleando el conocido hielo seco, que es dióxido de carbono sólido que se evapora a temperatura ambiente a dióxido de carbono gaseoso, sin pasar por el estado líquido. Allí podemos observar la nube de dióxido de carbono que se desplaza al ras del piso, hasta que se diluye entre los otros gases de la atmósfera.

industriales tales como las dedicadas a la metalurgia: procesado de metales y al empleo de los derivados de la misma. Los metales cobraron una importancia aún mayor que lo ya desarrollado en la Antigüedad. No nos olvidemos que se habla de la *era del cobre*; los egipcios empleaban el metal cobre¹¹ para la elaboración de utensilios y armas de guerra. La invasión de los Hititas introdujo al hierro como un metal más resistente y eficaz, para lograr armas de guerra con mayor poder destructivo que el metal cobre. El devenir de los tiempos introdujo al aluminio¹² como un metal caro pero muy eficaz para la construcción por su resistencia a la *corrosión* bajo condiciones ambientales normales, y al mismo tiempo el elemento metálico cromo¹³ comenzó a reemplazar eficazmente al hierro y al aluminio. La utilización del cromo y sus compuestos derivados aumentó la eficacia económica de muchos procesos industriales, pero también introdujo riesgos de cáncer en la población mundial. La introducción de iones provenientes de estos metales en las aguas de desecho de origen industrial introdujo en general problemas de salud para todos los organismos vivos y por ello se debieron intensificar los estudios de carácter toxicológicos, que implicaron profundos estudios químicos que se relacionaron con una nueva disciplina de la química inorgánica, la química bioinorgánica. Esta última disciplina se puede interpretar como una rama de la química biológica, que estudia la participación de los iones metálicos en procesos biológicos. Ejemplificaremos cómo esa disciplina estudia los efectos del elemento cromo en los organismos vivos. El elemento cromo se lo emplea en la industrias dedicadas al cromado, fabricación de pigmentos y colorantes, conservación de la madera, producción de soldaduras de acero inoxidable y curtiembre, entre otras. Los compuestos más empleados en la industria son los derivados del cromo en estado de oxidación hexavalente (Cr^{6+}) que se producen cuando el elemento al estado nativo ($\text{Cr}^0(\text{s})$) pierde por reacción química seis electrones y da lugar al ion positivo hexavalente (Cr^{6+}) bajo la forma de los compuestos conocidos como cromatos, siendo el más común el cromato de sodio: (Na_2CrO_4) o los muy difundidos dicromatos como el dicromato de sodio: ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$); se suman a éstos el trióxido de cromo u óxido de cromo (VI) (CrO_3) compuesto anticorrosivo por excelencia. Otro estado de oxidación muy difundido del elemento cromo, es el estado trivalente, que da lugar al cromo en estado de

oxidación positivo Cr^{3+} , siendo el óxido de cromo (III) (Cr_2O_3) el compuesto más frecuentemente utilizado en la industria porque de los minerales que lo contienen se obtiene el cromo metálico.

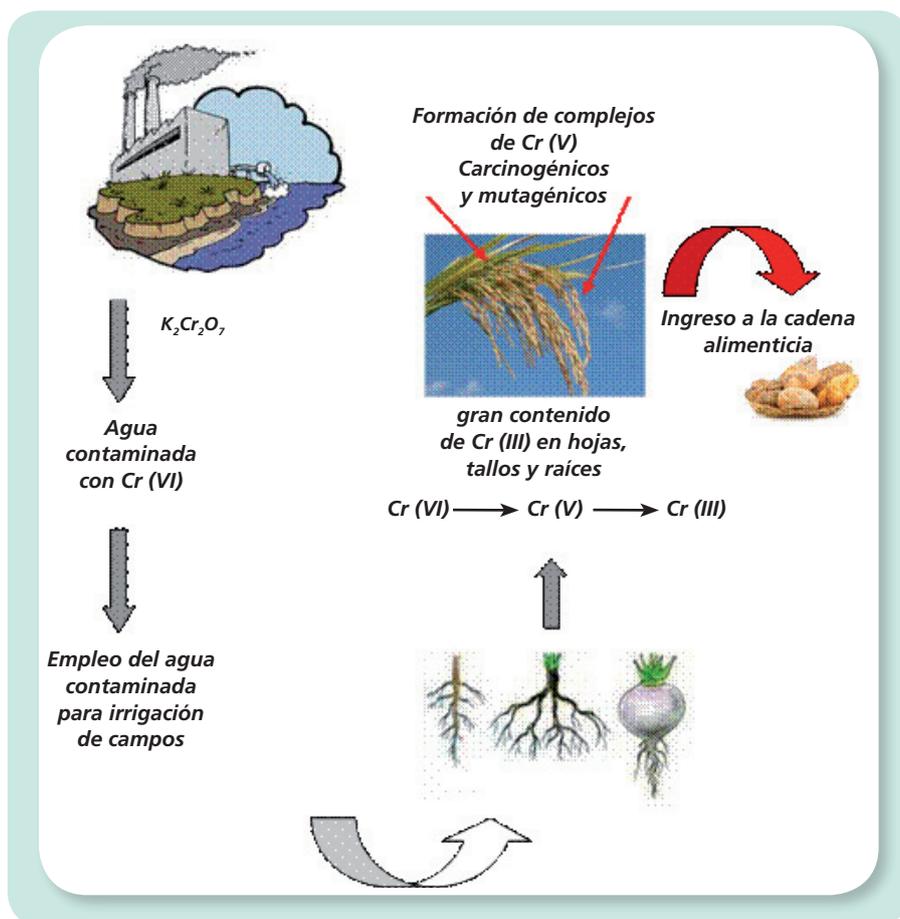


Figura 3: Ciclo de Contaminación e introducción en la cadena alimentaria del elemento cromo, diagramado por el grupo de investigación dedicado al estudio de la Bioinorgánica del elemento cromo dirigido por el Dr. Luis Federico Sala.

El elemento cromo puede ser perjudicial para la salud de los organismos vivos de acuerdo al estado de oxidación en el que se encuentre en la cadena alimenticia, siendo introducido a la misma por la actividad industrial que emplea al mencionado metal o sus derivados. En la siguiente gráfica podemos apreciar la introducción del elemento cromo en la cadena alimenticia por el accionar de una curtiembre que utiliza dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) o sulfato de cromo (III) ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

El como hexavalente (Cr^{6+}) da lugar a compuestos muy solubles en agua, por lo cual se dice que tiene gran movilidad, en cambio el cromo trivalente (Cr^{3+}) da lugar a compuestos muy insolubles en agua (principalmente hidróxido de cromo) y, por lo tanto, se lo clasifica como no móvil. Las industrias que eliminan al medio compuestos que contienen Cr^{6+} , como dijimos, muy solubles, pueden contaminar en demasía a los cuerpos acuíferos; la eliminación de compuestos de

11. Símbolo del elemento cobre: Cu.

12. Símbolo del elemento aluminio: Al.

13. Símbolo del elemento cromo: Cr

Cr^{3+} , en cambio, no producen gran contaminación por ser insolubles en agua, quedaría en el fondo de los cuerpos acuíferos. Sin embargo, si ese suelo contiene un compuesto oxidante tal como el dióxido de manganeso (MnO_2), éste puede reoxidar al Cr^{3+} a Cr^{6+} , y volver a reiniciar el ciclo de contaminación.

Cuando se ingiere agua contaminada con cromo hexavalente, bajo la forma de ion cromato ácido [$\text{HCrO}_4(\text{ac})$], éste logra entrar dentro de la célula empleando el canal utilizado por el anión sulfato (SO_4^{2-})¹⁴. Dentro del ambiente celular el Cr^{6+} es reducido por los componentes naturales de la célula, tal como el compuesto glutatión, a Cr^{3+} pasando por los estados intermedios Cr^{5+} y Cr^{4+} que son muy cancerígenos porque dañan con mucha facilidad e intensidad a los componentes celulares. El último estadio de reducción del Cr^{6+} es Cr^{3+} el que produce desdoblamiento de las hebras del ADN nuclear, lo que conlleva a la degeneración de la célula y por último al cáncer.

La comprensión química de los procesos permite una remediación

Existen dos vías para lograr solucionar esta posibilidad de desarrollar cáncer por ingesta de iones proveniente de metales pesados como el cromo:

(a) Suministrar a los trabajadores expuestos a esta ingesta ácido ascórbico. Este compuesto actúa extracelularmente, reduciendo el Cr^{6+} a Cr^{3+} ; como este catión tiene muy poca capacidad de atravesar la membrana celular, no provocará daño del ADN celular.

(b) Eliminar el elemento cromo en sus diferentes estados de oxidación del agua que los contiene. Para este último caso existen muchas metodologías de "limpieza de aguas" que se conocen bajo el término general de *Remediación*. Algunos procesos de *Remediación* son simples, por ejemplo, el agregado de compuestos que logren la reducción del Cr^{6+} a Cr^{3+} , o la precipitación química como hidróxido de cromo ($\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3$) que por ser insoluble, quedará precipitado en el fondo del sistema acuífero. Otras técnicas de *Remediación* son más complejas como por ejemplo: la ósmosis reversa. Otro método muy económico desarrollado en los últimos años, a partir de la década del 90 del siglo XX, es el que utiliza biomasa muerta, como por ejemplo, los desechos agrícolas, porque son capaces de adsorber y reducir el Cr^{6+} sobre sus superficies y retener en forma eficiente el Cr^{3+} producido en el proceso de reducción, con lo cual el agua, queda exenta o con una cantidad de Cr^{6+} o Cr^{3+} admitido por la legislación vigente para el agua potable. Las regulaciones al respecto, son fijadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency; EPA) y adoptada por la mayor parte de los países del mundo occidental y oriental. El siguiente esquema nos resume el proceso mencionado anteriormente que se conoce con el término genérico de *Biosorción*.

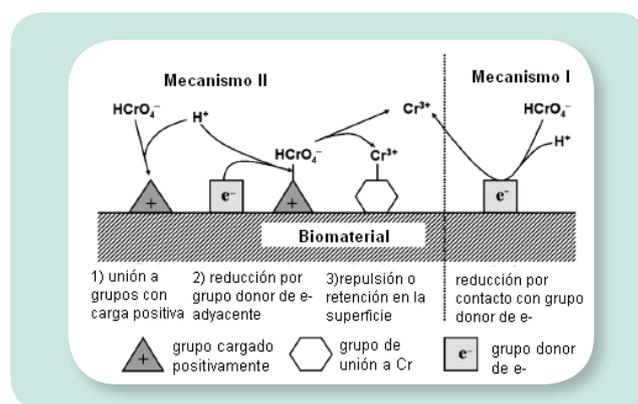


Figura 4: Remoción de $\text{Cr}(\text{VI})$ por biomateriales; mecanismo de Biosorción (Park et al, 2007).

La mayor parte de las biomazas muertas, operan por el mecanismo II, lo cual garantiza que prácticamente el metal bajo la forma de sus iones, puede ser eliminado con facilidad (*e* significa electrón).

Consideraciones finales

En este capítulo quisimos mostrar ejemplos que permiten valorar cómo la comprensión de fenómenos químicos, naturales o provenientes de acción del hombre, nos muestran caminos posibles para mejorar situaciones ambientales que ponen en peligro a partes de la sociedad.

La Química está en todas partes, los compuestos químicos nos forman, conforman, contienen, rodean, y los procesos químicos caracterizan las formas orgánicas e inorgánicas de nuestro mundo. El mundo es Química y la Química es un mundo donde hay aún mucho para descubrir.

Agradecimientos:

El autor está muy agradecido a los Dres. Galagovsky y Fasoli por sus invaluable sugerencias y modificaciones al texto, que han permitido una mayor claridad de transmisión del sentido químico del capítulo. El autor agradece a la Universidad Nacional de Rosario y al Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas por la ayuda económica para el desarrollo de su Carrera Académica.

14. El anión sulfato no es una especie nociva para los organismos vivos.

Referencias bibliográficas:

Kotz J.C., Treichel P.M., Weaber G. (2006) Química y reactividad química., 6ta Edición, Editorial Thomson

Park, D. Lim, S. Yun, Y. Park, J., (2007) Reliable evidences that the removal mechanism of hexavalent chromium by natural biomaterials is adsorption-coupled reduction, Chemosphere, 70, 298-305.

Pearson, R. G. (2005) Chemical hardness and density functional theory J. Chem. Sci. 117 (5): 369-377.

Petrucci R.H., Harwood W.S., Geoffrey H (2003). Química General. Principios y Aplicaciones Modernas. 8va edición, Prentice Hall Hispanoamericana.

33

BIOSORCIÓN: UN MÉTODO ALTERNATIVO PARA EL TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS

Dra. María M. Areco y Dra. María dos Santos Afonso

INQUIMAE (Instituto de Química Física de los Materiales, Ambiente y Energía) Y DQIAQF (Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física)-FCEN-UBA Ciudad Universitaria Pabellón II 3er Piso C1428EHA Ciudad Autónoma de Buenos Aires Argentina. Email: dosantos@qi.fcen.uba.ar

El agua es uno de los principales elementos para la vida, tanto para los ecosistemas acuáticos como para los terrestres. Las características químicas del agua la convierten en un buen solvente para distintas sales y gases esenciales para la supervivencia de las especies, así como también para los metales pesados y herbicidas, que generalmente son tóxicos. Las aguas naturales son sistemas abiertos y dinámicos que reciben y entregan variadas cantidades de masa y energía para mantener un estado de equilibrio (Stumm y Morgan, 1996).

El agua es uno de los factores más importantes que determina la distribución global de la flora y la fauna. A lo largo de la evolución, las plantas y los animales se han especializado y adaptado a los excesos o a las deficiencias en la disponibilidad de agua (Strahler y Strahler, 1989).

En el mundo alrededor de 1400 millones de personas viven sin agua potable, de las cuales 7 millones mueren anualmente a causa de enfermedades relacionadas con este recurso. Además, alrededor de 450 millones de personas sufren escasez de agua (Colangelo y Abbiatti, 2003).

En Argentina, los ríos de llanura de la región litoral y los cursos de agua originados en la cordillera andina son las principales fuentes de abastecimiento de agua. En ciertas regiones como en el centro del país existen zonas en donde no se dispone de fuentes superficiales de agua por lo que la fuente principal de abastecimiento son aguas subterráneas salobres las que presentan a menudo compuestos tóxicos como el arsénico y el flúor. Muchos de estos ríos presentan concentraciones de contaminantes, como metales pesados, que fluctúan dependiendo de, por ejemplo, las variaciones en el caudal del río (Villar y cols., 2002).

¿Qué contienen las aguas naturales?

Los parámetros físicos, químicos y/o biológicos que caracterizan los distintos cursos de agua no son valores fijos sino que fluctúan en un rango determinado. Las variaciones pueden ser espaciales ya que las características del curso de un río pueden fluctuar a lo largo de su cauce; o temporales (diarias, estacionales, anuales), las cuales pueden ser cíclicas o no. Dentro de los parámetros físicos que caracterizan a un cuerpo de agua se encuentran la temperatura, los sólidos

en suspensión y el color y dentro de los químicos se incluyen el pH, la conductividad, la salinidad, la demanda química y biológica de oxígeno, la alcalinidad, el carbono orgánico disuelto, los compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos (Tabla 1), los potenciales de óxido-reducción, el oxígeno disuelto mientras que la biomasa y la producción primaria son algunos de los parámetros biológicos.

¿Cuáles son las fuentes de contaminación?

Las principales fuentes de contaminación acuática pueden clasificarse como urbanas, industriales y agrícolas.

Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan solo reducir su contenido en sustancias que demanden oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas. En los últimos años por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración.

El impacto de los vertidos industriales depende no solo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. Hay tres opciones, que no son mutuamente excluyentes, para controlar los vertidos industriales: el control puede tener lugar donde se generan los residuos dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas -sin más- en las corrientes de agua.

Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir de acuerdo al tipo de industria de la cual se trate (Tabla 2).

Tabla 1: Concentraciones típicas de iones inorgánicos en aguas superficiales

Ion	Rango (mg/L)	Media (mg/L)
Constituyentes Principales		
Ca ²⁺	10 – 100	40
Mg ²⁺	2 – 50	10
Na ⁺	5 – 200	30
HCO ₃ ⁻	50 – 400	230
Cl ⁻	2 – 200	16
SO ₄ ²⁻	2 – 200	30
H ₂ SiO ₄ ²⁻	6 - 70	20
Constituyentes menores		
K ⁺	1 – 10	2
Sr ²⁺	< 5	0.1
Fe ²⁺	< 5	0.1
Mn ²⁺	S.I.	S.I.
NO ₃ ⁻	< 10	1.0
F ⁻	< 4	0.2
PO ₄ ³⁻	S.I.	S.I.
Constituyentes trazas (10⁻⁵ M)		
Muchos elementos caen dentro de esta categoría		

La agricultura y la ganadería comercial, son la fuente principal de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen plaguicidas, sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivos y compuestos de fósforo y nitrógeno que, en gran parte, proceden de los residuos animales y de los fertilizantes comerciales. Las deposiciones animales tienen un alto contenido de fósforo, nitrógeno, metano y a menudo albergan organismos patógenos.

La utilización de los cursos de agua con fines recreativos también puede ser una fuente de contaminación, ya que las embarcaciones producen productos de combustión que son vertidos en las aguas y ruidos que afectan a la fauna autóctona. A estos factores debe agregarse el de los residuos producidos y vertidos al cuerpo de agua debido a la ausencia de conciencia ambiental de las personas, a la hora de realizar la disposición de los mismos.

En los ríos se forman importantes depósitos de contaminantes los cuales proceden de las estaciones depuradoras, de los residuos de dragados, de las graveras y de los residuos urbanos. A su vez, los ríos transportan estos contaminantes hacia su desembocadura en los mares.

Tabla 2: Fuentes industriales de sustancias contaminantes.

INDUSTRIA	SUSTANCIAS CONTAMINANTES PRINCIPALES
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos
Textil y piel	Cromo, taninos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácido acético y fórmico, sólidos en suspensión
Locomoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones y ácidos
Química Inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos
Química Orgánica	Organohalogenados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos
Pastas y Papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestañicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

Fuente: Adaptado de "Ciencias de la tierra y del medio ambiente" (Echarri Prim, 1998).

Las descargas accidentales y a gran escala de petróleo también son una importante causa de contaminación la cual afecta también a la atmósfera ya que los gases son solubles en vapor de agua. El petróleo vertido en las aguas se degrada por procesos físicos, químicos y biológicos. Al principio, un vertido de petróleo se extiende con rapidez sobre la superficie del agua y la evaporación de los compuestos volátiles se produce rápidamente. Las fracciones remanentes más pesadas se dispersan en el agua en forma de pequeñas gotas, que terminan siendo descompuestas por bacterias y otros microorganismos. La velocidad en la que se producen los procesos mencionados dependerá del clima, del estado del agua en donde fue vertido y del tipo de petróleo.

En la actualidad la fuente más importante de contaminación, sin duda, es la provocada por el hombre. El aumento poblacional y la industrialización suponen un mayor uso de agua y de generación de residuos, muchos de los cuales son desechados en cursos de aguas naturales. Ejemplos de fuentes de contaminación por metales pesados son: las curtiembres cuyos desechos con exceso de Cu(II) y/o Cr(VI) pasan directamente al agua; las industrias de combustible y energía que generan millones de toneladas de As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se y Zn por año; la industria metalífera que adiciona al medio ambiente 0.39 millones de toneladas por año de algunos metales; mientras que la agricultura contribuye con 1.4 millones de toneladas por año (Gadd y White, 1993).

Los principales contaminantes del agua, entonces, pueden ser clasificados de acuerdo con:

- Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica).
- Agentes infecciosos.
- Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Productos químicos, incluyendo los plaguicidas, diversos productos industriales, los detergentes y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos (Tabla 2).
- Hidrocarburos, principalmente el petróleo (especialmente el procedente de los vertidos accidentales) (Tabla 2).
- Minerales inorgánicos y otros compuestos químicos.
- Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección y las explotaciones mineras.
- Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.
- El calor también puede ser considerado un contaminante cuando la temperatura del agua empleada en la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas difiere respecto de la temperatura de las aguas naturales de las cuales se abastecen.
- En lo que se refiere a la contaminación antropogénica hay cinco focos principales de contaminación: la industrial, los vertidos urbanos, la navegación, la agricultura y la ganadería.

¿Qué son los metales pesados?

Se denominan metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen peso atómico comprendido entre el del cobre (Cu) y el del mercurio (Hg), y que presentan un peso específico mayor a 4 (gr/cm^3). Los seres vivos necesitan, aunque en pequeñas concentraciones, de muchos de estos metales para el funcionamiento de su metabolismo. Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y el tipo de especie que forman en un determinado medio. Se encuentran en las aguas en forma de coloides orgánicos e inorgánicos, partículas minerales (sólidos en suspensión) y fases disueltas (cationes o iones complejos en solución).

Los metales pesados pueden ser agrupados de acuerdo a sus propiedades químicas fundamentales. En el medio acuoso, en presencia de oxígeno, los metales tales como el Fe, Mn, Co y Cr, tienden a formar oxohidrocaciones que finalmente llevan a la formación de las partículas suspendidas; éstas posteriormente se acumulan mayoritariamente en suelos y sedimentos.

En cambio los metales tales como el Zn, Ni, Cu, Cd, Ag Pb y Hg tienden a formar complejos más estables o compuestos organo-metálicos, haciendo más fácil su transporte en ambientes acuáticos.

Dependiendo del grado de interés y del impacto de los diferentes metales, estos pueden ser divididos en cuatro categorías: a) metales pesados tóxicos; b) metales estratégicos; c) metales preciosos; d) radionucléidos¹. En términos de cuidado del medio ambiente, las categorías a) y d) son las de mayor interés por su toxicidad y por estar presentes en la descarga de los efluentes industriales (Volesky y Holan, 1995).

El medio acuático actúa como un “dispersante” natural de los contaminantes por lo que, mientras en un sistema árido los contaminantes tienden a quedar retenidos “in situ”, en regiones húmedas éstos serán rápidamente incorporados a los suelos para pasar por lavado total o diferencial a las aguas subterráneas, ríos, lagos o mares, extendiendo así el problema.

Un método de depuración es todo proceso implicado en la extracción, tratamiento y control de los productos de desecho presentes en el agua. Estos desechos pueden ser biológicos o químicos.

La presencia de metales pesados tóxicos en los efluentes es un problema ambiental en todo el planeta y su remoción se ha vuelto un problema importante si se quiere mantener la calidad de agua adecuada para el medio ambiente y la salud humana (Kotwal y cols., 2005; Maidana y cols., 2005). Las legislaciones y la preocupación pública por el medio ambiente han llevado a desarrollar técnicas novedosas para el tratamiento de los metales pesados presentes en los efluentes. Un importante número de técnicas tales como la filtración, osmosis inversa, precipitación química, intercambio iónico, electrodeposición y adsorción han sido utilizadas con diferentes grados de éxito para la remoción de los metales tóxicos que contaminan los ambientes acuáticos.

¿Qué es la biosorción?

El uso de los biomateriales para la remoción de metales pesados ha surgido como un potencial método alternativo a las técnicas convencionales (Vieira y cols., 2007). El proceso de biosorción ha sido empleado para la remoción de diversos contaminantes utilizando adsorbentes de bajo costo como por ejemplo: carbón activado, plantas, cascarilla de maní, materiales vegetales, materiales celulósicos, bacterias, macrófitas, sustancias húmicas, entre otros. Dentro de las biomásas las algas poseen altas capacidades de unión (Donghee y cols., 2007; Valdman y cols, 2001) lo que las califica como potenciales materiales para la remoción de metales pesados.

1. Las centrales nucleares generan una gran variedad de residuos, tales como desperdicios químicos, vidrios, filtros usados, escombros de descontaminación, equipos desmantelados, aparatos de prueba, papeles, madera, tejidos, plásticos, etc. La industria farmacéutica y de diagnóstico medicinal también originan una acumulación de desechos que, aunque de baja contaminación, deben considerarse como radiactivos a los efectos de su disposición. Actualmente esos desechos se producen en cantidades importantes en muchos países y su tratamiento y eliminación es un problema para el desarrollo de la energía nuclear.

La biorremoción de contaminantes puede dividirse en dos grandes categorías: bioacumulación (proceso activo) por organismos vivos y biosorción (proceso pasivo) por biomasa muerta o viva. Los sistemas vivos a menudo requieren del agregado de nutrientes y es necesario controlar en los efluentes la demanda biológica de oxígeno (DBO)² o la demanda química de oxígeno (DQO)³ para mantener una población microbiana saludable. Esto no es sencillo debido a la toxicidad de los contaminantes y a otros factores ambientales. La biosorción es un proceso físico químico que incluye mecanismos tales como la adsorción, absorción, el intercambio iónico, la complejación y la precipitación (Gadd, 2009).

El término "sorción" y sus derivados ad-, ab-, fisi-, quimi- y también bio tienen su origen literal latino en el verbo "sorber", un término colectivo para la captación por un sólido de sustancias gaseosas o disueltas, sin el conocimiento exacto de los mecanismos a través de los cuales se realiza el proceso (Valdman y Leite, 2000).

El término biosorción engloba muchos mecanismos, dependiendo del sorbato, el biosorbente utilizado, los factores medio ambientales y la presencia -o no- de procesos metabólicos en el caso de organismos vivos.⁴ Acoplar "bio" a una expresión fisicoquímica como "sorción" denota, entonces, que en el proceso está involucrado un organismo, pero no necesariamente significa que el proceso de adsorción sea diferente al producido en sistemas abióticos (Gadd, 2009).

La adsorción es un proceso a través del cual las moléculas se adhieren a una fase sólida. Aunque el término adsorción se refiera a fenómenos de superficie, el "secuestro" de los iones en solución puede estar basado en fenómenos físicos, o en una variedad de fenómenos químicos.⁵ La adsorción física no es específica y las fuerzas que atraen a los iones hacia el adsorbente son relativamente débiles: pueden ser el resultado de tres fuerzas de unión, una química, una física y/o una combinación de ambas.

Las ventajas de utilizar biomasa, como las algas o las malezas, para la remoción de contaminantes presentes en los efluentes está dada porque este tipo de materiales tienen altas eficiencias de adsorción, son de fácil recolección, fácil manipulación, tienen bajo costo y abundante disponibilidad. El uso de los biomateriales para la remoción de metales pesados ha surgido,

entonces, como un potencial método alternativo a las técnicas convencionales.

La capacidad de cada tipo de biomasa de adsorber y concentrar metales pesados y/o plaguicidas puede ser más o menos selectiva, lo que depende del tipo de biomasa utilizada, la composición de la solución, el pretratamiento del material biosorbente, y de los procesos físico químicos involucrados.

La adsorción de metales pesados por células juega un rol esencial en todas las interacciones microbio-metal-mineral. Las interacciones con grupos específicos sobre la superficie celular puede también aumentar o inhibir el transporte de metales y, por ende, los procesos de biomineralización (Barkay y Schaefer, 2001).

En ambientes naturales, los procesos de adsorción-desorción pueden ocurrir en amplios períodos de tiempo desde milisegundos hasta años, con bajas capacidades de reacción, producto de factores como la difusión en los microporos de las fases minerales o la existencia de sitios de unión con baja afinidad química.

El intercambio iónico es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ión de una disolución se intercambia por otro ión -de igual signo- que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil. Este proceso tiene lugar constantemente en la naturaleza, tanto en la materia inorgánica como en las células vivas. Este, es el mecanismo que predomina en la biosorción de metales pesados por biomasa algal (Davis y cols., 2003) por lo que los cambios en la fuerza iónica de la solución⁶ modifican al proceso de adsorción.

La cantidad de metal adsorbido depende, no solo del material adsorbente sino del tipo de ion metálico, su concentración, la temperatura, el pH, la fuerza iónica y el efecto de otros metales presentes en la solución.

¿Cómo ocurre la biosorción?

Para intentar entender el proceso de biosorción tomaremos un ejemplo. *Gymnogongrus torulosus* es un alga roja, Rodofita, con gran interés comercial en Argentina ya que produce carragenanos⁷, un polisacárido comúnmente usado en la industria de los

2. La demanda biológica de oxígeno (DBO), es un parámetro que mide la cantidad de materia que puede ser oxidada por medios biológicos en una muestra líquida o en suspensión.

3. La **demanda química de oxígeno** (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias que pueden ser oxidadas por medios químicos en una muestra líquida o en suspensión.

4. El prefijo "bio" involucra a una entidad biológica, como por ejemplo organismos vivos, o componentes o productos producidos o derivados de un organismo vivo, como en el caso de los términos biotecnología o bioingeniería.

5. Las **uniones químicas** se extienden en una muy corta distancia (0.1- 0.2 nm), pero son uniones fuertes con energías de unión de 10 a 900 kJ.mol⁻¹ (Myers, 1991). Ejemplos de adsorción química son los procesos de complejación y quelación superficial con energías típicas del orden de los 20 kJ.mol⁻¹. Las uniones de adsorción físicas pueden ser subdivididas en fuerzas electrostáticas y de van der Waals (Myers, 1991), y tienen una energía de unión de entre 2 y 10 kJ.mol⁻¹ (Pagenkopf, 1978; Smith, 1981). En las uniones resultantes las fuerzas electrostáticas entre los iones del mismo signo son repulsivas y las de iones de signos opuestos atractivas. La magnitud de la fuerza es proporcional a la carga de cada ión, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los iones (Volesky, 2003). La energía de activación para la adsorción física generalmente no es mayor a 4.8 kJ.mol⁻¹ (Volesky, 2003).

6. La **fuerza iónica**, I, de una disolución es una función de la concentración de todos los iones presentes en ella definida por la ecuación $I = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2$ donde c_i es la concentración y z_i es la carga del ion i.

7. Los **carragenanos** presentes en las algas rojas, son poligalactanos, polímeros lineales de moléculas alternadas de 3-β-D-galactosa y 4-α-D-galactosa (Figura 1)

hidrocoloides⁸; su fórmula química puede verse en la Figura 1. El carácter hidrofílico y la solubilidad de los carragenanos se lo dan los grupos sulfatados de las moléculas de galactosa –un monosacárido, isómero de la glucosa. Los polisacáridos son componentes importantes de la pared celular y estos pueden ser parte de las sustancias poliméricas intra o extracelulares que contienen grupos funcionales ionizables como son los grupos carboxilos, fosfóricos, aminos e hidroxilos (Liu y Fang, 2002). Estos grupos funcionales representan potenciales sitios de unión para los metales pesados libres en solución (Liu y Fang, 2002), especialmente pueden tener una gran afinidad por los cationes divalentes (Fourest y cols., 1994) o trivalentes (Figueira y cols., 1999).

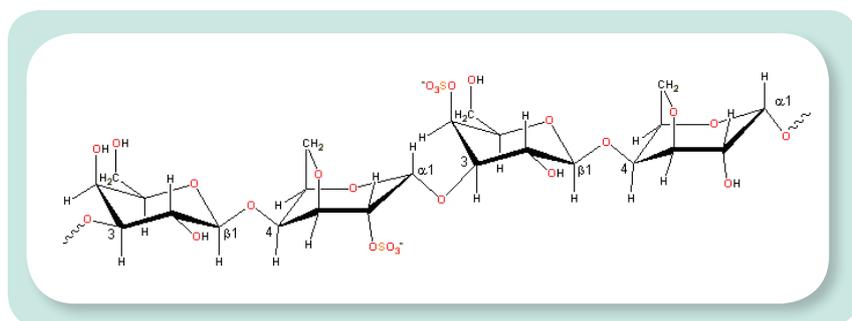


Figura 1. Estructura molecular de un poligalactano sulfatado.

La capacidad de biosorción ha sido atribuida principalmente a las propiedades de la pared celular del adsorbente. Así, las diferencias en la biosorción de Zn(II), Cu(II), Cd(II) y Pb(II) sobre *Gymnogongrus torulosus*, pueden ser atribuidas a las diferentes afinidades de los polisacáridos presentes en las paredes celulares del alga por cada uno de los metales.

Los resultados experimentales demuestran que *G. torulosus* puede ser utilizada como un eficiente adsorbente de metales pesados tales como Zn(II), Cu(II), Cd(II) y Pb(II). El pH influye de forma significativa la adsorción, siendo los valores de pH cercanos al fisiológico aquellos en donde la biosorción se ve favorecida respecto de aquellos más ácidos. Esto indica que existe una competencia entre los protones y los metales aquí estudiados por los sitios de unión presentes en la pared del alga.

Si bien la mayoría de los metales con relevancia ecológica son hidrofílicos por lo que su transporte a través de las membranas biológicas es mediado por proteínas específicas (Worms y cols., 2006), los resultados aquí expuestos para la biosorción demuestran que la adsorción en ausencia de actividad fisiológica también se produce y no debe ser subestimada. En este sentido en la Figura 2 se muestra la adsorción de Cu, Zn, Cd y Pb sobre *G. torulosus* previamente desecada y molida en mortero, (Areco, 2011; Areco y dos Santos Afonso, 2010).

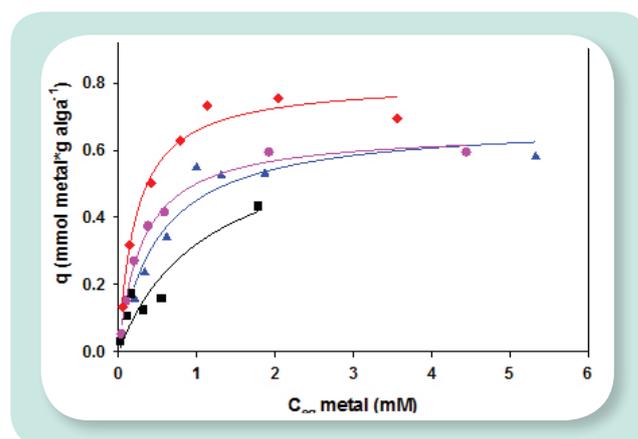


Figura 2. Isothermas de adsorción Zn(II): (▲); Cu(II): (●); Cd(II): (■) y Pb(II): (■), a pH 5.5 y temperatura ambiente por *G. torulosus*. Los ajustes se realizaron a partir del modelo de Langmuir.

A la hora de realizar estudios de distribución de contaminantes y determinar las concentraciones de los mismos presentes en los cuerpos de aguas naturales, es importante evaluar aquella porción retenida en macroalgas como *G. torulosus*. El recubrimiento máximo que se define como la cantidad máxima que es capaz de ser adsorbida por un dado material sigue, en este caso, la secuencia Cu>Zn~Pb~Cd. *G. torulosus* presenta un alto nivel de saturación para todos los metales estudiados, excepto para el caso del plomo y los valores obtenidos son por lo menos un orden de magnitud mayores en comparación con aquellos citados en la bibliografía para otros biosorbentes (Li y cols., 2009). La variación del pH de la solución influye en la retención de los metales pesados, por lo que en el supuesto caso de que se produjera un brusco descenso del pH de un cuerpo de agua natural, por ejemplo por la descarga de algún tipo de contaminante ácido, entonces los metales retenidos en las paredes de estas algas serían liberados al medio quedando biodisponibles y aumentando la concentración de los mismos en solución, pudiendo esto afectar a otras especies. Otra consecuencia importante de la biosorción, es el incremento de la bioacumulación de los metales adsorbidos por la biomasa a lo largo de la cadena trófica.

La temperatura también afecta el proceso de adsorción y a partir de los parámetros termodinámicos puede demostrarse que este proceso es espontáneo. Todos los valores de energía obtenidos son mayores a 8 kJ.mol⁻¹, lo que significa que tanto el Zn(II), Cu(II), Cd(II) como el Pb(II) son quimisorbidos sobre el alga.

8. Los **hidrocoloides** se utilizan en diferentes industrias pero especialmente en la de los alimentos como estabilizantes para producir espesamiento, gelificación, suspensión, emulsión, etc. Ejemplos de hidrocoloides son el agar, alginatos, goma árabe, carragenanos, casia, gelatina, goma de konjac, algarrobas, pectina, almidón, goma de tara, xantano, entre otros.

Perspectivas a futuro

La remoción de xenobióticos⁹ presentes en efluentes contaminados actualmente se realiza a partir de distintos procesos abióticos, los que son caros y muchas veces no del todo eficientes. La necesidad de que la depuración de efluentes contaminados, se realice mediante técnicas que sean viables, eficientes, económicas y por sobre todo sustentables con el medio ambiente, es lo que incentiva a muchos investigadores a desarrollar tecnologías alternativas.

Los estudios de la capacidad de adsorción de plomo, cadmio, cobre y zinc, por diferentes biomásas mostraron que la interacción que presentan con ellas algunos de los metales pesados comúnmente encontrados como contaminantes en ambientes naturales ocurre rápidamente y puede realizarse no sólo a través de procesos fisiológicos, y que el proceso es dependiente de factores como la temperatura y el pH del medio. Las cantidades y el tipo de contaminantes presentes en el medio ambiente determinarán el efecto sobre los distintos tipos de biomásas.

Las desventajas actuales de este proceso son la incompleta eliminación de metales, la posible generación de lodos tóxicos y otros productos de desechos que requieren eliminación cuidadosa, esto ha hecho imprescindible que se continúen los estudios de este tipo de reacciones para mejorar la eficiencia de la eliminación de los metales pesados de efluentes acuosos y los procesos de recuperación o disposición de residuos finales.

Esta tecnología parecería no tener competencia dado que en el balance los beneficios de su aplicación superan ampliamente a las pocas desventajas. Sin embargo el desarrollo de los procesos de biosorción requiere de investigación adicional en la dirección de la modelización, la regeneración del material biosorbente y de pruebas de decontaminación de los efluentes industriales por la biomasa inmovilizada sobre diferentes tipos de matrices.

En ese sentido ensayos realizados en columnas rellenas con *Ulva lactuca*, un alga verde, cosmopolita recogida de la costa atlántica argentina, inmovilizada en diferentes matrices mostraron que metales pesados como cadmio y plomo pueden ser retenidos sobre la biomasa en forma eficiente, que las columnas pueden ser regeneradas lo que permite la reutilización de las mismas y que la eficiencia máxima de retención de los metales no se ve afectada por el número de ciclos (Areco, 2011).

Es claro que la aplicación de este tipo de tecnologías le otorga un nuevo valor económico, por su utilización como materiales, a recursos renovables que no lo tenían. Por otra parte, el uso de este tipo de tecno-

logías permite el recupero de sustancias tales como los metales anteriormente mencionados para su reutilización en el ciclo productivo (Areco, 2011). Actualmente hay algunos nuevos materiales biosorbentes que están listos para la explotación comercial, aunque el proceso no se ha aplicado hasta ahora a nivel industrial.

9. La palabra **xenobiótico** deriva del griego "xeno" ("extraño") y "bio" ("vida"). Se aplica a los compuestos que han sido sintetizados por el hombre en el laboratorio y que han aparecido en el medio ambiente durante los últimos 100 años.

Referencias bibliográficas

- Areco, M.M. Métodos alternativos para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados Tesis Doctoral-FCEN-UBA-Marzo (2011).
- Areco, M.M., dos Santos Afonso, M., (2010). Copper, zinc, cadmium and lead biosorption by *Gymnogongrus torulosus*. *Thermodynamics and kinetics studies. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 81, 620-628.
- Barkay, T., Schaefer, J. (2001). Metal and radionuclide bioremediation: Issues, considerations and potentials. *Current Opinion in Microbiology*, 4, 318-323..
- Colangelo, C.H., Abbiatti, H.N., (2003). Contaminación ambiental: Análisis multidisciplinario. Ediciones Praia, Buenos Aires, Argentina.
- Davis, T.A., Volesky, B., Mucci, A., (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research* 37, 4311-4330.
- Donghee, P., Yeoung-Sang, Y., Chi Kyu, A., Jong Moon, P., (2007). Kinetics of the reduction of hexavalent chromium with the brown seaweed *Ecklonia* biomass. *Chemosphere*, 66, 939-946.
- Echarri Prim, L., (1998). *Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente*.
- Figueira, M.M., Volesky, B., Mathieu, H.J., (1999). Instrumental analysis study of iron species biosorption by *Sargassum* biomass. *Environmental Science and Technology* 33 1840-1846.
- Fourest, E., Canal, C., Roux, J.C., (1994). Improvement of heavy metal biosorption by mycelial dead biomasses (*Rhizopus arrhizus*, *Mucor miehei* and *Penicillium chrysogenum*): pH control and cationic activation *FEMS Microbiology Reviews*, 14 325-332.
- Gadd, G.M., (2009). Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84, 13-28.
- Gadd, G.M., White, C., (1993). Microbial treatment of metal pollution - A working biotechnology? *Trends in Biotechnology*, 11, 353-359.
- Kotwal, S.K., Sharma, R.K., Srivastava, A.K., (2005). Industrial pollutants and animal health - A review. *Indian Journal of Animal Sciences*, 75, 713-722.
- Li, Q., Chai, L., Yang, Z., Wang, Q., (2009). Adsorption onto modified spent grain from aqueous solutions. *Applied Surface Science*, 255, 4298-4303.
- Liu, H., Fang, H.H.P., (2002). Characterization of electrostatic binding sites of extracellular polymers by linear programming analysis of titration data *Biotechnology and Bioengineering* 80 806-811.
- Maidana, N.I., O'Farrell, I., Lombardo, R.J., Dos Santos Afonso, M., (2005). Short-Term ecological implications of the diversion of a highly polluted lowland river: A case study. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 75, 1176-1184.
- Strahler, A.N., Strahler, A.H., (1989). *Geografía Física*. Ediciones Omega, Barcelona.
- Stumm, W., Morgan, J.J., (1996). *Aquatic Chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. USA Wiley-Interscience, USA.
- Valdman, E., Erijman, L, Pessoa, F.L.P., Leite, S.G.F., (2001). Continuous biosorption of Cu and Zn by immobilized waste biomass *Sargassum* sp. *Process Biochemistry*, 36, 869-873.
- Valdman, E., Leite, S.G.F., (2000). Biosorption of Cd, Zn and Cu by *Sargassum* sp. waste biomass. *Bioprocess Engineering*, 22, 171-173.
- Vieira, D.M., da Costa, A.C.C., Henriques, C.A., Cardoso, V.L., de Franca, F.P., (2007). Biosorption of lead by the brown seaweed *Sargassum filipendula* - batch and continuous pilot studies. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10, 368-375.
- Villar, C.A., Stripeikis, J., D'Huicque, L., Tudino, M., Bonetto, C., (2002). Concentration and transport of particulate nutrients and metals in the Lower Paraná River during extreme flooding. *Archiv fur Hydrobiologie*, 153, 273-286.
- Volesky, B., Holan, Z.R., (1995). Biosorption of heavy metals. *Biotechnology Progress*, 11, 235-250.
- Worms, I., Simon, D.F., Hassler, C.S., Wilkinson, K.J., (2006). Bioavailability of trace metals to aquatic microorganisms: importance of chemical, biological and physical processes on biouptake. *Biochimie*, 88, 1721-1731.

34

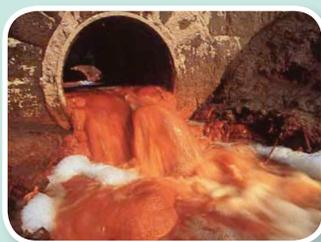
ENZIMAS QUE NOS CONDUCEN
HACIA LA QUÍMICA VERDE**Dra. Alicia Baldessari**

Laboratorio de Biocatálisis, Departamento de Química Orgánica y UMYMFOR, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2, Piso 3, Ciudad Universitaria, C1428EGA, Buenos Aires, Argentina
Email: alib@qo.fcen.uba.ar

¿La industria química como gran contaminadora?

A los químicos se nos acusa de haber contaminado el planeta. Durante el siglo XX se desarrollaron muchos procesos industriales que le cambiaron la vida al hombre y la Química ha aportado y aporta una enorme contribución al desarrollo industrial. Quizás por ello la mayoría de la gente relaciona la degradación del medio ambiente con la Química. Sin embargo, las causas de contaminación deberían también asociarse a un consumo incontrolado de recursos naturales y al desarrollo de zonas de gran concentración humana sin medir sus consecuencias sobre el medio ambiente. Entonces...¿es justo culpar sólo a la Química de la contaminación de la tierra? Los ejemplos de las consecuencias son muy conocidos, podemos citar algunos de ellos:

Se han alterado las características naturales del agua y, en algunos lugares, ya no resulta adecuada para el consumo humano ni tampoco como soporte de vida para plantas y animales.



Contaminación del agua



Contaminación del suelo



Contaminación del aire



Contaminación térmica

El constante desecho de residuos sólidos domésticos e industriales, de aceites usados, los derrames de petróleo han contribuido no sólo en la contaminación del agua sino también en la del suelo. En este último caso, su desequilibrio físico, químico y biológico afecta negativamente a todos los seres vivos: plantas, animales y seres humanos. En la contaminación del suelo también han contribuido la deforestación y el uso indiscriminado de agroquímicos acumulables.

Mucho más cercana nos resulta la contaminación del aire, alterado frecuentemente por la presencia de sustancias que disminuyen su calidad. Todos nosotros, todos los días sufrimos al tener que respirar un aire cargado de humo de los escapes de automotores, de

chimeneas de fábricas, de quema de basuras y polvos industriales.

Por último, la contaminación térmica, que consiste en un constante aumento en la temperatura promedio de la tierra, está produciendo cambios en el clima, inundaciones, sequías, etc. Una de las causas principales de esta contaminación es la generación de gases como el dióxido de carbono y los fluorocarbonados, responsables del efecto invernadero.

Volvamos a la influencia de la industria química que es la que nos involucra de manera cercana. Durante la mayor parte del siglo XX la importancia de un producto químico estaba relacionada en forma directa con su rentabilidad, o sea, la facilidad con la que podía ser comercializado y lo elevado que pudiera ser su precio en el mercado. El potencial de daño que pudiera ocasionar al medio ambiente no era tenido en cuenta. Y no fue visualizado hasta la segunda mitad del siglo. Debido a ello se requerían muy pocas pruebas toxicológicas antes de que los productos químicos pudieran ser vendidos y consumidos masivamente. Pero,

por suerte vamos evolucionando y algunos hombres de variadas disciplinas y como representantes de toda la humanidad aparentemente dormida, empezaron a inquietarse por su planeta, a darse cuenta que de esa forma no podíamos seguir. Los químicos tuvieron mucho que ver en esto, de hecho contribuyeron con su experiencia técnica y creativa en el surgimiento de un nuevo concepto: el de "Green Chemistry" traducido como Química verde o sostenible.

¿Qué es la Química Verde?

La Química verde generó un cambio filosófico del concepto de Química considerándola desde un punto

de vista diferente del tradicional. Desde esta aproximación el objetivo principal no es la obtención más económica del producto más interesante para el mercado sino que está orientado hacia el **diseño de productos y procesos químicos que involucran la reducción o eliminación de productos químicos peligrosos tanto para las personas como para el medio ambiente**. Su blanco se focaliza en las reacciones y procesos que se llevan a cabo en la industria química y afines.



La definición y concepto de Química verde fue formulada al principio de los años 90's y adoptado rápidamente por los organismos europeos y norteamericanos en la misma década. Como fue reportado por Anastas, los lineamientos para esta nueva filosofía tecnológica son los bien

conocidos 12 principios del Química verde que pueden ser resumidos conceptualmente así (Horvath y col., 2007):

1. Es mejor prevenir la formación de residuos que tratar de eliminarlos después de su generación.
2. Los métodos sintéticos deben ser diseñados para conseguir la máxima incorporación en el producto final de todas las materias usadas en el proceso.
3. Usar y generar sustancias con escasa toxicidad humana y ambiental.
4. Diseñar productos químicos que, preservando la eficacia de su función, presenten escasa o nula toxicidad.
5. Las sustancias auxiliares (solventes, agentes de separación, etc.) deben usarse mínimamente y tratando de que sean inocuas.
6. Las necesidades energéticas deben ser minimizadas y consideradas en relación a sus impactos ambientales y económicos. Los procesos deben realizarse a temperatura y presión ambiente.
7. Las materias primas deben ser renovables si esto resulta practicable técnica y económicamente.
8. Caminos de síntesis deben ser más cortos evitando los pasos de protección y desprotección¹.
9. Usar reactivos catalíticos o biocatalíticos en vez de estequiométricos².
10. Los productos químicos que vayan al mercado o sean descartados han de ser diseñados de manera que puedan ser degradados fácilmente a sustancias inertes (no tóxicas)

11. Desarrollar metodologías analíticas eficientes para la prevención y detección de la contaminación.
12. Los procesos deben ser seguros, minimizando la posibilidad de accidentes.

Con respecto a este último postulado, es necesario insistir en la necesidad de procesos industriales seguros y la firmeza con la que hay que impedir la realización de procesos que puedan producir como desechos sustancias tóxicas. Un ejemplo bien conocido de éstas son las dioxinas, un grupo de productos químicos peligrosos que forma parte de los llamados contaminantes orgánicos persistentes (COP). Se ha demostrado que los COP afectan a varios órganos y sistemas de los seres vivos y una vez que han penetrado en el organismo persisten en él durante mucho tiempo, gracias a su estabilidad química y a su fijación al tejido graso donde quedan almacenados. En el caso de las dioxinas, en el medio ambiente, tienden a acumularse en la cadena alimentaria. Cuanto más arriba se encuentre un animal en dicha cadena, mayor será su concentración de dioxinas.

Las dioxinas son subproductos no deseados de numerosos procesos industriales tales como la fundición, el blanqueo de la pasta de papel con cloro o la fabricación de algunos herbicidas y plaguicidas, razón por la cual estos procesos deben sustituirse por otros más seguros. Si las dioxinas no se incineran en forma controlada son liberadas al medio ambiente contaminando especialmente los suelos donde puede cultivarse el alimento para el ganado. Como consecuencia el ganado ingerirá alimento contaminado con dioxinas. Debido a la elevada estabilidad de las dioxinas (se estima que su semivida en los organismos superiores oscila entre 7 y 11 años) las carnes provenientes de este ganado, que luego serán ingeridas por el ser humano, también contendrán el peligroso tóxico. Se ha llegado a detectar dioxina hasta en leche materna humana (OMS, 2010).

El enfoque presentado por la Química Verde a través de sus doce postulados, provee una guía para los científicos que desean llevar a cabo prácticas sostenibles en sus actividades químicas tanto de investigación como de desarrollo y manufactura. Hoy en día muchos químicos en el ambiente académico e industrial aceptan que la aplicación de estas prioridades para la sostenibilidad ofrece un gran potencial económico y ambiental. En un futuro no muy lejano, la Química Verde no será considerada una rama de la ciencia, sino que será la guía filosófica por la cual todas las acciones de investigación científica y productiva serán llevadas a cabo y evaluadas.

Para poner en práctica esta idea, se requiere la ayuda de nuevas tecnologías y metodologías que identifiquen dónde fallan los métodos sintéticos tradicionales

¹ Cuando en un camino de síntesis de una molécula hay una reacción en la que pueden intervenir dos o varios grupos funcionales (por ej. A, B y C) pero se necesita la transformación de sólo uno de ellos (A), al resto se los trata previamente con reactivos que, inactivando esos grupos (B y C) se dice que los "protegen". Una vez terminada la reacción de A, a través de otra reacción que se llama de desprotección se recuperan los grupos B y C originales.

² En una reacción se dice que los reactivos están en proporciones estequiométricas si, completada la misma, todos ellos se consumen de acuerdo a la relación de los átomos en su ecuación química balanceada. Si uno de los reactivos está en pequeña proporción, porque se recicla muchas veces durante la reacción química, se dice que éste se encuentra en proporciones catalíticas.

en relación a los principios postulados. Y es por ello que se han desarrollado metodologías alternativas que pueden superar estas deficiencias. Entre ellas se destaca el camino recorrido por la Biocatálisis, o sea el uso de enzimas aisladas o formando parte de células enteras de microorganismos como catalizadores en síntesis de productos orgánicos. Como se puede deducir de la lectura de los principios 2, 8 y 9 de la Química Verde, los biocatalizadores juegan un importante rol en los procesos verdes proveyendo una alternativa eficiente a la química sintética tradicional.

La Asociación Europea para las Bioindustrias (Europabio) ha definido la Biotecnología Blanca como una rama emergente dentro de la moderna Biotecnología que se aplica en la industria. En realidad el concepto de Biotecnología Blanca es aceptado comúnmente en el mundo industrial como la aplicación de herramientas biotecnológicas para producir sustancias de interés, tomando como base los principios de la Química Verde. Por lo tanto la Biotecnología Blanca puede ayudar sustancialmente a que tanto los consumidores como el sector productivo mejoren el medio ambiente.

Enzimas y Biocatálisis



Las enzimas son proteínas con actividad catalítica, o sea que en su presencia las reacciones químicas ocurren más rápidamente. Son las **responsables de la química de la vida** ya que catalizan todas las reacciones químicas que ocurren en los

organismos vivos tanto en microorganismos como en organismos superiores como plantas y animales. Intervienen en la producción y degradación de azúcares, lípidos y proteínas en lo que se conoce como metabolismo primario y también en la generación de una amplia diversidad de productos del metabolismo secundario como esteroides (colesterol, hormonas sexuales), alcaloides (nicotina, cafeína, cocaína, terpenos –como aromas de limón, de pino-), etc. En la figura adjunta se muestra una representación computacional de la estructura tridimensional de una enzima.

a) ¿Qué es la Biocatálisis aplicada?

Debido a que las enzimas son sintetizadas por organismos vivos, son **catalizadores biológicos** y la acción que desarrollan se denomina: Biocatálisis, si esta acción da lugar a la formación de un producto que tiene una aplicación concreta entonces la llamamos Biocatálisis aplicada. Debido a que la Biocatálisis aplicada es un importante soporte de la Química Verde focalizaremos nuestro interés sobre ella



Desde la antigüedad es conocido el proceso de fermentación de la uva para obtener vino, y ya Homero describió la formación de queso agitando la leche con una vara de higuera. Lo que no sabía Homero en su época era que en la rama hay una enzima que acelera la coagulación de la leche para producir el queso.



Todos estos son ejemplos de Biocatálisis Aplicada. Los químicos del siglo XXI tratamos y trataremos de imitar a la Naturaleza para obtener los productos que utilizamos en nuestra vida moderna de manera no contaminante, por medio de la Biocatálisis Aplicada.

b) Ventajas que presentan las enzimas

Las enzimas presentan algunas características particulares que las hacen útiles en Biocatálisis Aplicada. Vamos a ver algunas de ellas:

- Son **muy eficientes**: aceleran las velocidades de reacción en un factor de hasta 10^{10} , eso implica que en su presencia las reacciones pueden ocurrir hasta diez mil millones de veces más rápidamente que por métodos químicos tradicionales. Además se requieren muy bajas concentraciones de enzima para que esto suceda: entre 10^{-3} y 10^{-4} % en comparación con los catalizadores químicos que actúan en concentraciones entre 0,1 y 1%. Esto nos muestra que con muy pequeñas cantidades de enzimas podemos obtener mejores resultados que con los catalizadores químicos.
- Son **muy selectivas**. Cuando hablamos de selectividad en Biocatálisis consideramos tres tipos: quimioselectividad, regioselectividad y estereoselectividad (Baldessari, 2000).

Una enzima cataliza una reacción en forma **quimioselectiva** cuando, existiendo dos o más grupos funcionales en una molécula que pueden reaccionar de igual manera con el reactivo, sólo reacciona uno de ellos. Por ejemplo, dado un sustrato con los grupos funcionales X e Y que pueden reaccionar con Z, en presencia de la enzima sólo se obtiene el producto 1 por reacción de Z con X (ver Figura 1, Ecuación 1).

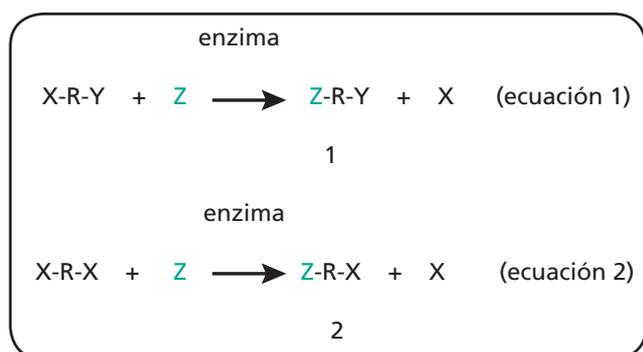


Figura 1: Esquema de la acción quimioselectiva y regioselectiva de las enzimas.

Una enzima cataliza una reacción en forma **regioselectiva** cuando sólo reacciona uno de varios grupos funcionales iguales presentes en la molécula de sustrato. Por ejemplo en el caso de que el sustrato X-R-X reaccione con Z, en presencia de la enzima sólo reacciona uno de los grupos X con Z, obteniéndose 2 (ver Figura 1, Ecuación 2).

La estereoselectividad es una de las principales características de las reacciones biocatalíticas. La enzima cataliza la reacción de uno solo de los estereoisómeros de una mezcla de enantiómeros.³ Dada la mezcla de enantiómeros 3 y 4, en presencia de la enzima sólo reacciona 3 con Z para dar el producto 5 en tanto que 4 permanece inalterado (ver Figura 2).

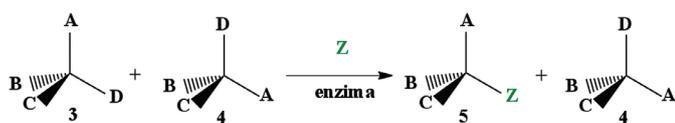


Figura 2. Estereoselectividad en las enzimas (el vértice de las figuras es un carbono quiral, unido a cuatro grupos funcionales diferentes: A, B, C y D).

- Por ser proteínas, las enzimas son polímeros de aminoácidos (a las cadenas se las llama polipéptidos). Estos se disponen espacialmente en forma tal que generan en el sitio activo de la enzima un microentorno quiral con una serie de requerimientos (estéricos y electrónicos) que permiten que solamente el sustrato con una geometría determinada, penetre en dicho sitio y, por lo tanto, reaccione con el reactivo correspondiente. Si la disposición espacial de los átomos en el reactivo no se ajusta a la que demanda el centro activo de la enzima, no es reconocido por ésta y por lo tanto no reaccionará.
- Las enzimas actúan en **condiciones suaves de reacción**: la naturaleza las diseñó para trabajar en el ambiente fisiológico a temperatura cercana a la ambiente y pH de 5 a 8. Estas condiciones disminuyen las probabilidades de reacciones laterales que implican menores rendimientos en el producto deseado.

- En general, las enzimas muestran una **amplia tolerancia de sustrato**, o sea que admiten una gran variedad de estructuras relacionadas con la del sustrato fisiológico, permitiendo extender la metodología biocatalítica a la transformación de muchos compuestos orgánicos.
- Dada la naturaleza polipeptídica de las enzimas, son **biodegradables** y, por lo tanto, presentan baja toxicidad para el medio ambiente.
- Son **reciclables**. Cuando se las usa liofilizadas y la reacción se realiza en medio orgánico las enzimas son insolubles en el medio de reacción por lo que pueden recuperarse por filtración y volver a utilizarse. Otra metodología ampliamente utilizada es la inmovilización de enzimas sobre soportes insolubles en el medio de reacción. En estas nuevas formas los biocatalizadores son más estables, activos y reutilizables.

Estas características que hemos mencionado implican que:

Los procesos biocatalíticos

- son menos riesgosos
- consumen menos energía
- son menos contaminantes para el medio ambiente

¿Para qué sirven las enzimas?

Sabemos que la acción de las enzimas en el metabolismo de los seres vivos es insustituible, siendo las responsables de las reacciones químicas que permiten la vida. Además las enzimas ayudan al hombre en una amplia variedad de ámbitos (Straathof y col., 2000).

Por ejemplo las proteasas y lipasas que hidrolizan proteínas y triglicéridos, respectivamente, se utilizan en la industria de los detergentes y jabones incrementando su acción limpiadora y permitiendo la remoción de las manchas aún en frío. Esto causa un menor deterioro a las telas ayudando a mantener inalterables los colores originales.



Las celulasas, que pueden degradar fibras de celulosa, se utilizan para dar a los jeans el acabado de la-

3. Los estereoisómeros son compuestos de idéntica fórmula molecular y grupos funcionales, que difieren sólo en la distribución espacial de los grupos asociados a átomos de carbono denominados quirales. Esta diferencia otorga a las moléculas estereoisómeras propiedades espaciales y ópticas diferentes. La propiedad óptica se refiere a la rotación del plano de un haz de luz polarizada que atraviesa una solución de cada uno de los estereoisómeros.

vado a la piedra (stone-washed) sin necesidad de usar piedra pómez u otros abrasivos que son agresivos con los tejidos y producen abundantes residuos.

También celulasas y oxidorreductasas son útiles para mejorar las propiedades de la masa y el pan y sirven como alternativa natural a los aditivos químicos como el bromato de potasio, de uso actualmente prohibido en nuestro país y que se utilizaba para darle más volumen al pan.



Siguiendo con la industria alimentaria la lactasa es una enzima muy usada para degradar el azúcar de la leche: la lactosa. Esta enzima se aplica en la obtención de leche libre de lactosa, consumida por una parte de la población que no puede degradar naturalmente este azúcar.

Las enzimas también son útiles como catalizadores en reacciones de compuestos orgánicos permitiendo obtener de manera limpia muchos de los productos que nos acompañan en nuestra vida diaria. De acuerdo con la International Union of Biochemistry and Molecular Biology, las enzimas se dividen en 6 clases:

transferasas
liasas
isomerasas
ligasas
oxidorreductasas
hidrolasas

Las más usadas en reacciones químicas son las oxidorreductasas y las hidrolasas. Y dentro de este último grupo de las hidrolasas, las lipasas constituyen el 20% de las enzimas utilizadas en síntesis. Veamos ahora dos ejemplos de Biocatálisis Aplicada, utilizando lipasas como biocatalizadores. Estos ejemplos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Biocatálisis del Departamento de Química Orgánica perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.



Dos aplicaciones de Biocatálisis con lipasas

¿Cómo trabajan las lipasas?

La función fisiológica de las lipasas es la hidrólisis de los grupos ésteres contenidos en

las grasas. En realidad hidrolizan los triésteres de glicerol conocidos como triglicéridos transformándolos en glicerol y ácidos grasos (ver Figura 3, ecuación 1).

La reacción de hidrólisis de triglicéridos (Figura 3, ecuación 1) y de ésteres en general (ecuación 2) catalizada por las lipasas en el medio fisiológico ocurre en presencia de un buffer acuoso y el nucleófilo³ es el agua.

Si llevamos a cabo la reacción en ausencia de agua, lo que llamamos medio orgánico, podemos revertir el sentido de la reacción catalizada. La lipasa, a partir del ácido y el alcohol catalizará la reacción en sentido inverso, o sea síntesis de ésteres en vez de su hidrólisis (ver ecuación 3 de la Figura 3).

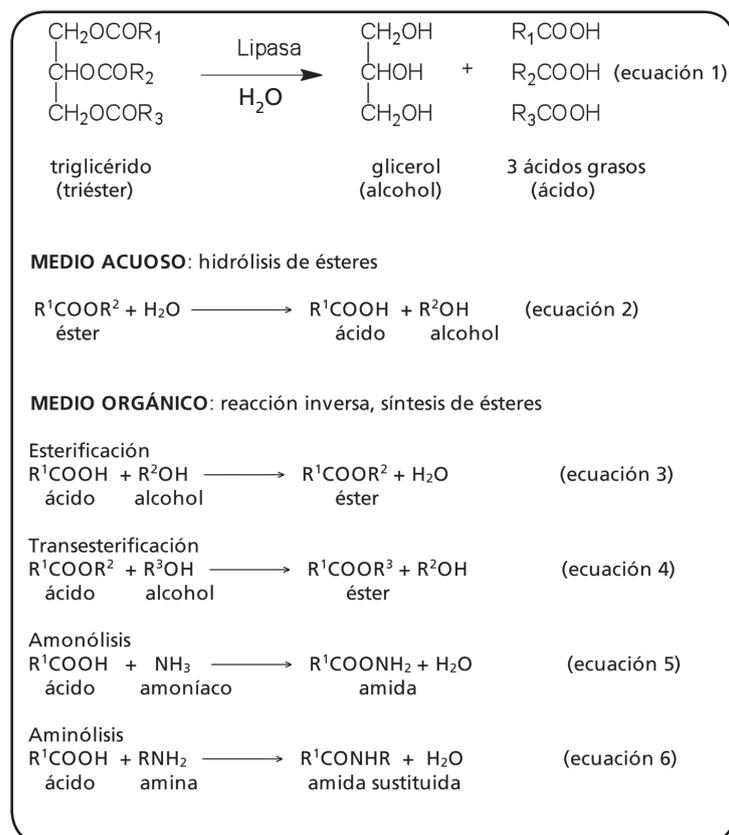


Figura 3: Esquema de algunas reacciones catalizadas por lipasas

Aquí vemos que variando solventes y reactivos en la reacción podemos hacer que las lipasas nos ayuden en reacciones de síntesis orgánica. Aplicando esta estrategia podremos preparar una variedad de productos aprovechando las características de estas enzimas.

Las lipasas **son estables** en presencia de solventes orgánicos, pueden reciclarse, pues al ser insolubles en este medio de reacción pueden separarse fácilmente por filtración una vez concluida la misma. Las enzimas recicladas mantienen su capacidad catalítica aún después de usarse en varias reacciones consecutivas. Como consecuencia, su aplicación en síntesis permite una **disminución considerable en los costos de producción**.

3 - Se define como nucleófilo (amante de núcleos) a una especie que reacciona cediendo un par de electrones libres a otra especie llamada electrófilo, combinándose y enlazándose covalentemente con ella. Un nucleófilo puede ser un anión o una molécula neutra con un par de electrones libres, como por ej. agua, alcoholes, amoníaco, aminas, etc.

Además de estas reacciones, las lipasas pueden catalizar reacciones de transesterificación o sea, a partir de ésteres, pueden reemplazar la porción proveniente del alcohol por otro alcohol diferente. También, pueden transformar los ésteres en amidas, por amonólisis (cuando en vez de otro alcohol se utiliza amoníaco), o por aminólisis (cuando en vez de amoníaco se utiliza una amina), tal como se muestra en las ecuaciones 4, 5 y 6 de la Figura 3.

Las lipasas actúan en la interfase agua-lípido y la determinación de su estructura cristalina por rayos X demostró que el sitio activo se encuentra tapado por una cadena corta de aminoácidos (Schmid y col., 1998). En presencia de la interfase agua-lípido esta tapa se desplaza dejando el sitio activo accesible al sustrato y permitiendo así la catálisis enzimática. La Figura 4 muestra un modelo computacional –reconstruido a partir de datos físico-químicos, de rayos X y otras técnicas- de las dos estructuras, cerrada (representación de la izquierda) y abierta (representación de la derecha). En esta última se puede observar el sitio activo de la enzima (de color amarillo en el modelo), que al estar compuesto por tres aminoácidos (serina, histidina y ácido aspártico) también es conocido como tríada catalítica.

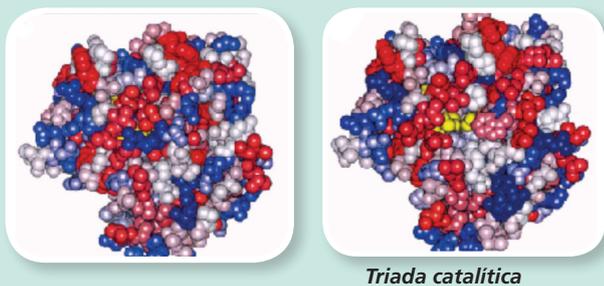


Figura 4. Estructura de lipasa de *Rhizomucor miehei* en su forma cerrada (a la izquierda) y abierta (a la derecha). La tríada catalítica está representada en amarillo. Las gradaciones de azul indican grupos no polares y las de rojo grupos polares.

¿De dónde provienen las lipasas?

Como se puede observar en la Tabla 1, las lipasas que utilizamos en nuestras reacciones de síntesis provienen de diferentes fuentes naturales: mamíferos, plantas y microorganismos como bacterias, hongos y levaduras.

¿Cómo es el trabajo de investigación con enzimas?

Cada sistema enzima-sustrato-nucleófilo requiere condiciones especiales de reacción para lograr su máxima eficiencia. Por eso es necesario en cada caso estudiar el efecto de los diferentes parámetros sobre el curso y rendimiento de la misma, con el objeto de establecer las condiciones óptimas de trabajo. En general los parámetros que estudiamos son:

- Temperatura: llevamos a cabo la reacción a diferentes temperaturas
- Relación enzima-sustrato: variamos la concentración relativa de la lipasa para establecer la cantidad mínima de enzima necesaria para ca-

Fuente	Lipasa
Mamíferos	Lipasa pancreática porcina (PPL)
Levaduras	Lipasa de <i>Candida rugosa</i> (CRL) Lipasa de <i>Candida antarctica</i> (CAL)
Hongos	Lipasa de <i>Rhizomucor miehei</i> (LIP) Lipasa de <i>Rhizopus oryzae</i> (ROL)
Plantas	Lipasa de <i>Carica papaya</i> (CPL)
Bacterias	Lipasa de <i>Pseudomonas cepacia</i> (PSL)






Tabla 1. Lipasas utilizadas en reacciones de síntesis orgánica

talizar la reacción con el mejor rendimiento de producto.

- Relación sustrato-nucleófilo: esta relación puede afectar considerablemente los resultados.
- Presencia del solvente orgánico: la naturaleza del solvente orgánico puede afectar la selectividad de la enzima, en particular puede haber resultados complementarios utilizando un solvente polar y otro no polar.
- Concentración relativa del sustrato y nucleófilo: en los casos de aminólisis la naturaleza del producto depende mucho de este parámetro y puede llegar a obtenerse a partir del mismo sistema sustrato-nucleófilo, compuestos tan diferentes como amidas alfa, beta insaturadas por reacción de aminólisis (Rustoy y cols., 2006), beta-aminoésteres a través de una adición de Michael enzimática, poliacrilamidas modificadas (Rustoy y cols., 2007) o poliamidoaminas (Monsalve y cols., 2010).
- Presencia de aditivos: en las reacciones de esterificación algunas veces resulta beneficioso el agregado de tamices moleculares para la eliminación de agua y desplazar el equilibrio hacia la formación de productos (Iglesias y cols., 1999).

Síntesis de productos farmacéuticos

Esta parte de nuestro trabajo se puede considerar como una intersección entre ciencia básica y aplicada. Realizamos investigación básica cuando estudiamos sistemáticamente la variación de los parámetros (temperatura, solvente, relación enzima: sustrato, concentraciones de reactivos, etc.) que conducen a las condiciones óptimas de las reacciones catalizadas por las enzimas. Este trabajo conduce a la investigación aplicada cuando las enzimas pueden ser catalizadores eficientes en la síntesis de productos de interés industrial. En particular ahora se describirán dos ejemplos donde las enzimas mejoraron notablemente los pro-

cesos sintéticos de productos farmacéuticos como el alfuzosin y el cloruro de lapirio.

En ambos casos las enzimas catalizaron reacciones de esterificación, transesterificación y aminólisis. En los compuestos obtenidos la formación de una amida fue un paso clave de su camino sintético.

Síntesis de Alfuzosin: un medicamento para la hipertrofia de próstata

El alfuzosin, cuya estructura química se muestra en la Figura 5 (compuesto 1) es un derivado quinazolínico. Es utilizado comercialmente para reducir los síntomas asociados a la hipertrofia prostática benigna. Esta dolencia, que se manifiesta por el crecimiento de la próstata en los varones, se considera uno de los mayores



riesgos en la salud de la sociedad moderna, aumentando la prevalencia de aparición de hiperplasias benignas desde el 8% a los 40 años hasta aproximadamente 90% a los 90.

El grupo amida (-CO.NH-) es el responsable de la actividad biológica de muchos compuestos, en particular en productos con actividad farmacológica. Es por ello que su preparación constituye una tarea importante dentro de la síntesis orgánica. Los métodos tradicionales en general involucran reacciones en condiciones drásticas y el empleo de reactivos contaminantes del medio ambiente. La aplicación de lipasas para catalizar la formación del enlace amida es una alternativa interesante que ha sido utilizada en reacciones de amonólisis (Sanchez y cols., 1997) (el nucleófilo es el amoniaco) y aminólisis (Sanchez y cols., 1999) (nucleófilo: amina) de ésteres.

La innovación realizada por nuestro laboratorio en el tema consiste en obtener, a través de una catálisis enzimática, amidas sustituidas directamente a partir ácidos carboxílicos a través de dos reacciones consecutivas efectuadas sin necesidad de aislar el intermediario (en inglés: "one-pot one-step"). Este procedimiento tan simple resultó exitoso con una serie de quince ácidos carboxílicos y cinco aminas (Baldessari y col., 2001), lo que nos animó a aplicar esta metodología en la preparación de un compuesto intermediario en la síntesis de alfuzosin (ver Figura 5) (Baldessari y col., 2004) :

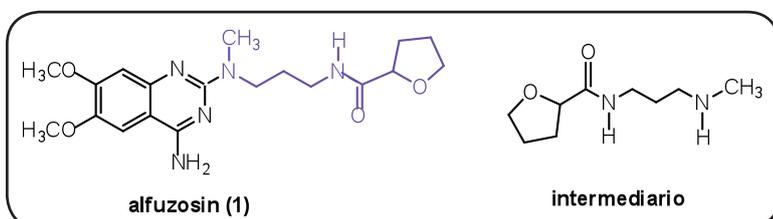


Figura 5: Fórmula de alfuzosin (1) y de su intermediario

El alfuzosin ha sido preparado tradicionalmente a través de diferentes rutas sintéticas (Manoury, 1982). Este proceso es muy agresivo para el medio ambiente ya que utiliza reactivos tóxicos y sensibles a la humedad -como el cloroformiato de etilo-, por lo que se debe realizar el primer paso en atmósfera de nitrógeno; y otros pasos a alta temperatura y presión, utilizando rodio como catalizador.

Nuestro grupo logró preparar 1 aplicando una estrategia enzimática, con las ventajas metodológicas que se muestran en la Tabla 2.

	Procedimiento	
	Químico	Enzimático
Temperatura	Muy baja (0-5°C) y elevada (80°C)	Ambiente
Presión	840 psi en la hidrogenación	Atmosférica
Pasos de reacción	3	1
Catalizador	Muy tóxico	Biodegradable y reciclable (80% de actividad después de 8 ciclos)
Solvente	Tetrahidrofurano	Etanol
Reactivos	Cloroformiato de etilo: muy tóxico Rodio: tóxico irritante.	Etanol 3(Metilamino)-propanonitrilo: irritante
Hidrogenación	Usando una solución NH ₃ / etanol	No es necesaria
Escala preparativa	Sí	Sí
Regioselectividad	No	En la etapa de aminólisis, sólo reacciona el grupo amino primario de H ₂ N(CH ₂) ₃ NHCH ₃

Tabla 2: Comparación entre el proceso de síntesis de Alfuzosin por las vías química y enzimática

Estas diferencias muestran la forma en que la metodología enzimática favorece al medio ambiente efectuando una reacción mucho más limpia, que no requiere un gasto energético adicional y utilizando un catalizador reciclable y biodegradable.

Síntesis de Cloruro de lapirio: bactericida de amplio espectro

El cloruro de lapirio se comercializa en el país y tiene un gran mercado a causa de sus propiedades antisépticas, siendo activo en infecciones de la piel y quemaduras. También tiene aplicación en asepsia quirúrgica y artículos de higiene personal como cremas dentales, antitranspirantes, acondicionadores del cabello y de la piel (Argembaux y cols., 2002; Maruyama y cols., 2001; Sipos y cols., 1977).

El cloruro de lapirio (compuesto 2, Figura 6) ha sido sintetizado a través de métodos



de síntesis orgánica tradicional que no han permitido obtener un producto de alta pureza y en buen rendimiento. Las reacciones empleadas en esta metodología no son selectivas, en cada uno de los pasos se obtienen mezclas de productos requiriéndose complicados procesos de purificación tanto de los intermediarios como del producto final. Esto disminuye notablemente el rendimiento global del proceso (Epstein y cols., 1942). Además se utilizan como reactivos agentes tóxicos y sensibles a la humedad, solventes cancerígenos y se debe trabajar en condiciones drásticas de reacción donde se liberan gases corrosivos e irritantes

ración similar efectuada por métodos tradicionales es ácida con pH entre 2,5 y 3,8. Esto resulta una gran ventaja ya que el cloruro de lapirio se usa en formulaciones farmacéuticas de consumo humano que no soportan un pH ácido.

En resumen, el proceso quimioenzimático presenta una serie de ventajas desde el punto de vista operativo y comercial (Baldessari y col., 2005):

- Mejor pureza y mayor rendimiento del producto.
- Eliminación de reactivos tóxicos y sensibles a la humedad
- Reactivos y solventes menos contaminantes y más económicos.
- Posibilidad de prescindir del uso de solventes.
- Condiciones suaves de reacción.
- Catalizador enzimático biodegradable
- Catalizador enzimático insoluble en el medio de reacción, filtrable y reciclable
- Proceso de Química Verde: resulta menos riesgoso, menos contaminante y con menor consumo de energía.

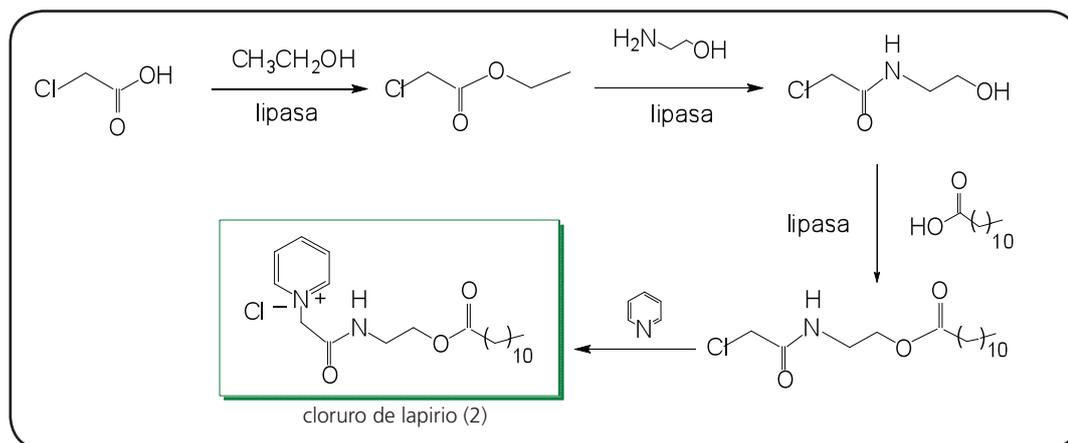


Figura 6: Síntesis enzimática de cloruro de lapirio

(Gordon y cols., 1945). Todo esto genera la necesidad de aumentar los cuidados durante el desarrollo del proceso y un incremento en las acciones relacionadas al tratamiento de los efluentes.

De acuerdo a nuestra estrategia sintética el cloruro de lapirio se obtuvo en 4 pasos, tres de los cuales fueron enzimáticos. Los pasos enzimáticos consistieron de dos esterificaciones (primero y tercer paso) y una reacción de aminólisis. Debido al comportamiento altamente quimioselectivo desarrollado por las lipasas se obtuvieron productos puros en diferentes etapas, lográndose de esta manera evitar la mezcla de intermediarios que tiene lugar en la síntesis química tradicional, lo que permitió obtener fácilmente el cloruro de lapirio con alta pureza y rendimiento (Rustoy y col., 2005). El esquema seguido se muestra en la Figura 6.

La conjunción de las reacciones enzimáticas selectivas y limpias trae como consecuencia que 2 no esté contaminado con clorhidrato de piridina como ocurre en la síntesis química tradicional. Así, una dispersión acuosa al 1% del compuesto 2, preparado enzimáticamente tiene pH de 5 a 6, mientras que una prepa-

Consideraciones finales

A través de nuestro viaje por la Biocatálisis vimos que las enzimas nos conducen hacia el cumplimiento de muchos de los postulados de la Química Verde:

- Previendo la producción de desechos
- Minimizando los requerimientos energéticos
- Utilizando materias primas y reactivos renovables
- Evitando las reacciones de protección y desprotección que involucran reactivos tóxicos
- Trabajando en condiciones suaves de reacción que minimicen los accidentes.

Analizamos las aplicaciones de las enzimas en productos que utilizamos en nuestra vida diaria y posteriormente su aplicación como catalizadores en reacciones de síntesis orgánica. En particular hemos estudiado dos casos de síntesis de medicamentos donde el uso de biocatalizadores facilitó notablemente el proceso y permitió llevarlo a cabo en condiciones más favorables para el medio ambiente. Todas las características que hemos presentado manifiestan la utilidad de esta metodología como alternativa sintética en el

desarrollo de procesos que no sólo rindan beneficios económicos sino también colaboren en la realización de una existencia mejor en un mundo menos contaminado.

Referencias Bibliográficas

- Argembeaux, H.; Demitz, M.;Treu, J. (Beiersdorf A. -G., Germany) Ger. Off. DE10,103,093
- Baldessari, A. (2000). Enzimas, un camino hacia reacciones más limpias en *La Química Verde en Latinoamérica*, Green Chemistry Series N° 11, Eds. P. Tundo, R. H. de Rossi, Venecia, Italia, 2004.
- Baldessari, A.; Gros, E. G. Patente Argentina AR002219B1,1 abril 2004.
- Baldessari, A.; Mangone C.P. (2001). One-pot biocatalyzed preparation of substituted amides as intermediates of pharmaceuticals. *J. Mol. Catalysis B: Enzym.* 11, 335-341.
- Baldessari, A.; Rustoy, E. M. Acta N° P 050103459, INPI, 16 de agosto de 2005.
- Epstein, A. K.; Harris, B. R.; US2,290,173 (Cl. 167-22) 21 Jul 1942, Appl. 355,032, 31 Aug (Cl. A61K7/06), 25 Jul 2002, Appl. 10,103,093, 24 Jan 2001; 12 pp. 1940; 10 pp.
- Gordon, J. E.; Ralston, R. A. US4,017,501 (Cl. 260-295) 24 Oct 1975, Appl. 625,407 12 Apr 1977; 4 pp.
- Horvath, I. T.; Anastas, P. T. (2007) Innovations and Green Chemistry. *Chem. Rev.*, 107, 2167-2168.
- Iglesias, L.E.; Fukuyama, Y.; Nonami, H.; Erra-Balsells, R.; Baldessari, A. (1999). A simple enzymatic procedure of the síntesis of a hydroxylated poliéster from glycerol and adipic acid, *Biotechnol. Tech.*, 13, 923-926.
- Manoury, P.M. (Synthelabo) US 4,315,007, 09 Feb.1982.
- Maruyama, T. (Sunstar Inc., Japan) Jpn. Kokai Tokyo Koho JP2001072562 A2, 21 Mar 2001, Appl. JP1999,252459 7Sep 1999; 5 pp.
- Monsalve, L. N.; Fatema, M. K.; Nonami, H.; Erra-Balsells, R.; Baldessari, A. (2010) Lipase-catalyzed synthesis and characterization of a linear polyamidoamine oligomer. *Polymer*, 51, 2998-3005 (2010).
- OMS. Organización Mundial de la Salud. (2010) Las dioxinas y sus efectos en la salud humana. Nota descriptiva N°225. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/es/index.html>.
- Rustoy, E. M.; Baldessari, A. (2005) An efficient chemoenzymatic synthesis of lapyrium chloride. *Eur. J. Org. Chem.* 4628-4632.
- Rustoy, E. M.; Sato, Y.; Nonami, H.; Erra-Balsells, R.; Baldessari, A. (2007) Lipase-catalyzed synthesis and characterization of copolymers from ethyl acrylate as the only monomer starting material. *Polymer*, 48, 1517-1525.
- Rustoy, E. M.; Baldessari, A. (2006) Chemoselective enzymatic preparation of N-hydroxyalkylacrylamides, monomers for hydrophilic polymer matrices. *J. Mol. Catal. B: Enzym.* 39, 50-64.
- Sanchez, V.M.; Rebolledo, F.; Gotor, V.(1997) *Candida antarctica* lipase-catalyzed resolution of ethyl -(±)-3-aminobutyrate. *Tetrahedron Asymm.*, 8, 37-40.
- Sanchez, V.M.; Rebolledo, F.; Gotor, V.(1999) *Candida antarctica* lipase-catalyzed double enantioselective aminolysis reactions. Chemoenzymatic synthesis of 3-hydroxypyrrolidines and 4-(silyloxy)-2-oxopyrrolidines with two stereogenic centers. *J. Org. Chem.*, 64, 1464-1470.
- Schmid, R.D.; Verger, R. (1998). Lipases interfacial enzymes with attractive applications, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 37,1608-1633.
- Sipos, T. (Johnson & Johnson) US4,006,218 (Cl.424-54; A61K7/22) 01 Feb 1977, Appl. 285,682, 01 Sep 1972; 10 pp.
- Straathof, A. J. J.; Adlercreutz, P. (Eds.) (2000). *Applied Biocatalysis*, 2nd Edition, 55-91. The Netherlands, Hardwood Academic Publ.

35

LA QUÍMICA Y EL DEPORTE

Dr. Osvaldo Teme Centurión*Laboratorio de Control de Doping - Secretaría de Deporte
Ministerio de Desarrollo Social
Email: osvaldotc@yahoo.com.ar***Deporte, juego y ciencia**

Me atrevería a afirmar casi categóricamente que nueve de cada diez personas en nuestro país están interesados en el deporte. La mayoría en el fútbol, por razones históricas, y otros deportes como básquet, vóley, tenis, rugby, etc.; en la medida en que cada uno de los equipos nacionales haya tenido éxito en algún reciente mundial o copa internacional, más allá de sus históricos simpatizantes. Somos capaces de interesarnos hasta en el Súper Bowl o las carreras de moto, si algún compatriota participa con cierta notoriedad.

Recuerdo que mi carta de presentación en cualquier ámbito desconocido de mi infancia era:

“Hola, ¿de qué cuadro sos?”,

Recuerdo también, que una vez, un amigo mío me comentó que iba caminando por las inmediaciones del estadio de Vélez Sarsfield en Liniers, en el momento en que una horda de simpatizantes locales se disponía a cruzar la barrera de la calle Cuzco. Mi amigo distraído como siempre (¡¡por que no le interesaba el deporte!!), le dice a uno de ellos:

“Disculpe, ¿qué hora es?”, a lo que el velezano individuo respondió.

“¡Uno a uno!”, y sin darse vuelta se dispuso a cruzar la avenida Rivadavia.

Como ya les dije, mi amigo, gran amigo de mi juventud, estaba desinteresado en el deporte totalmente y nuestras conversaciones transitaban otros caminos. El era un músico incipiente en ese entonces, y si bien hoy día logra vivir de su profesión ... la de músico claro, nunca pudo dar más de un puntapié o dos en las clases de gimnasia, aunque se defendía más en el básquet a pesar de tener una altura regular. Solíamos vagar por Buenos Aires casi todos los fines de semana con nuestro grupo de amigos, y casi siempre terminábamos jugando un “Mario’s Bros” en el Nintendo. Por ese entonces, mezclando mi fanatismo por mi equipo de fútbol favorito, acostumbraba darme una panzada con una serie de televisión apasionante, que hacía volar mi imaginación hacia los límites del universo. La serie era, por supuesto, “Cosmos” (C. Sagan y cols., 1980).

El lector atento ya se habrá dado cuenta de la obviedad de mi pretencioso título. Quiero llegar a que se comprenda a través de una simple metáfora cuál

es la relación entre el deporte y la química, sin olvidar el concepto de juego y ciencia, que los precede. La ecuación completa que imagino es: deporte- juego-ciencia-química. Porque seamos sinceros, cuando me revolcaba en la tierra para tratar de recuperar una lejana pelota que se escurría con un pique zigzagueante, ni se me ocurría pensar que más tarde la vida me iba a acercar nuevamente a la pelota, desde el otro lado de la ecuación.

Todo tiene que ver con todo

El deporte-juego tal como lo conocemos en nuestra tierna inocencia juvenil, consiste más o menos en compartir un lindo momento con nuestros amigos para divertirnos y disfrutar de nuestras habilidades (a veces inexistentes o escasas), bajo ciertas reglas más o menos tácitas; desde las damas, hasta el rugby, pasando por el escrabel y el “metegolentra”.

Hacemos ahora un salto al deporte profesional. En él las reglas comienzan por el mero y primario hecho, de que se juega con un árbitro o referí, o sea el con-sabido juez de la contienda. Este controvertido individuo, se encarga de resguardar las buenas prácticas deportivas que cada deporte tiene muy bien definidas: no es lo mismo tomar la pelota con la mano en el básquet que en el tenis, o el fútbol; también es sabido que los tackles sólo valen en el rugby. Pero no solamente hay reglas referidas a la forma de juego, sino también todo tipo de tácitas regulaciones que cuidan del entorno de lealtad, juego limpio y espíritu deportivo, que va desde el asado entre colegas los sábados a la tarde, hasta el obligatorio saludo de los equipos de vóley después de cada partido.

Pero hay más reglas, unas que ha costado y cuestan aún hacer entender y aceptar como parte del juego, pero que son importantes porque cuidan la igualdad de condiciones iniciales y castiga la trampa. Son las reglas del doping, o mejor dicho, del control antidopaje (para ser más castellanos), porque no solamente es trampa burlar ilícitamente las reglas del juego, sino también contar secretamente con cualquier ventaja deportiva que ayude a superar las limitaciones físicas humanas.

Como en muchas otras ramas de la ciencia (ya va-

mos llegando este punto), debemos recurrir a datos históricos y otros no tanto para descubrir las raíces de la actividad. Es sabido que la utilización de sustancias *non sanctas* ha sido un hobby muy utilizado por aficionados a las intrigas palaciegas y extramuros (Repetto, 1995), causando más de una muerte intencionada en épocas en las que no existían el test de alcoholemia, ni la detección de las huellas digitales. Desentrañar estas acciones dio origen a la medicina forense y a la toxicología, y debió incorporar a la química para poder redactar leyes que encuadraran esos delitos. La cicuta de Sócrates, el asesinato de Napoleón y la dudosa muerte de nuestro Mariano Moreno son ejemplos absolutamente válidos de esta actividad.

Pero ¿qué tiene que ver esto con el dopaje? Pues... parece que la naturaleza humana siempre anda por allí tratando de sacar ventajas ¡como sea! ... Y esto ocurre también en el deporte: por razones de vanidad personal, grupal, familiar, popular, racial, nacional y, en la modernidad, también por razones económicas. Cuántos cultores hay del "ganar como sea", rompiendo cualquier regla y alguna pierna también. Así que no puede resultar raro saber que también se está dispuesto a perder la salud. La historia de la humanidad está plagada de ejemplos de intentos de beneficiarse con sustancias extrañas al organismo (exógenas), que en los casos más primitivos consistían en extractos de plantas, hongos u órganos de animales, que transferían sus más deseables virtudes al usuario. Por supuesto que todas estas prácticas tenían un gran componente mágico y/o quiromántico, relacionado frecuentemente con las expectativas del consumidor, y principalmente con los efectos alucinógenos de las sustancias (¡¡obvio!!).

Una de las primeras referencias históricas halladas se remonta a la antiquísima cultura china donde se masticaba frecuentemente una inocente ramita de una no tan inocente Ephedra, sustancia que tantos problemas nos trajo a los argentinos en aquella "masacre" tan recordada del año '94, cuando a 40 millones no cortaron las piernas provocando ríos de sangre por todo el país. También hay hechos mitológicos que, como mínimo, merecen nuestra sospecha: ¿quién podría creer que aunque fuera mitad dios, Hércules pudiera con leones, hidras, jabalíes y otras bestias mitológicas sin ninguna ayudita? (Hope Moncrieff, 1995).

Pero dejando de lado el viejo folclore argentino de que "en todo lo que no nos gusta hay una mano negra", podemos mencionar que los Kaffirs africanos utilizaban un licor llamado Dop, o que los guerreros vikingos Berseker combatían semidesnudos bajo la influencia del alucinógeno bufotenina, extraído de hongos, que les permitía entrar en combate insensibles al dolor, sin armadura y con furia ciega. En América, los Incas masticaban la hoja de la coca y en México los Tarahumaras consumían el peyote¹ como parte de su espiritualidad, y también como medicina.

Volviendo a un ámbito más deportivo podemos mencionar el relato de algunos cronistas de la Grecia clásica que narraban que los fondistas, saltadores y luchadores participantes de los Juegos Olímpicos recurrían a ingestiones de extractos de plantas, extirpaciones del bazo y otros medios para mejorar el rendimiento (¡¡y eso que los juegos eran en honor a los dioses!!).

Juegos Olímpicos Modernos

Empecemos por los antiguos, para poder entender mejor qué reglas están violando quienes hacen trampa en el deporte; más allá de que el equipo de handball femenino pierda 35 a 14 contra el de Serbia.

Los antiguos juegos se llevaron a cabo en la ciudad de Olimpia², entre los años 776 a.C. y 392 d.C.. Consistían en festividades principalmente religiosas y culturales, un tanto más que deportivas, y de ella participaban solamente hombres, que debían ser ciudadanos griegos.

Uno de los mitos más populares acerca del origen relata que fue Heracles (Hércules para los romanos) quien llamó "Juegos Olímpicos" a una serie de eventos deportivos en honor a su padre Zeus, y estableció la costumbre de celebrarlos cada cuatro años. Además persiste la idea que después de completar sus doce trabajos (Hope Moncrieff, 1995), construyó el estadio olímpico como un honor a Zeus.

Los juegos, que tuvieron su mayor relevancia en la antigua Grecia entre los siglos VI y V a.C., consistían en concursos alternados con sacrificios y ceremonias, hasta el punto de extenderse por el lapso de varios días, aún en los períodos de guerra. Las primeras competencias se basaban en carreras a pie, y más tarde se fueron introduciendo la lucha; el pentatlón, prueba de varios deportes que incluía lanzamiento de jabalina, lanzamiento de disco y salto de longitud; el pancracio³; las carreras de carros, y varias competencias artísticas como música, poesía y danza.

La llama olímpica se mantenía encendida en el altar de Zeus durante la totalidad de los juegos antiguos. En Olimpia se llegaron a celebrar 293 Juegos Olímpicos, hasta que el emperador cristiano Teodosio I los abolió el año 393, por considerarlos paganos.

¿Y lo moderno dónde está?

Hagamos un poco de historia. En 1829 el gobierno francés, y en 1875, el gobierno alemán, alternativamente, hicieron excavaciones para tratar de encontrar la antigua ciudad de Olimpia. En el año 1881 las ruinas quedaron completamente desenterradas.

A partir de allí debe mencionarse la importante acción de Pierre de Frey, barón de Coubertin, noble interesado por la sociología y la educación. Viajó por

1. También llamado Mescalito. Es un pequeño cactus sin espinas, con alcaloides psicoactivos.

2. En la península del Peloponeso.

3. Juego de competición en los antiguos Juegos Olímpicos. Este deporte era una combinación de boxeo y lucha.

todo el mundo y quedó impresionado e interesado por los trabajos de exploración en Olimpia, y con la creencia de que la competencia deportiva podía producir el entendimiento internacional, se dedicó a la tarea de revivir, los Juegos Olímpicos, con la participación de todos los países del Mundo. Contó con el ánimo y la colaboración del sacerdote católico Henri Didon, que sería el inspirador del lema olímpico "Citius, Altius, Fortius" (Más rápido, Más Alto, Más fuerte).

Coubertin presentó su proyecto a la Unión Deportiva y Atlética de París, y a fines de 1892, tuvo oportunidad de solicitar el respaldo de otros países, cuando la Unión Deportiva Francesa organizó un congreso internacional sobre Amateurismo. El congreso se efectuó en 1894 y Coubertin obtuvo un fuerte respaldo de hombres tan prominentes como el Duque de Esparta, el Príncipe de Gales, el príncipe heredero de Suecia, el rey de Bélgica y el primer ministro del Reino Unido. Estuvieron presentes, además, delegados de Argentina, Grecia, Rusia, Italia y España. Asimismo, se recibieron comunicados oficiales de Alemania y Austria-Hungría, expresando interés en el proyecto.

Los entusiastas delegados decidieron programar los primeros Juegos Olímpicos modernos para el 6 al 18 de Abril de 1896, en Atenas, cerca de la sede de las Olimpiadas antiguas.

Se acordó que los Juegos se celebrarían cada cuatro años, decisión que se respetó excepto durante las I y II Guerras Mundiales, cambiándose la sede a diferentes ciudades importantes del mundo. El 23 de junio de 1894 se creó el Comité Olímpico Internacional (COI), con sede en Lausana (Suiza), integrado por representantes de doce países en orden alfabético: Austria-Bohemia, Argentina, Bélgica, Estados Unidos, Francia, Grecia, Gran Bretaña, Hungría, Italia, Nueva Zelanda, Rusia y Suecia.

Demetrius Vikelas, un griego que había figurado en la organización de los primeros intentos por revivir los Juegos Olímpicos, fue el primer presidente del Comité Olímpico Internacional.

Inicialmente, los juegos fueron financiados, a duras penas, y fueron recibidos con poco entusiasmo, sin embargo para los juegos de Honduras 48 y Helsinki 52, posteriores a la II guerra mundial, el entusiasmo fue creciente en público y atletas. En este punto que comenzaba a hablarse de dopaje en el deporte.

Primeros casos de dopaje

Los primeros casos conocidos pertenecen al ciclismo, durante la carrera de los seis días, organizada por primera vez en el año 1879. Los franceses utilizaban cafeína, los belgas terrones de azúcar embebidos en éter, otros utilizaban alcohol y los velocistas la trinitrina.

En 1886 se dio el primer caso de muerte por ingestión de anfetaminas, se trató de un ciclista galés llamado Linton durante la carrera París-Burdeos (600 km).

Hacia comienzos del siglo XX se conoce la utilización de estircnina en combinación con alcohol y cocaína, para la práctica del boxeo.

En los juegos de Saint-Louis de 1904, el vencedor de la maratón utilizó estircnina para lograr su cometido. El Los Angeles 1932 se hallaron plantas con trinitrina⁴ en los vestuarios de los nadadores japoneses. Existen referencias sobre que los alemanes ya utilizaban anfetaminas, en Berlín 1938.

Hacia el año 1952 en los juegos de Helsinki y 1956 en Melbourne, era *vox populi* que la utilización de drogas estaba ampliamente difundida para mejorar los rendimientos deportivos, y se pusieron en marcha las primeras medidas contra el doping consistentes en revisión de vestuarios y alimentos.

En 1960, en las olimpiadas de Roma, muere un ciclista danés, Pnud Jensen, durante la competición, y la autopsia revela que había ingerido gran cantidad de anfetaminas. En los siguientes juegos de Tokio 1964 se intentan realizar nuevamente inspecciones, pero se produce un boicot de los participantes (Milano y cols., 1998).

A consecuencia de esto es que comienza la verdadera declaración de guerra contra el dopaje, teniendo como puntapié inicial la primera definición de doping de la historia, oficializada por la Federación Internacional de Medicina Deportiva, en octubre de 1964. Doping, en ese entonces era: *"La administración a un atleta, o el uso por un atleta de cualquier sustancia ajena al organismo; o cualquier sustancia fisiológica en cantidades anormales, o incorporada por una ruta de ingestión anormal, con la sola intención de aumentar artificial y deslealmente su rendimiento"*.

Como consecuencia de ello, se realizan por primera vez controles anti doping en los juegos olímpicos de México de 1968, y se publica el primer listado de sustancias prohibidas en el deporte, que estaba formado fundamentalmente, por estimulantes.

Luego en Montreal 1976 se agregan los anabólicos, en Los Angeles 1984 se agrega la testosterona y aparece por primera vez una sustancia con umbral⁵. Luego las modificaciones aparecen año tras año -sin necesidad de esperar los juegos-: **1988** se agregan diuréticos, betabloqueantes, doping sanguíneo, anestésicos y corticosteroides; **1990** hormonas peptídicas, cannabinoides; **1992** clenbuterol; **1998** marihuana (también con umbral).

En el año 1999 se produce un hecho bisagra en la organización del denominado movimiento olímpico, que produce un aumento de proporciones geométri-

4. Nitroglicerina. Utilizada para el tratamiento de anginas de pecho

5. Cantidad máxima permitida para una sustancia prohibida.

cas en la cantidad y tipo de sustancias que se prohíben en el deporte profesional.

Organización del movimiento olímpico

Hasta el año 2002 el movimiento olímpico se rigió por el denominado “Código Médico de Comité Olímpico Internacional”, una suerte de carta Magna del deporte y compendio absoluto de todo lo referente a los controles de doping. En dicho documento se podían encontrar desde los listados completos de sustancias y métodos prohibidos, hasta cómo verificar el género de un atleta de sexualidad dudosa; pasando por un enunciado de códigos de ética, instrucciones para el establecimiento de los laboratorios de control (¡aquí es donde está la química!), y procedimientos de recolección de muestra (los famosos “frasquitos de pis del control antidoping”).

Las sustancias prohibidas incluían a los estimulantes, narcóticos, anabólicos, diuréticos y hormonas; y los métodos prohibidos incluían doping sanguíneo como las transfusiones y trampas más bien burdas como cambiar un frasco de orina por otro, u otro tipo de engaño similar.

En el año 1999 ocurre un escándalo internacional en el seno del COI, ya que se comprueba que para la elección de la sede de los Juegos Olímpicos de invierno de Utah 2002, varios de los votos de los miembros del comité de selección fueron obtenidos por medio de sobornos de los organizadores. Como consecuencia de ello los miembros sospechados son removidos, y aunque la sede se mantiene, el Comité Olímpico internacional entra en una crisis que se resuelve finalmente con la creación de la WADA (World Anti Doping Agency), que es la agencia que actualmente se encarga de la organización del movimiento olímpico.

La WADA, o AMA (Agencia Mundial Antidopaje) en castellano, con participación de los estados nacionales, queda conformada por una mitad de miembros del COI y por otra mitad de representantes gubernamentales de los distintos países. Tiene sede el Lausana (Suiza), y funciona gracias a los aportes que los gobiernos de los países realizan por un lado, y el COI realiza por el otro.

En el año 2005 la WADA se convirtió en una convención de la UNESCO, y desde fines del 2006 nuestro país se convirtió en signatario.

Desde la creación de la WADA, el movimiento olímpico cambió de manera muy importante su organización, persiguiendo de forma mucho más organizada y obsesiva las infracciones a la ley de doping. En el año 2003 aparece la nueva versión del código antidoping denominado simplemente “El Código” (www.wada-ama.org), que en su primera página, y a manera de presentación dice ser:

“El Código es el documento fundamental y universal, sobre el que se cimienta el programa mundial de lucha contra el dopaje en el deporte. Provee los

elementos para armonizar las políticas antidopaje, estableciendo criterios claros para determinar casos de violación de las reglas antidoping, imponer de sanciones y regular el derecho a las apelaciones deportivas.”

De este código surgen cinco documentos agrupados bajo el nombre de estándares internacionales (EI) (www.wada-ama.org/en/World-Anti-Doping-Program): El para la Toma de Muestra; El para los Laboratorios; Listado de Métodos y Sustancias Prohibidos; El para las Excepciones de Uso Terapéuticos y El para la Protección de la Privacidad e Información Personal.

Esta serie de documentos es obligatoria para los países signatarios de la WADA, donde haber firmado o no firmar la convención implica pertenecer, o no pertenecer, al movimiento olímpico internacional. Pertenecer al movimiento implica para los países, entre otras cosas, poder participar de los Juegos Olímpicos, los campeonatos mundiales y los regionales; o de lo contrario quedar excluido de las contiendas deportivas internacionales, en deportes de categoría olímpica. Cada país (signatario) queda obligado a crear su propia OAN (Organización Antidoping Nacional).

También las Federaciones Internacionales deben firmar la Convención aceptando estar bajo su ala, obligando a su vez a las Federaciones Nacionales a aceptarla.

Una de las últimas Federaciones Internacionales que se adhirió a la WADA fue la FIFA (Federación Internacional de Fútbol Asociado), a principios de 2010.

De esta manera queda establecida una estructura al estilo del Gran Hermano de 1984 de George Orwell, donde Big Brother es la WADA, cerniéndose sobre las estructuras nacionales (OANs) y las Federaciones Internacionales, quienes a su vez, controlan el derrame del elixir del divino jugo de Zeus hacia las Federaciones Nacionales y, finalmente, a los atletas.

Estándares Internacionales para la Toma de Muestra: relatan con lujo de detalles cuál debe ser el procedimiento utilizado para el tratamiento de la muestra desde el momento en que es extraída, hasta que se entrega al laboratorio.

Estándares internacionales para los Laboratorios: describen los procedimientos para el manipuleo de la muestra una vez ingresada al laboratorio.

Listado Prohibido: es la lista de sustancias y métodos prohibidos que se renueva todos los 1° de enero.

Estándares internacionales para las Excepciones de Uso Terapéuticos (EUT): describen los procedimientos y las circunstancias bajo las cuales, un deportista puede obtener el permiso escrito para utilizar una sustancia o método prohibido.

Estándares internacionales para las Protección de la Privacidad e Información Personal: hacen una declaración de buena voluntad y relata un procedimiento a

seguir por parte de las autoridades, para resguardar los datos privados de los deportistas que brindan información confidencial, con el objeto de obtener una EUT.

Como la AMA es, tal cual su nombre lo indica, una organización destinada a fomentar el control del dopaje, tiene una serie de mecanismos al estilo de las organizaciones judiciales conocidas con un sistema perfectamente tipificado de penas según el grado de la falta, y una serie de instancias de defensa del atleta. En este sentido, la instancia máxima es la apelación frente al Tribunal Arbitral, que funciona en Lausana.

A pesar de sus funciones específicas, en los últimos años la AMA ha asumido una función de divulgación y docencia, destinada a una tarea de prevención del doping entre los atletas.

Y por casa... ¿cómo andamos?

En nuestro país la institución pionera en la realización de controles de doping es la AFA (Asociación del Fútbol Argentino). Con una organización más o menos irregular comenzó a realizar tomas de muestras en la década del '70 (siglo pasado), encontrándose algunos casos positivos muy resonantes; hasta llegar a la actualidad con una historia de más de cuarenta casos positivos y una organización súper profesionalizada desde hace más de 20 años, tomando muestras en todos los encuentros de primera división.

Para la década del '70 también la organización de los controles estaba en sus albores, a nivel mundial. El pionero en esa actividad fue un profesor del Instituto de Bioquímica de la Universidad del Deporte de Colonia (Alemania), el Dr. Manfred Donike, que comenzó a organizar talleres de trabajo para el desarrollo de técnicas de detección de sustancias prohibidas que se encontraban en las listas del COI. El referente en nuestro país para esa actividad en aquellos años, era el Dr. Eduardo Gros profesor del Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, cuyo "*sumun*" en la actividad fue estar a cargo de UMUYFOR⁶ para realizar los controles durante el Campeonato Mundial de Fútbol Argentina '78.

Los siguientes eventos importantes, cuyos controles anti doping, debieron realizarse en nuestro país, fueron el campeonato Mundial de Básquet en el año 1990 y los Juegos Deportivos Panamericanos Mar del Plata 1995; que estuvieron a cargo de otro referente a nivel nacional, el Dr. Néstor Lentini. Ambos eventos fueron organizados por la Secretaría de Deporte en el laboratorio que ocupa físicamente el mismo lugar que el actual, en el predio del CeNARD (Centro Nacional de Alto Rendimiento Deportivo)

Paralelamente, la AFA comenzaba a realizar sus controles en un mayor número en el Departamento de Toxicología de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA, a cargo de otro de los referentes naciona-

les, el Dr. Otmaro Roses.

Hacia el mes de abril de 1997 se dicta la ley 24819 de "Lealtad y Juego Limpio en el Deporte". Esta ley es el puntapié inicial de la organización actual del deporte a nivel nacional, pionero en los controles de doping a nivel organizado en todas las disciplinas deportivas.

Por aquel entonces se encontraba al frente de la Secretaría de Deporte el Arquitecto Hugo Porta, ex capitán del seleccionado argentino de rugby, muy prestigioso y reconocido internacionalmente. El fue quien creó el Área de Prevención y Control de Doping dentro de la Secretaría de Deporte poniendo a cargo al Dr. Carlos D'Angelo, de larga trayectoria en la actividad, quien a su vez convocó inmediatamente al Dr. Eduardo Gros. Esta organización sigue funcionando hasta estos días.

Organización legal nacional

La ley 24819 se encarga de repasar cada uno de los *ítems* necesarios para hacerla cumplir: define el organismo de aplicación; define qué es dopaje; emite una lista de sustancias prohibidas y establece penalidades y responsabilidades para deportistas, su entorno y las federaciones deportivas.

Uno de los puntos más importantes es la creación de la Comisión Nacional Antidoping (CNA) que es la ONA argentina. La CNA está formada por representantes de las organizaciones deportivas nacionales, a saber:

- Secretaría de Deporte (Secretario o alguien por él designado),
- Comité Olímpico Argentino,
- Laboratorio de Control de Doping (Director),
- Ministerio de Salud de la Nación,
- Federación Argentina de Medicina del Deporte y
- Asociación Argentina de Derecho Deportivo (letrado).

Inmediatamente comienza a emitir las primeras resoluciones: reglamenta la obligatoriedad de informar a la CNA las sanciones aplicadas a los deportistas, reglamenta procedimientos de toma de muestra, oficializa una lista de competencias con obligatoriedad de realizar controles, reglamenta condiciones de habilitación de laboratorios (derogada por Ley 25387), etc.

Como consecuencia de estas primeras acciones, en julio de 2007 se forma el Área de Prevención y Control del Doping, bajo el ala de la Secretaría de Deporte, con un doble objetivo. Por un lado, el de informar y educar a los deportistas argentinos acerca de sus derechos y deberes respecto a la ley del dopaje; y en segundo lugar, para controlar su cumplimiento.

Se comienzan a dictar cursos a deportistas y entrenadores, y también a médicos y dirigentes; todos ellos íntimamente relacionados con el control de las sustan-

6. Unidad de Microanálisis y Métodos Físicos Aplicados a Química Orgánica (UMYMFOR) fue creada en 1978 por iniciativa del Dr. Eduardo G. Gros, su primer Coordinador, mediante un convenio entre el CONICET y la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires

cias. En cuanto a los controles, se crea el Laboratorio de Control de Doping de la Secretaría de Deporte.

¿Y la química...?

Tanto en el ámbito internacional como en el nacional, la forma de controlar el cumplimiento de los reglamentos de dopaje, consiste en procedimientos normalizados de toma de muestra (orina o sangre), transporte al laboratorio y análisis en laboratorio de química!!.

Es importante decir que internacionalmente se trabaja bajo normas ISO 17025 (www.oaa.org.ar) para lograr este cometido, en cada una de las etapas de la cadena. Todas ellas son importantes para resguardar la integridad de la muestra y de los derechos del deportista.

La muestra es extraída del deportista en el lugar donde se desarrolló el evento y transportada al laboratorio bajo los *Estándares Internacionales para la Toma de Muestra*, y posteriormente analizada según los *Estándares internacionales para los Laboratorios* comprobando una posible violación al *Listado Prohibido*.

Y aquí, dentro de los laboratorios es donde aparece la química, utilizando los métodos propios de desarrollo de cada laboratorio en particular; aunque existe una tendencia internacional a tener métodos homologados y armonizados. Lo primero que debemos hacer para entender mejor esos procedimientos es conocer el *Listado Prohibido*, que se forma de sustancias prohibidas y métodos prohibidos.

Listado prohibido

Según la moderna definición de doping, éste consiste en "... toda violación al Código Antidoping..." de la WADA, enumerándose dichas violaciones como sigue:

- Presencia de la sustancia, sus metabolitos y sus marcadores.
- Uso o tentativa de uso de sustancias o métodos prohibidos.
- Negarse o incumplir sin justificativos en suministrar muestra.
- Violación a los requisitos de completa disponibilidad para los fuera de competencia.
- Manipular o intentar manipular los controles.
- Tenencia de sustancias o métodos prohibidos
- Tráfico o intento de tráfico de sustancias o métodos prohibidos.
- Administración o intento de administración de sustancias o métodos prohibidos

Según el código, la presencia de cualquier sustancia presente en los fluidos biológicos del deportista, es de su exclusiva responsabilidad; como es su responsabilidad también conocer los reglamentos.

El listado prohibido se renueva anualmente y cuenta con un estricto criterio bien definido para incluir nuevas sustancias. El mismo define que una sustancia puede ser incluida en el listado solamente si cumple al menos dos de los siguientes criterios: aumento de potencial deportivo; deterioro de la salud; lesión del espíritu deportivo.

El último *ítem* incluido deja una puerta muy grande abierta ya que incluye una serie de parámetros relacionados con el deporte, pero de una amplia subjetividad: ética, juego limpio y honestidad; salud; excelencia en el desempeño; carácter y educación; entretenimiento y alegría; trabajo de equipo; dedicación y compromiso; respeto de reglas y leyes; respeto por sí mismo y por los otros participantes; coraje; comunidad y solidaridad.

Dentro de este contexto siempre es la organización de los controles antidoping la que lleva la carga de probar la existencia de la violación a las reglas antidoping, que debe demostrar por medio de métodos confiables (aquí es donde aparecen los laboratorios y las normalización internacional).

Los listados prohibidos pueden clasificarse en tres grandes grupos: 1) Listado de sustancias y métodos prohibidos dentro y fuera de competencia, 2) Listado de sustancias y métodos prohibidos dentro de competencia y 3) Listados de sustancias prohibidas en ciertos deportes.

Sustancias y métodos prohibidos dentro y fuera de competencia

Tanto según la ley nacional como la internacional, las muestras de sangre y/u orina de los deportistas pueden ser recogidas dentro o fuera de competencia. La primer referencia es obvia, y hace mención a deportistas que han terminado de disputar una competencia, y se les toma la muestra inmediatamente después de finalizada.

El segundo caso es en cualquier otra ocasión, donde el deportista puede estar en etapa de entrenamiento, recuperación de una lesión, vacaciones, etc.

Las sustancias prohibidas son:

- Agentes anabólicos
- Hormonas peptídicas, factores de crecimiento y relacionados.
- Beta 2 agonistas
- Moduladores y antagonistas de hormonas
- Diuréticos y otros enmascarantes.

Los métodos prohibidos son:

- Mejoramiento de la transferencia de oxígeno.
- Manipulación física y química
- Doping genético.

Sustancias prohibidas en competencia.

- Estimulantes
- Narcóticos.
- Cannabinoides

- Glucocorticoides

Sustancias prohibidas en ciertos deportes

- Alcohol.
- Beta bloqueantes.

Del campo de juego al laboratorio.

La responsabilidad del laboratorio comienza en el momento que se recibe la muestra y acepta para su análisis. Para cuidar esta responsabilidad se establece una cadena de custodia con documentación que asegura la identidad y el correcto estado de la muestra.

Una vez aceptada la muestra comienza su recorrido dentro del laboratorio, cuyos procesos se describen a continuación. Para hacerlo más claro se ordena paso a paso, describiendo someramente cada área de proceso.

- **Sala de espera y/o recepción de muestras**
- **Laboratorio:**
 1. Área de Apertura, Distribución y Preamálisis
 2. Área de Preparación de las Muestras
 3. Área de Análisis
- **Otras áreas específicas:**
 1. Orinoteca o Sala de Heladeras
 2. Droguero
 3. Área de Gases

Sala de espera y/o recepción de muestras:

Esta sala limita con el laboratorio, y desde allí las muestras (identificadas por números) ingresan a través de una ventanilla especialmente diseñada para la tarea, acompañada de toda la documentación que garantiza la cadena de custodia, a saber: una Planilla de Transporte donde debe constar como mínimo la cantidad de muestras, sus números identificatorios, el nombre y firma del responsable de la toma de muestras, y el nombre y firma del transportista de las muestras; además, las Planillas Individuales de cada una de las muestras con sus números identificatorios (que deben coincidir con los del Acta de transporte), los datos analíticos útiles como pH, densidad y cualquier otro detalle que se desea incorporar.

Antes del recibir la muestra se observa detenidamente su estado y correcta identificación, ya que a partir de este acto el laboratorio se hace responsable; por ello aquí es donde surgen los criterios de rechazo de las muestras, por fallas en la documentación o por fallas en el estado de la muestra:

Fallas en la documentación: documentación incompleta; cantidad de muestras incorrecta o ausente; números de precintos incorrectos o ausente; números de frascos incorrectos o ausentes; falta de alguna firma.

Fallas en las muestras: precintos en mal estado, abiertos o ausencia; numeración ilegible, tachada, rota; tapas abiertas; volumen escaso; frascos rotos o pinchados.

Es de mencionar que los laboratorios desconocen los nombres de los deportistas y solamente identifican las muestras por su número.

El transportista tiene el acceso prohibido al laboratorio.

Laboratorio

El laboratorio es responsable de la confidencialidad de los datos y resultados obtenidos, por ello tiene acceso restringido, y la comunicación de entrada y salida de información se hace exclusivamente con personal autorizado por las federaciones deportivas.

Área de Apertura, Distribución y Preamálisis: aquí se realiza la preparación de la muestra para su análisis definitivo. Cada día llegan unos 40 frascos –aproximadamente- de distintos eventos deportivos. El primer paso con cada uno de ellas es observarla detenidamente y abrirla, para detectar posibles motivos de rechazo adicionales. Una vez abierto, se mide pH, densidad y se registra de color y sedimentación; variables que sirven para la identificación en caso de dudas posteriores. En esta etapa se realiza el procedimiento denominado distribución, consistente en tomar pequeñas porciones o alícuotas de cada una de las muestras a analizar (que son 40 en nuestro ejemplo) y colocarlas en tubos de ensayos separados, cada uno de ellos destinado a un procedimiento de análisis distinto. Como esto se hace con cada una de las cuarenta muestras recibidas, el resultado final es tener cuarenta tubos de cada una de esas muestras, destinado a cada procedimiento de análisis.

¿Por qué hace falta más de un procedimiento de análisis?

Las diferentes sustancias que deben ser rastreadas, son aproximadamente unas 500 y en número creciente, y son imposibles de rastrear en un único procedimiento; por ello, se agrupan según sus diferentes comportamientos químicos y bioquímicos, diseñando en consecuencia para cada grupo una serie de pasos analíticos específicos. Esos procedimientos se pueden agrupar a grandes rasgos como sigue, aunque los límites son algo difusos:

- Procedimiento 1. búsqueda de estimulantes excretados libres.
- Procedimiento 2. búsqueda de estimulantes y narcóticos excretados conjugados.
- Procedimiento 4. búsqueda de anabólicos
- Procedimiento 5. búsqueda de diuréticos
- Inmunoanálisis. búsqueda de hormonas

Beta2-agonistas, beta-bloqueantes, mejoradores de la transferencia de oxígeno, moduladores y antagonistas de hormonas, y cannabinoides (marihuana) se intercalan en los procedimientos 2 y 4; mientras de corticosteroides y alcohol tiene procedimientos especiales. Sin embargo, debido a los constantes cambios en el listado con la aparición de sustancias más complejas, se ha producido en los últimos años una revolución a nivel analítico obligando a cambiar este esquema de análisis. Actualmente estamos abordando estos cambios en el laboratorio argentino.

Volviendo a nuestro esquema vigente, una vez distribuidas, las muestras que son objeto del análisis, comienzan a ser procesadas simultáneamente según cada uno de los procedimientos existentes.

Area de preparación de las muestras: se realizan los procedimientos de extracción adecuada de las sustancias prohibidas presentes en la orina, según las características propias de cada grupo de ellas, y posterior identificación de las mismas.

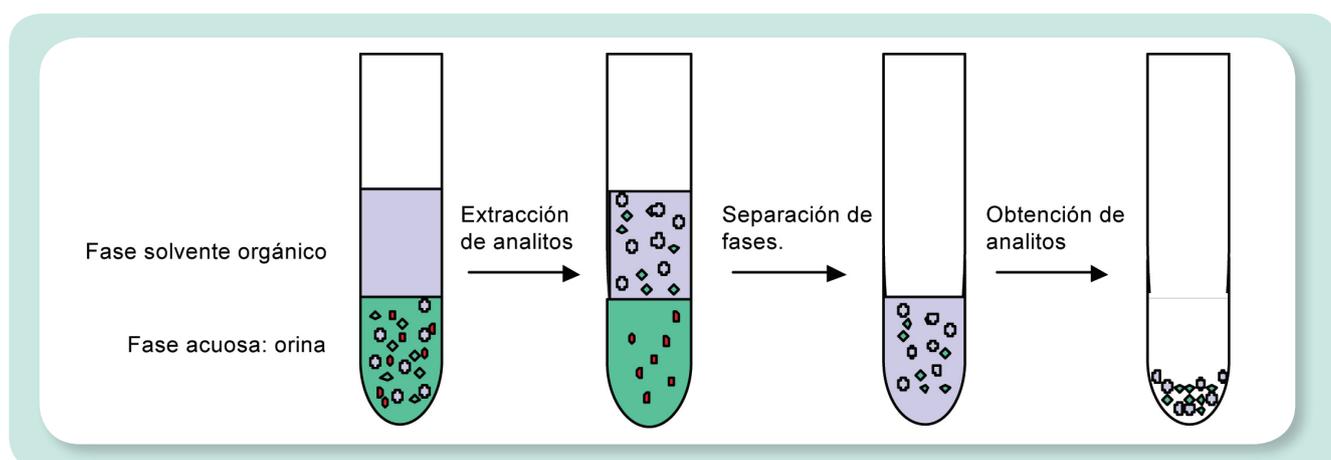
En algunos casos, es necesario recurrir previamente a un paso de hidrólisis para que la extracción sea posible.

Una vez extraídas, las sustancias prohibidas pueden requerir, según sus características, de un paso de derivatización antes de proceder a su identificación. Veamos sencillamente en qué consiste la *extracción*.

¿Cómo se extrae? La extracción es un proceso de separación en el cual el analito, en este caso las sustancias prohibidas y relacionadas, se reparten o distribuyen entre dos fases diferentes. Ellas pueden ser ambas líquidas (extracción líquido-líquido) o una líquida y la otra sólida (extracción líquido-sólido) (Milano y cols., 1998).

En una extracción líquido-líquido las sustancias de la fase acuosa (orina) se separan mediante el uso de un solvente orgánico inmisible con ella. Este solvente además debe tener buenas propiedades solubilizantes de los compuestos a detectar, debe ser de fácil evaporación (bajo punto de ebullición) y por supuesto, no debe agregar impurezas que interfieran con los estudios, afectando la exactitud y reproducibilidad (Galagovsky, 1999; Vogel y cols., 1966).

Según lo expresado, el procedimiento a seguir con-



La orina es una de las vías que posee nuestro organismo (por suerte) para eliminar los desechos o sobrantes que la maquinaria humana no necesita, o que le son tóxicos. Para ello, realiza una serie de transformaciones metabólicas (Hardman y cols., 2001) tendientes a que esas sustancias viajen por el torrente sanguíneo hasta nuestro riñones que se encargan de filtrar la sangre y acumular las toxinas solubles en nuestra vejiga hasta ser expulsadas. Por ello, la orina es fundamentalmente agua con desechos solubles de distinta identidad, que en el laboratorio deben identificarse.

La extracción, primer paso del procesamiento analítico, consiste en separar todas juntas esas sustancias que tiene la orina y llevarlas a un extracto sin agua (no acuoso).

Figura 1: Extracción líquido-líquido: inicialmente se pone en contacto la orina y el solvente orgánico (se forman dos fases separadas). La orina tiene disueltos los analitos. Luego de agitar y dejar nuevamente que se separen las fases, algunas sustancias van pasando a la fase superior, que luego se separa y evapora a sequedad.

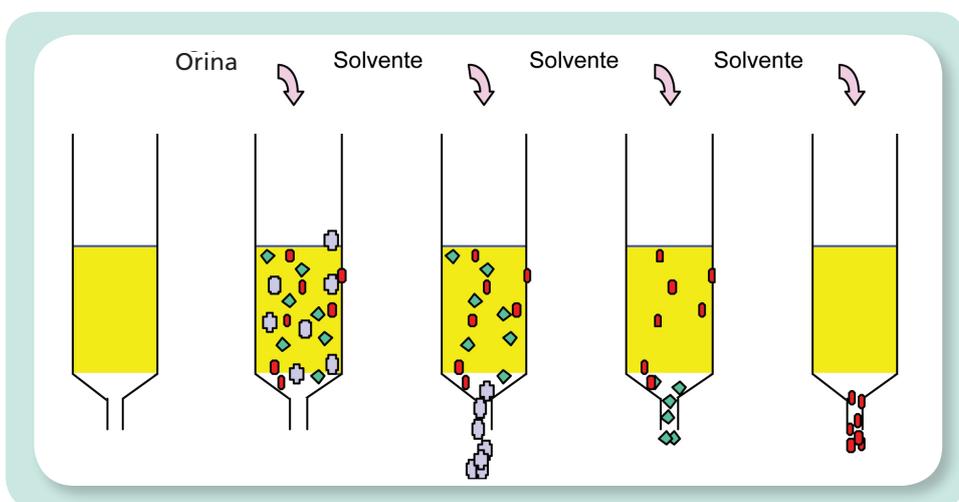


Figura 2: Extracción sólido-líquido: la orina se vierte sobre un soporte sólido, que luego va "sol-tando" lentamente cada uno de los componentes que se pueden recoger en forma separada, a medida que se agregan distintos solventes.

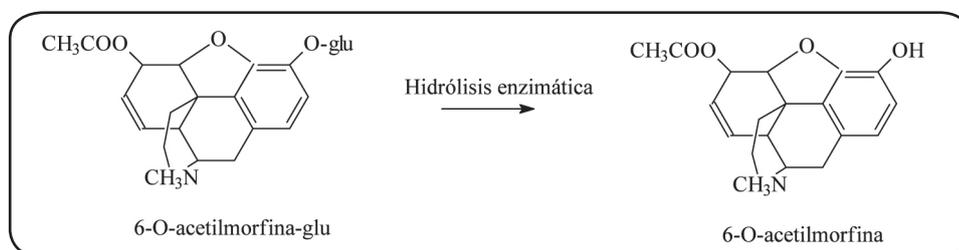
siste en poner la muestra en contacto con el solvente, realizar una agitación manual o mecánica, separando luego selectivamente la fase del solvente que contiene las sustancias prohibidas y/o relacionadas, de la orina, aprovechando la inmiscibilidad entre ellas. El procedimiento se resume en el esquema de la Figura 1.

La técnica de extracción sólido-líquido consiste en pasar la orina a analizar por una pequeña columna que contiene en su interior un sólido con la propiedad de retener selectivamente según su tipo, las sustancias prohibidas. De esta manera la orina sale por el extremo de la columna opuesto a aquel por donde fue introducida, dejando en la misma a aquellas sustancias que se quieren analizar. Luego, para aislar las sustancias de interés, es necesario lavar la columna con un solvente que tenga mayor afinidad por ellas, y sea capaz de disolverlas y, por lo tanto, de extraerlas del soporte sólido de la columna. La técnica se resume en el esquema de la Figura 2.

Ambas técnicas extractivas finalizan con la evaporación del solvente, mediante la cual se obtiene un residuo sólido que se puede analizar derivatizándolo si fuera necesario.

Hidrólisis (viene del Latín: hydro: agua, y lisis: romper). Habíamos mencionado que el organismo utiliza el metabolismo y torrente sanguíneo para eliminar las sustancias tóxicas y las desechables por vía urinal. Sin embargo no siempre es sencillo para el organismo lograr que algunas sustancias viajen por el torrente sanguíneo, simplemente porque esas sustancias no son solubles en el agua (sangre).

Pero nuestro metabolismo no se resigna tan fácilmente, y lo que hace es recurrir a una trampita "pegando" –unión química– a esas sustancias insolubles otras fuertemente solubles (como moléculas de glucosa o grupos sulfato) logrando el resultados buscado: una molécula más compleja (se le dice conjugada).



Esta circunstancia muy conveniente para la vida es un escollo para el control de doping. Por ello el desarrollo de las técnicas de monitoreo de estas sustancias conjugadas, incluye un paso de hidrólisis consistente en volver a separar la molécula de la de glucosa o sul-

fato, para recuperarla tal cual. Por ejemplo:

En este caso una molécula de morfina conjugada (la 6-O-acetylmorfina glucuronisada) es separada de la glucosa usando una enzima y agua como reactivos.⁷

Derivatización (y bueno... la química tiene sus nombres específicos) y Análisis El análisis de las sustancias del extracto se realiza por técnicas de cromatografía gaseosa con detector de espectrometría de masa. Para ello se deben transformar las sustancias monitoreadas, en otras con ciertas características deseables relacionadas con la polaridad, la volatilidad y la estabilidad molecular (Sullivan y cols., 1977; Yoo y cols., 1995; Hollard y cols, 1978). Esto es que se puedan separar mejor de otras sustancias comúnmente encontradas en orina –pero que no son de interés– y que no se destruyan fácilmente con calor, sino más bien, que tengan facilidad para ser pasadas a fase vapor. Por lo tanto las moléculas deben convertirse en productos derivados (de allí el neologismo derivatización) volátiles y estables, con el objeto de mejorar sus propiedades disminuyendo su polaridad; aumentando su volatilidad; aumentando la estabilidad de las moléculas, para la posterior aplicación de las técnicas analíticas instrumentales de cromatografía gaseosa. Esta técnica se muestra en el esquema de la Figura 3.

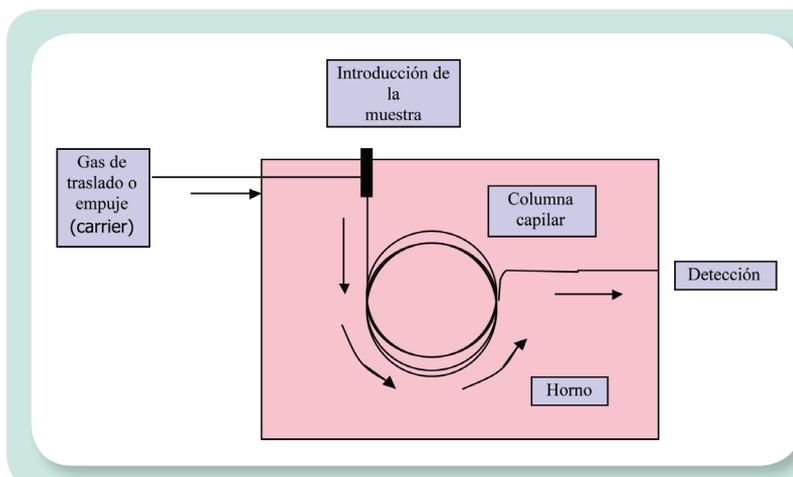


Figura 3: Esquema de cromatógrafo gaseoso: la mezcla ingresa por el inyector y es empujada por el gas carrier a través de la columna capilar, hacia el detector.

Brevemente, lo que ocurre en el cromatógrafo de gases es que los compuestos tienen distintos comportamientos debido a sus diferencias en el peso molecular, polaridad y volatilidad. Se introduce

la mezcla obtenida en la derivatización (disuelta en solvente orgánico) por la zona de inyección (ver Figura 3), para que atraviese un largo recorrido por un finísimo capilar (o columna capilar, que significa que tiene el diámetro de un cabello), ayudado por un gas

7. La enzima utilizada en este caso es una beta-glucuronidasa.

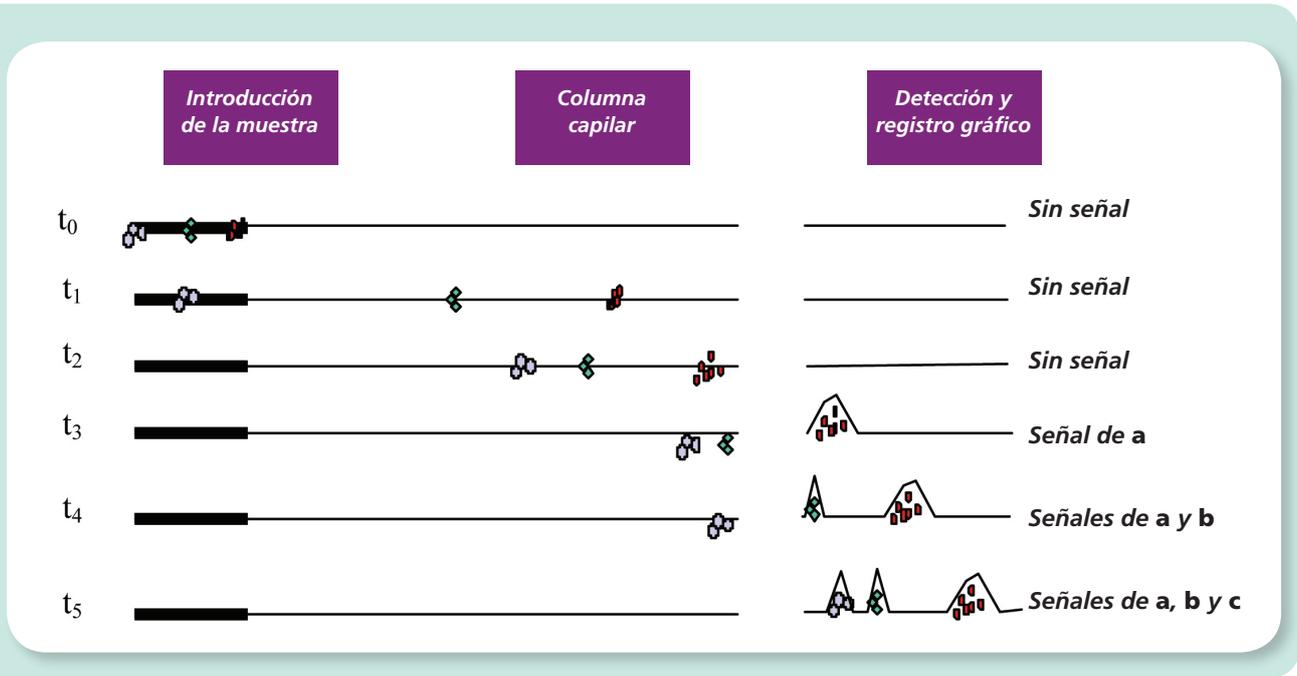


Figura 4: Representación esquemática del resultado de una cromatografía gaseosa para una muestra de tres componentes separables: a, b y c. Las líneas horizontales representan la columna capilar a diferentes tiempos (t₀ a t₅), donde se ve cómo cada sustancia se separa de las otras a distintos tiempos, como resultado de su capacidad de volatilización en esa columna y en esas condiciones experimentales de corrida cromatográfica. Cada sustancia llega al detector a un tiempo diferente; allí se genera una señal gráfica en forma de "pico" cromatográfico. Cada señal aparece al tiempo característico de cada sustancia (tiempo de retención).

de empuje, o carrier. En ese recorrido de distancia variable (puede ser de hasta 50 metros), las sustancias se separan porque sus velocidad es característica de cada sustancia, dependiendo también del relleno de la columna y de la temperatura a que se somete el sistema. Normalmente, lo que se detecta a la salida del cromatógrafo de gases se registra como picos; a mayor cantidad de sustancia, mayor es el pico (hay detectores especiales). Esta situación se resume en el esquema de la Figura 4.

El equipo dibuja un cromatograma o gráfico de salida del cromatógrafo gaseoso, en el que cada pico corresponde a la detección de un compuesto a lo largo del tiempo (tiempo de retención). El laboratorio tiene identificado previamente el tiempo de retención de cada sustancia monitoreada que se ha cromatografiado como testigo de referencia (Listado Prohibido), con lo cual por comparación se puede saber de qué compuesto se trata.

Pero este procedimiento no es suficiente para asegurar la identificación unívoca de los compuestos; porque bien pueden dos sustancias diferentes salir de la columna a un tiempo de retención tan similar que no se puedan distinguir. Por ello, a la salida de ese sistema se ubica el detector de espectrometría masa, consistente en un potente bombardeo electrónico, que rompe las moléculas que llegan a él de manera única y característica de cada una, obteniendo un espectro de masa de las sustancias monitoreadas (Listado Prohibido).

Si bien en este caso el tiempo de retención y el espectro de masa son suficientes para identificar cada sustancia del Listado Prohibido, esta es una circunstancia muy particular relacionada con que se trata de una lista cerrada. Lo normal es que la espectrometría de masa por si sola no sea suficiente para identificar una sustancia unívocamente, siendo necesario aplicar otras técnicas de identificación.

En la Figura 5 se muestra un ejemplo de cromatograma con la detección del pico de metoprolol.⁸

Otras áreas específicas

Orinoteca o Sala de Heladeras:

Está destinada a cuidar de la cadena de frío de las muestras de orina que se van a analizar, cuando estas no se procesan inmediatamente. En ella se almacenan también las muestras analizadas, hasta un máximo de 8 años, según exige la WADA.

Droguero:

La confirmación de identidad de las sustancias prohibidas, detectadas según se explicó más arriba, se realiza por comparación directa contra patrones puros de las sustancias. Esos patrones puros se almacenan en este sector.

8. El metoprolol es un bloqueador del receptor β1 selectivo usado en el tratamiento de enfermedades severas del sistema cardiovascular, especialmente de la hipertensión y el infarto agudo de miocardio.

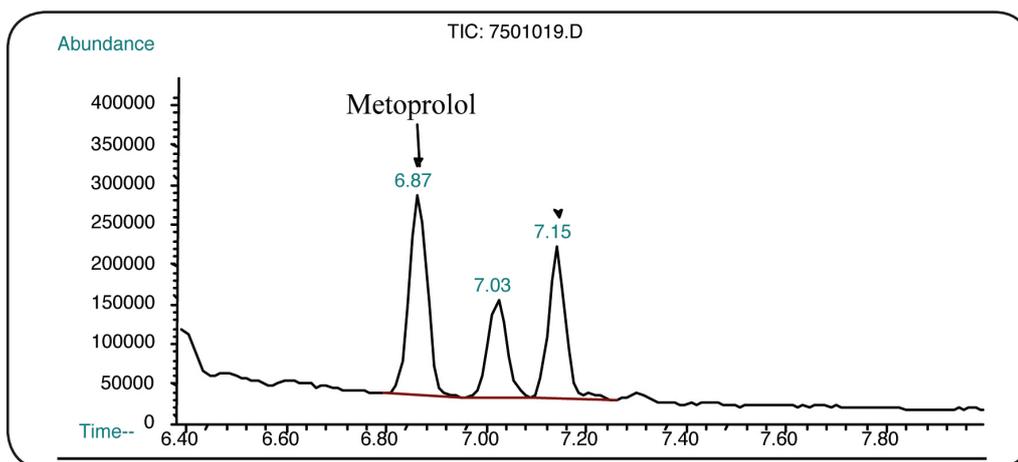


Figura 5: Se muestra un ejemplo de cromatograma con la detección del pico de metoprolol.

Area de Gases:

El gas carrier (ver figura 3) se almacena en cilindros de gas a alta presión, que aunque se encuentran dentro del perímetro del laboratorio, están por motivos de seguridad en un área abierta y ventilada. Estos gases llegan a destino a través de un sistema central de distribución de gases de alta pureza.

Consideraciones finales: El deporte y la química

Sin temor a equivocarme y sin necesidad de realizar estadísticas complicadas puedo arriesgarme a decir que el deporte es más popular que la química. Sin embargo, hay muchos aspectos del deporte profesional que, como vimos, están regulados por la química.

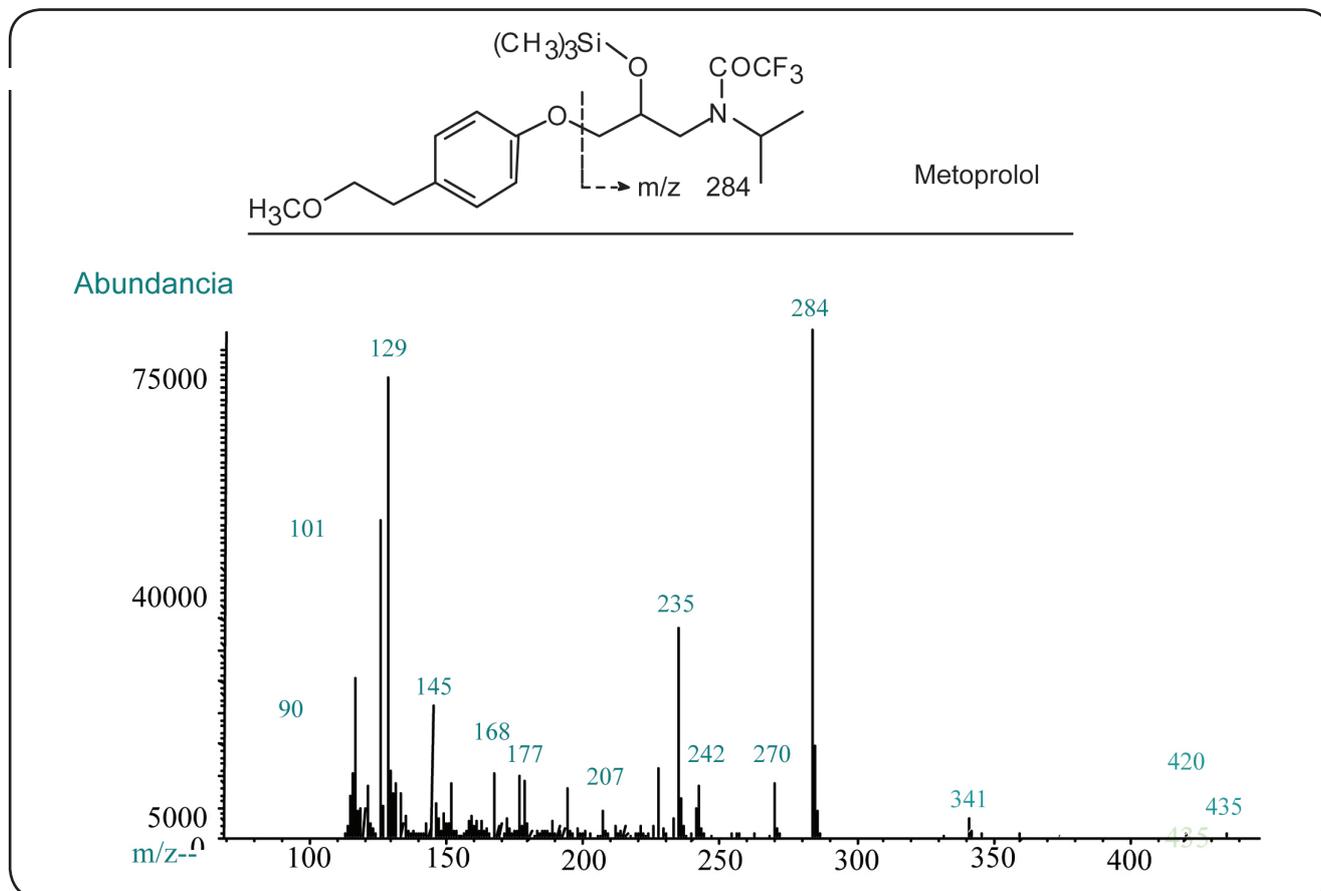


Figura 6: Espectro de masa del metoprolol (los números señalan los pesos relativos de los fragmentos del compuesto cuyo peso es de m/z 435). El dibujo de arriba muestra la molécula de metoprolol, y señala dónde ocurren las rupturas principales, que dan lugar a los fragmentos más característicos de esta familia de compuestos.

La química medicinal, seguirá con toda su potencialidad desarrollando compuestos que ayuden a la salud, que eviten el dolor, y que puedan ser, incluso, estimulantes poderosos. A su vez, la química analítica continuará desarrollando técnicas, equipos y procedimientos cada vez más precisos, sencillos de operar y con mayor sensibilidad, para detectar unívocamente cantidades cada vez más pequeñas de sustancias.

Mientras tanto, muchos de los deportistas profesionales seguirán creyendo que es posible tener una "ayuda mágica", con sustancias que nadie detecte. En nuestro país el Área de Prevención y Control de Doping de la Secretaría de Deporte realizó hace algunos años un estudio en conjunto con la Cátedra de Introducción a la Investigación del Instituto "Dr. Enrique Romero Brest", encuestando a 368 jóvenes estudiantes de Educación Física. Se buscaba conocer el pensamiento sobre el doping de los jóvenes vinculados al deporte. Respondieron el cuestionario 56 % de varones y el 44 % de mujeres, con un rango de edades que osciló entre 15 y 25 años, con un promedio de 19-20.

Al ser preguntados acerca de por qué del uso drogas en el deporte, el 95% respondió que busca como individuo mayor éxito deportivo y mejores marcas deportivas; y solamente el 5% restante hizo referencia a presiones externas a los deportistas. Por otro lado, la mayoría opinó que evitar el doping es posible, siendo el aumento de controles y penas la mejor manera de lograrlo. El fácil acceso a las drogas y el poco control, son las respuestas con mayor consenso a la hora de explicar las razones que se oponen más fuertemente a su erradicación definitiva (D'Angelo y cols., 2005).

En otra encuesta, esta vez realizada por la revista *Sports Illustrated* entrevistando a un grupo elite de atletas olímpicos (Baron y cols., 2007), uno de las preguntas realizadas fue: "Si se les da una sustancia que provoque un aumento de rendimiento sustancial para ganar, y que además no sea captada, ¿la tomaría?". Un 98% de los atletas respondieron "Sí". Al mismo grupo se les repreguntó: "Si se les da una sustancia que mejore el rendimiento de manera tal de ganar todas las competencias durante 5 años sin ser descubiertos, pero el resultado fuera la muerte, ¿la tomaría? Más del 50% dijo "Sí".

La cuestión del éxito deportivo es crucial en el problema del dopaje, y la controversia tiene muchos lados que aportan a la discusión que van desde lo puramente deportivo, hasta los intereses de nacionalidad, de raza, y el dinero. En toda esta ensalada de incumbencias, la química pone su granito de arena, y lo hace desde su costado afirmándose en lo que sabe hacer muy bien: mostrar evidencias concretas de los hechos. Evidentemente, la química es necesaria, pero no suficiente para solucionar el problema del dopaje. La discusión sigue abierta.

Referencias bibliográficas

- Baron D., D. M. Martin y S. Abol Mag, (2007). Doping in sports and its spread to at-risk populations: an international review, *World Psychiatry* 6(2) pp. 118–123.
- D'Angelo C. P., M. Nápoli y Diana Solis (2005). Percepción social sobre el doping y los sistemas de prevención en una población de estudiantes de educación física. www.sedronar.gov.ar/images/novedades/biblioteca/percepcion%20doping.pdf; www.efdeportes.com/efd80/doping.htm.
- Galagovsky L. R. (1999). Química orgánica. Fundamentos teórico-prácticos para el laboratorio. EUDEBA Buenos Aires.
- Hardman J. G., L. E. Limbird y A. G. Gilman (2001). Goodman y Gilman, Las bases farmacológicas de la Terapéutica; Mc Graw Hill/Interamerica de España, Madrid.
- Holland H. L., P. R. P. Diakov y G. J. Taylor (1978), *Can. J. Chem*, 56 pp 3121.
- Hope Moncrieff, A. R., (1995) Mitología Clásica, Serie Mitos y Leyendas, M. E. Editores S.L., Madrid.
- Milano M. y G. Menéndez (1998) Manual de Farmacología del Doping, Editorial Alfa Beta, Buenos Aires.
- Repetto M, (1995) Toxicología Avanzada, Ed. Díaz Santos; Madrid.
- Sagan C., Ann Druyan y Steven Soler (1980). *Cosmos: Un Viaje Personal*. Serie de televisión de divulgación científica y libro editado en castellano por editorial Planeta.
- Sullivan J. E. y cols. (1977) Preparation and Gas Chromatography of highly volatile trifluoroacetylated carbohydrates using N-Methyl-bis(trifluoroacetamide), *J. of Chromatography Science* 15, pp196.
- Vogel A.I., A.R. Tatchell, B.S. Furnis, A.J. Hannaford y P.W.G. Smith (1996) *Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry*. Prentice Hall. México.
- Yoo Y. y cols. (1995) Determination of nalbuphine in drug abusers urine. *J of Analytical Toxicology* 19, pp 120 y A. H. B. Wu y cols. (1993) Extraction and simultaneous elution and derivatization off 11-nor-9-carboxy-tetrahydrocannabinol using Toxi-lab SPEC prior to GC/MS analysis of urine. *J. of Analytical Toxicology* 17, pp 215.

36

¿EVITAR EL DOLOR? ¿BÚSQUEDA DE UNA FALSA Y EFÍMERA FELICIDAD?... DROGAS DE USO Y ABUSO

Dr. Marcelo Wolansky* y Dra María Victoria Rossetti**

Área Toxicología y Química Legal, Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
Email: marcelow@bg.fcen.uba.ar

Introducción

El hombre a través de toda su historia ha sentido *curiosidad* por la gran variedad de sustancias químicas disponibles en la naturaleza¹. Desde las antiguas culturas de Oriente y Occidente el hombre trató de aislar, concentrar y aplicar compuestos químicos naturales para satisfacer demandas muy diversas. *Pócimas* preparadas a partir de partes de animales, de vegetales, de algas y de hongos se aplicaban en forma empírica como medicinas: la *prueba-y-error* definía cuáles *tratamientos* quedaban y cuáles no. A través de los últimos siglos ha existido una amplia diversidad de creencias sobre cómo se curan las enfermedades y para qué son útiles las sustancias químicas: se han usado para excitarnos o relajarnos, para inducir el sueño o prolongar la vigilia, para brindar habilidades especiales a los poderosos, para envenenar al enemigo o al heredero del rey, para alcanzar mayor concentración, alerta y creatividad, o para desconectar nuestros sentidos cuando el sufrimiento físico o psíquico resultan insoportables. Por ejemplo, para tratar el dolor, los egipcios usaron el opio, los incas las hojas de coca, y los aztecas el peyote (ver las secciones que siguen).

El uso no terapéutico de sustancias químicas se asocia a una gran variedad de comportamientos, desde la *ingesta ocasional* de un vaso de vino o una taza de café, al *consumo compulsivo, sin capacidad de auto-control*, de sustancias estimulantes o depresoras del Sistema Nervioso Central² (SNC). Entre los *estimulantes* cerebrales más famosos se incluyen las sustancias denominadas *metil-xantinas* (presentes en el té, café, chocolate, mate y en algunas bebidas gaseosas del

tipo cola), las anfetaminas y la cocaína. Entre los *depresores* del sistema nervioso con mayor frecuencia de abuso se encuentran el alcohol, los opiáceos, y los solventes volátiles. La nicotina, alcaloide de olor intenso enriquecido en las hojas de tabaco, tiene acciones primariamente estimulantes, si bien luego de sus efectos agudos puede provocar cierta depresión neurológica. Se debe aclarar aquí que la clasificación farmacológica de sustancias en "estimulante" o "depresora" en general se basa en la acción primaria más relevante a nivel molecular y celular; algunas sustancias producen un espectro más complejo de efectos que no permite asignarles uno u otro "sello" en forma indiscutible. Existen así varios casos donde se complica la aplicación de este simple criterio de clasificación dual. Un ejemplo de esto último sería la marihuana (ver más adelante).

El uso social de drogas ha tenido y tiene un rol muy importante en celebraciones, ofrendas, rituales de amistad, etc. Por ejemplo, el fin de una guerra podía quedar sellado fumando la *pipa de la paz*; para el Cristianismo el vino simboliza la sangre de Jesús; y suelen realizarse en grupos actividades tales como beber café con amigos, fumar marihuana u opio, inhalar solventes aspirando pegamentos, etc. Las consecuencias para la salud de cada uno de estos rituales son diferentes, según la *tolerancia física y psíquica* de cada ser humano a cada sustancia, y por los *riesgos* de autodestrucción que conlleva cada uno de estos consumos. En la Figura 1 se presentan algunas imágenes asociadas a estas actividades.

La *adicción* a drogas o *droga-dependencia*, significa que una persona ha llegado a un grado severo

*. Investigador Adjunto CONICET, Profesor Adjunto, Depto. Química Biológica, FCEyN (UBA). Jefe del Laboratorio de Estimación de Riesgo por Exposición a Mezclas Químicas Neurotóxicas. Su tesis doctoral (1993-1999) trató sobre los cambios neuroquímicos y comportamentales permanentes que se observan en la rata en la adolescencia y la adultez luego de la exposición a psicofármacos durante la gestación y la lactancia.

** Investigadora Adjunta CONICET, Profesora Adjunta, Depto. Química Biológica, FCEyN(UBA). Docente responsable de Unidad "Drogas de abuso" en las materias del Área Docente Toxicología. Directora del Centro de Investigaciones sobre Porfirinas y Porfirias (CIPYP)-UBA-CONICET. Encargada del laboratorio de Biología Molecular del CIPYP. A cargo de la supervisión de los estudios moleculares para el diagnóstico genético de pacientes con Porfirias y Patologías Asociadas. [Porfirias: patologías toxicogenéticas; pueden desencadenarse luego de la exposición a sustancias tóxicas, incluyendo drogas de abuso].

1. En este artículo, "droga" se denomina a cualquier sustancia química que tiene la capacidad de producir cambios en el organismo humano que resultan en alteraciones funcionales o estructurales del Sistema Nervioso.

2. "Estimulante" y "depresor" refieren a la acción sobre la probabilidad de "disparo" (liberación de señales) de las células neuronales cuando son expuestas a la sustancia. Las neuronas se "comunican" entre sí (y con otros sistemas celulares del cuerpo) por señales eléctricas y químicas. Una vez que la sustancia "neuroactiva" llega a la membrana externa de la neurona, esta tiene moléculas (receptores) y poros (canales de iones) que pueden ser "blancos" moleculares. Hay uno o más tipos de receptores y/o canales iónicos específicamente sensibles a cada droga de abuso. "Sensible" significa que el contacto con la sustancia inicia una serie de cambios químicos dentro de la neurona que culmina con un aumento o disminución en la cantidad de veces por segundo que una neurona envía señales eléctricas y químicas a las neuronas en contacto que reciben el "mensaje". Ser estimulante significa que los cambios mediados por los receptores y/o canales resultan en un aumento de la probabilidad de "disparar" señales en la siguiente ocurrencia de estímulos químicos. Un depresor disminuye la capacidad de las neuronas para responder a nuevos pulsos de señales. Cada región del SNC tiene un determinado patrón temporal y espacial de probabilidad de transmisión de señales que se considera "normal". En general, saliendo de ese rango denominado fisiológico se inicia una señalización alterada incompatible con la función central del SNC como supervisor y modulador principal de la función de todos los órganos y sistemas del cuerpo.



Figura 1.: Uso social de drogas recreativas. Desde la antigüedad el hombre ha utilizado sustancias para promover y facilitar la interacción social, prestando poca atención a los riesgos que esto implica 1. Reunión de fumadores de Opio en China: <http://ceobarloventoetica.blogspot.com/2011/01/guerras-del-opio.html>. 2. El café, acompañante predilecto de reuniones de amigos (<http://mediosfera.wordpress.com>). 3. Fumado de marihuana en grupo (<http://www.swissinfo.ch>). 4. Indios nativos y colonialistas ingleses fumando la "pipa de la paz" en Nueva Inglaterra (actualmente USA) (<http://faculty.polytechnic.org>). 5. La cerveza acompañando una reunión de amigos en la Fiesta de la Cerveza, Chile (<http://oloratv.blogspot.com>).

de dependencia del consumo para poder sostener su vida cotidiana. Se trata de una enfermedad crónica y recurrente, en la cual se verifican *cambios estructurales y funcionales en el cerebro*, durante y aún muchos años después de los episodios de consumo repetido. Los casos fatales por adicción se originan por efectos acumulativos, sobredosis, y, muy frecuentemente, por accidentes suscitados por las alteraciones sobre el SNC bajo la acción de drogas.

Existen muchas sustancias adictivas, y muchas formas de exponerlas y clasificarlas. Las drogas de abuso se pueden clasificar según sus efectos, su categorización legal o su peligrosidad. En este artículo se han seleccionado algunas de las drogas adictivas más frecuentes en nuestra sociedad, clasificándolas en función de las clases toxicológicas a las que pertenecen y sus efectos principales:

- **Alucinógenas:** Sustancias que alteran el estado de conciencia y la percepción de la realidad, provocando sensaciones extrañas, ilusiones y alucinaciones visuales, auditivas, olfativas y táctiles. Nuestro cerebro "ve" un mundo distinto al real.
- **Depresoras:** Sustancias que atenúan o inhiben los mecanismos centrales de vigilia y pueden provocar, según la dosis administrada, diferentes grados de inactivación (relajación, sedación,

somnolencia, anestesia e, incluso, estado de coma).

- **Estimulantes:** Sustancias que producen euforia, sensación de aumento de la energía y mayor actividad motriz, estimulación del sistema cardiovascular, y disminución tanto de la sensación de fatiga, como del sueño y del apetito.

¿Cómo se investiga sobre los efectos adversos de las drogas psicoactivas?

Hay una gran variedad de métodos para el estudio de la problemática social, económica y legal sobre la producción, uso y abuso de drogas; estos temas quedan fuera de la expectativa del presente capítulo.

Investigar sobre la naturaleza química de las drogas de abuso, sus efectos bioquímicos, fisiológicos y psíquicos, tanto en el caso de un único episodio de consumo, del uso repetido o del abuso incontrolable de una única droga o una combinación de sustancias, requiere técnicas diferentes. En casi todos los casos se utilizan animales de laboratorio y modelos experimentales que permitan realizar estudios válidos según el consenso de los investigadores especialistas. Los animales (rata, ratón) proveen información valiosa, por ejemplo sobre los mecanismos biológicos a nivel molecular, celular y de comportamiento que participan en

el inicio de la conducta adictiva. Sin embargo, son de limitada utilidad para predecir sensaciones y conductas reactivas que puede experimentar el ser humano antes, durante y luego de un período de adicción compulsiva. Aun en el presente es un gran desafío científico el diseño de estrategias válidas para reproducir y cuantificar estados de ánimo propios de la especie humana (por ej., tristeza, alegría, frustración) en un roedor³. En muchos casos los modelos animales son, por eso, necesarios pero no suficientes para encontrar las respuestas que buscamos.

Diversas especies de animales de laboratorio han demostrado una tendencia a la auto-administración de la mayoría de las drogas consideradas de abuso por el hombre: el patrón de conducta que exhiben es comparable al observado en humanos; sin embargo, en condiciones naturales, los animales no llegan a poner en peligro su vida, o sea disponen de comportamientos inhibitorios que actúan bastante antes de que aparezca el riesgo de muerte. En este sentido, parecería que no es el "instinto animal" (al cual consideramos subyugado al raciocinio en el ser humano) lo que "falla" en el adicto, sino aspectos propios de la especie humana.

El objetivo de este artículo es proveer herramientas de criterio para que cada lector pueda reflexionar sobre los riesgos de algunas de las drogas de abuso, evitando la demonización del consumo basada en mitos sin fundamento científico, o la banalización de los peligros reales para el bienestar humano.

Sustancias alucinógenas

Por costumbres milenarias el hombre ha transmitido de generación en generación el conocimiento de plantas con potencial alucinógeno. Muchas comunidades las han empleado en ceremonias curativas, místicas o sagradas, muchas veces con consecuencias trágicas. Culturas primitivas utilizaban extractos alucinógenos porque le permitía al sacerdote, brujo, o curandero, así como también al individuo receptor del tratamiento "terapéutico", una comunicación con el "mundo espiritual". Por aquellas épocas los alucinógenos se convirtieron en la base de prácticas médicas. En cambio, más recientemente se han utilizado para facilitar una "evasión placentera de la realidad"⁴.

Los alucinógenos producen alucinaciones, que son

estados de percepción alterada de la realidad: creemos estar en una situación ambiental distinta al mundo real que nos rodea, se tiene un estado alterado de la conciencia, sin pérdida de la misma. Prácticamente todos los sentidos participan en la percepción de esa "realidad ficticia". Usuarios del alucinógeno denominado LSD (ver más abajo) han relatado que sentían un estado de embriaguez durante la cual la cara de una persona se convertía en una caricatura fosforescente azulada violeta, y se agrandaba o reducía, como si mirara a través de un teleobjetivo. Las imágenes visuales se perciben como olores... Además, se siente un "bombardeo" de estímulos visuales, auditivos y táctiles distorsionados respecto al medio real que los origina. Finalmente aparece un estado de gran cansancio y sensación de vergüenza a medida que disminuye la concentración de la droga en el SNC.

Los signos físicos principales durante el consumo de alucinógenos son: dilatación pupilar, taquicardia, sudoración, palpitaciones, visión borrosa, temblores e incoordinación. Los cambios de percepción pueden generar que, por ejemplo, una persona no se dé cuenta del peligro de arrojar a través de un ventanal de vidrio desde un décimo piso..., o inducirlo a frenar abruptamente en una autopista en hora pico yendo a 100 km por hora, respondiendo al simple cruce de una hoja de árbol sobre su parabrisas... Todas reacciones insólitas si se tiene en cuenta la "realidad real".

Los alucinógenos se consumen principalmente por vía oral, y en algunos casos inhalatoria. Por ser compuestos muy potentes, en muchos casos el consumo de unos pocos miligramos basta para producir trastornos de la representación de la realidad en nuestro cerebro. La mayoría de las sustancias neuroactivas alucinógenas no causan dependencia, pero actúan como generadores de condiciones que movilizan al consumidor a iniciar el uso de otras sustancias capaces de producirla.⁵

Hay plantas y hongos de los que se extraen drogas alucinógenas *psicodélicas* (del griego *psiké* y *deloun*, que significa manifestación de la mente, el espíritu o el alma). Como ejemplos de organismos naturalmente portadores de estas drogas se puede citar a plantas y arbustos como la Mandrágora, el Beleño, la Atropa Belladona y la Ayahuasca, el cactus Peyote, y los hongos Cornezuelo del centeno, Amanita muscaria y Nanácatl (ver Figura 2).

La Amanita muscaria (ver Figura 2) es un hongo⁶

3. Por ejemplo, para evaluar la ansiedad, hay una aproximación metodológica que se basa en el miedo natural de los ratones hacia los espacios iluminados y abiertos comparado con los ambientes cerrados en penumbra. Esto se puede cuantificar tanto con equipos sofisticados como con aparatos caseros. Una alternativa es construir un laberinto de paredes opacas y altas, con una porción central que carece de paredes (o sea, un "puente" bien iluminado, con vista directa al "precipicio"). Se estudia un animal a la vez. Se coloca cada rata o ratón en el puente y se mide durante 5 minutos su tendencia a la exploración de todo el laberinto. Se comparan los tiempos de permanencia en parte cerrada vs. parte abierta, y/o se cuenta el número de "cruces" a través del puente abierto en el tiempo total del experimento. El animal, naturalmente, tiende a evitar transitar por el puente. Drogas que producen ansiedad (drogas "ansiogénicas") en general inducirán una reducción de cruces y mayor fracción del tiempo utilizado en las áreas cerradas (en comparación al grupo de animales tratados con placebo). En cambio, si existe acción "ansiolítica" se observa un aumento del tránsito a través del puente. La identificación y cuantificación de los distintos efectos, que permite clasificar una droga neuroactiva como depresora o estimulante, requiere utilizar una batería de ensayos funcionales y técnicas estadísticas (Marder y Wasowski, 2009).

4. En los años '60, con el surgimiento del movimiento "hippie", aumentó significativamente el uso recreativo-social de alucinógenos.

5. Puede recordarse el caso del suicidio masivo (¡casi 1000 personas!) por indicación del Pastor Jim Jones, ocurrido en Guyana en 1977. Este líder religioso y sus seguidores eran adictos al ácido LSD y a la Marihuana, lo cual sería causa del trastorno de la interpretación del mundo que veía Jones y de los consejos extremistas que transmitía a su feligresía.

6. Entre sus compuestos alucinógenos se aislaron los denominados muscimol, muscarina y ácido iboténico. Las dosis tóxicas de estas sustancias para humanos, cuando se ingieren por vía oral, se encuentran bien por debajo de 1 g. Sin embargo, el peligro puede variar mucho porque la concentración de estas sustancias varía con la sub-especie de Amanita y con la época del año en que se cosecha el hongo para su consumo.



Amanita muscaria



Atropa belladonna



Estatua de Xochipilli



Ayahuasca



Peyote



Espiga de centeno con cornezuelo y ampliación de la imagen del hongo

Figura 2: Plantas y hongos alucinógenos (imágenes tomadas de Google).

que tiene la forma y colores típicos de los dibujos de casitas tipo hongo en las que viven enanitos en las ilustraciones de conocidos relatos para niños. Es posible que estos relatos fantásticos provinieran de historias originadas en individuos que hubieran consumido tales hongos.⁷

La Belladona tiene flores moradas acampanadas muy llamativas y bonitas, y unos frutos negros redonditos (bayas) que huelen muy mal (ver Figura 2). Los alcaloides que produce (entre ellos atropina; ver Figura 3) son muy tóxicos y peligrosos: el consumo de unas pocas bayas de esta planta puede producir un coma inmediato y llegar a matar a un hombre adulto en pocos minutos. La Belladona tiene efectos hipnóticos y anestésicos, disminuye la secreción de las mucosas, puede paralizar los sistemas digestivo y respiratorio, y producir fuertes alucinaciones. Hasta el siglo XIX se utilizaba comúnmente en rituales de brujería para “conectar con los espíritus”, aliviar el dolor de muelas y “viajar a otros mundos”. Dado que la diferencia entre la dosis efectiva y la dosis letal de las mezclas de alcaloides de Belladona es muy estrecha, el extracto de la planta no puede ser consumido por vía oral sin peligro de muerte. Se cree que una de las formas en que las “brujas” consumían la Belladona era untando palos con frutos de esta planta –y también con otras plantas alucinógenas, como la Mandrágora-, y se ponían este palo entre las piernas, en contacto con la

región pubiana; de allí posiblemente provienen las historias de brujas que podían “volar” montadas en palos de escoba. La industria farmacéutica moderna utiliza alguna de las propiedades de la atropina por ejemplo para la oftalmología, en la producción de colirios que dilatan la pupila.

La Ayahuasca es una liana que contiene alcaloides derivados del aminoácido triptófano (Nota: el triptófano es uno de los aminoácidos “esenciales” que nuestro cuerpo no es capaz de fabricar, por eso debemos incorporarlo a través de la dieta). El Teonanácatl fue una denominación prehispánica para otro hongo que también contiene alcaloides alucinógenos derivados de este aminoácido (ver Figura 3). Estos hongos fueron usados por chamanes aztecas y mayas para sus ritos mágicos. Se conocen numerosas estatuillas construidas por pueblos precolombinos representando a estas variedades de hongos (ver Figura 2). Su ingesta fue prohibida desde 1656.

A continuación se detallarán aspectos de dos tipos de drogas alucinógenas *la dietilamida del ácido lisérgico* (conocido por el acrónimo “LSD”) y *la mescalina*, provenientes de hongos y cactus, respectivamente. Como otros alucinógenos, el LSD y la mescalina ocasionan una distorsión profunda de la percepción de la realidad, y también producen cambios emocionales rá-

7. Se cree que Lewis Carroll, el autor de *Alicia en el País de las Maravillas*, se inspiró en relatos de prisioneros rusos que habrían ingerido hongos de este tipo (G.H. Lincoff, D.H. Mitchel, I.E. Liberman. 1977. *Toxic and Hallucinogenic Mushroom Poisoning: A Handbook for Physicians and Mushroom Hunters*. Van Nostrand Reinhold, New York).
8. El consumo es típicamente por vía oral, y el denominado “mal viaje” que se experimenta dura hasta 6 hs o aún más.

pidos y agudos⁸; estos alucinógenos también pueden inducir trastornos de alimentación y alteración de la conducta sexual, cambios en la percepción del dolor, y fallas de memoria y aprendizaje. Como particularidad -que no se observa por lo general con las otras drogas mencionadas en este artículo- puede experimentarse repentinamente "*flashbacks*", es decir, recurrencia de alucinaciones... ¡hasta *un año después* de haber terminado el consumo de LSD! Es decir, las consecuencias de una adicción (aun cuando esta haya sido por corto tiempo) pueden aparecer hasta varios años luego del período de consumo.

Alucinógenos del hongo *Claviceps purpurea* (origen de sustancias tipo LSD)

Así como solemos ser cuidadosos seleccionando hongos comestibles por el temor a intoxicaciones graves, los pueblos originarios de Oriente y Occidente han aprendido a identificar hongos que poseen propiedades alucinógenas. Entre los más famosos están el *Claviceps purpurea* (*cornezuelo del centeno* en la jerga popular) del cual se obtiene la familia de alcaloides derivados de la *ergotamina*, de acción tan poderosa que la ingestión de mínimas cantidades (un "pedacito") del hongo puede matar a un adulto de 70 kg.

Trabajando con esta familia de compuestos, en 1938 el químico alemán Alfred Hofmann sintetizó varios derivados de la ergotamina. Uno de ellos fue el LSD, que resultó un alucinógeno sumamente activo. En la Figura 3 se muestra la ergotamina y en ella se enfatiza la similitud estructural con el LSD.

En la Edad Media, las clases humildes consumían pan hecho preferentemente con harina de centeno (el pan de trigo era un lujo que sólo disfrutaban quienes podían pagarlo). Bajo ciertas condiciones climáticas el hongo encuentra un ambiente favorable para su multiplicación y desarrollo en el cereal centeno. Por aquellas épocas, cuando esto sucedía se contaminaba la harina con las sustancias tóxicas alucinógenas. Los efectos sobre el Sistema Nervioso, incluyendo trastornos mentales y alteraciones neuromusculares en los miembros (especialmente los inferiores), generaban una movilidad incontrolada en los sujetos intoxicados. De allí la alusión (en registros de la época) a los "bailes de alucinados" de gentes "endemoniadas, poseídas", así como los relatos sobre "apariciones de brujas y fantasmas", en las regiones del norte de España.

En la actualidad, los adictos al LSD lo consumen generalmente por vía oral, como tabletas, cápsulas y ocasionalmente líquidos. A menudo es agregado a un papel absorbente que se divide en pedazos decorativos, cada uno de los cuales equivale a "una dosis". El consumo continuo de LSD por meses o pocos años puede originar *tolerancia*; es decir, el adicto precisa cada vez más cantidad de droga para alcanzar la misma intensidad del efecto "deseado". Sin embargo, cada acción tóxica (en cerebro, en corazón y en otros órganos) no progresa con el mismo patrón de aumento de tolerancia consumo tras consumo. Así, el

aumento de la dosis consumida pone al individuo en riesgo de muerte, especialmente si tiene alguna susceptibilidad cardiorrespiratoria, porque se precisa cada vez más droga para "el viaje", pero con menos droga se alcanza una intoxicación letal a nivel de los efectos cardiovasculares.

Alucinógenos del cactus *Peyote* (origen de sustancias tipo mescalina)

Otro organismo con propiedades alucinógenas es el cactus *Peyote* (especie *Lophophora williamsii*), que crece en México y el sur de Estados Unidos (ver Figura 2), si bien también se lo puede encontrar en zonas de Perú y el Norte Argentino. El Peyote contiene *mescalina* (ver Figura 3), una sustancia que también puede ser sintetizada químicamente en laboratorio (y uno de los primeros alucinógenos aislados por el hombre). El extracto de Peyote era muy usado por los pueblos originarios de la región oeste de Estados Unidos de América (EEUU). Sus efectos alucinógenos son mayoritariamente visuales; no produce adicción física. La mescalina se encuentra en una mezcla de composición química variable que principalmente se concentra en la piel verde del cactus Peyote; por lo tanto, sus preparaciones caseras contienen dosis muy diversas de mescalina. Así, dada una preparación de dosis desconocida, es imposible predecir si el consumidor experimentará placer... o arriesgará su vida... La parte superior del cactus Peyote es conocida como botones de la corona; éstos se secan y luego se pueden consumir por masticado, o transformados en polvo para preparar bebidas acuosas. Debido a que el extracto es muy amargo, a veces se prepara una infusión haciendo hervir el cactus varias horas. La dosis alucinógena de la mescalina es de alrededor de 0.3 a 0.5 g para una persona de 50 kg. El "viaje" inducido por estas drogas dura típicamente aprox. 12 hs. Los efectos secundarios incluyen ansiedad, taquicardia, malestar, diarrea, vómitos y dolor de cabeza. A veces la preparación consumida contiene un poco de otras sustancias del cactus que inducen náuseas y vómitos severos. Estas reacciones fisiológicas eran consideradas por los chamanes como "hechos purificadores".

Marihuana

La *marihuana* no es una droga, sino una mezcla química que se extrae de la planta de cáñamo *Cannabis sativa*. La principal sustancia psicoactiva en la marihuana es el Δ^9 tetrahidrocanabinol, también conocido por la sigla THC. La marihuana se conocía y utilizaba como planta medicinal ya en la era precristiana (por ej., en China). En la actualidad no tiene aplicación en la práctica clínica excepto en casos particulares; por ejemplo, existen algunas evidencias sugiriendo su eficacia terapéutica en el tratamiento de las náuseas y la caída severa de peso asociados a la evolución de ciertos tipos de cáncer y otras enfermedades graves.⁹

La marihuana generalmente se fuma en forma de cigarrillo ("porro", "canuto", "churro", etc.), o puros y cigarros ("blunts") rellenos de la picadura portadora de la droga, con inicio de efectos evidentes a los po-

9. Se fabrican píldoras con THC, que se venden bajo receta médica.

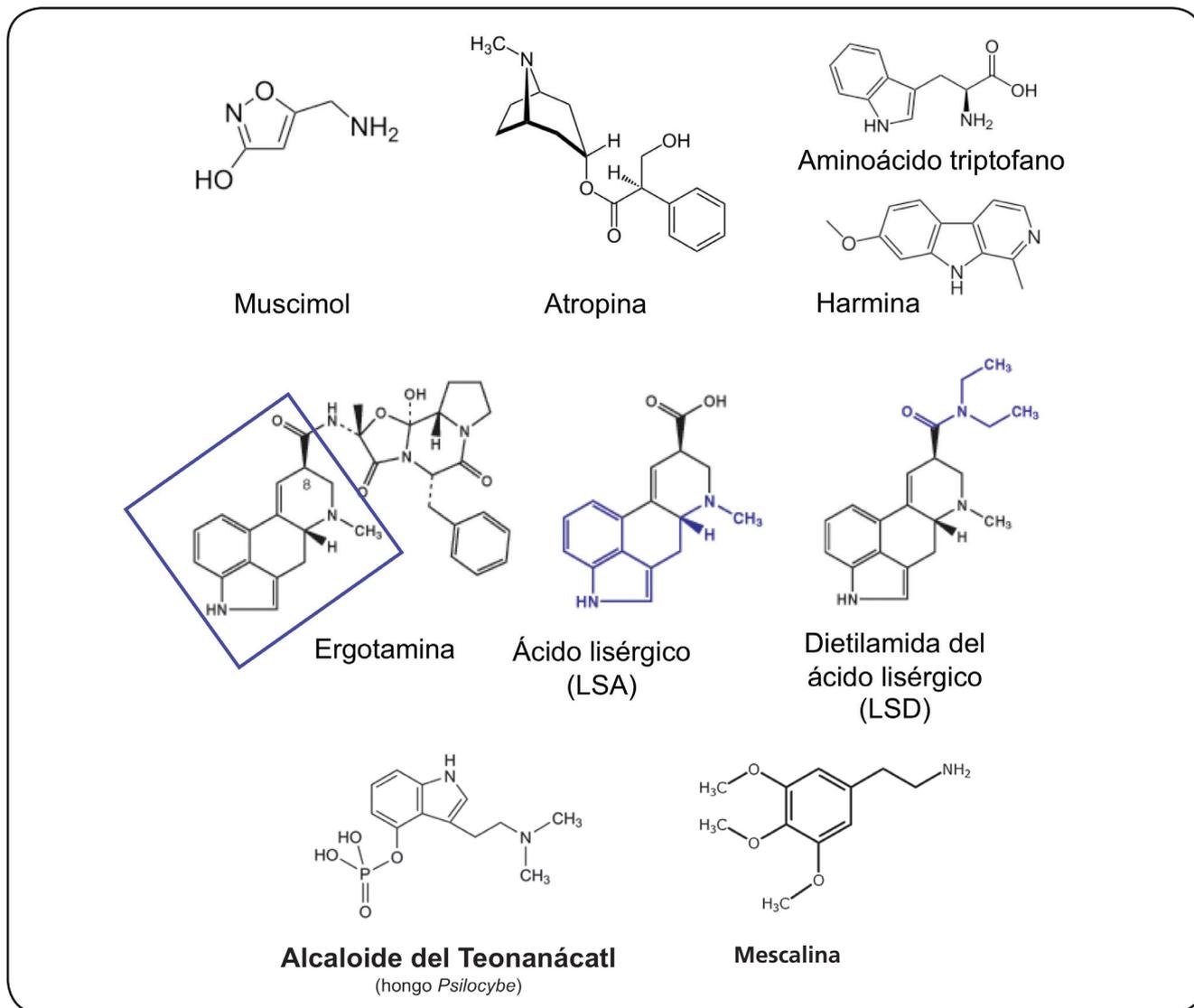


Figura 3: Diversidad de estructuras químicas de compuestos alucinógenos naturales o sintéticos. Véase la similitud entre las estructuras químicas de la ergotamina, el LSA y el LSD, los cuales comparten un patrón similar de neurotoxicidad en humanos, incluyendo alta capacidad como alucinógenos.

cos minutos. También, se puede mezclar con comida o ingerirla como infusión; sin embargo, se sabe que la ingesta oral tiene menos eficacia (sólo 20-30% de lo ingerido queda disponible para ejercer su acción), y se debe esperar de 30 a 120 min hasta que llega el inicio de los efectos alucinógenos. Su forma más concentrada y resinosa se llama *hachís*, y cuando está en forma de líquido pegajoso de color negro se conoce como *aceite de hachís*; éste se obtiene por destilación de la resina de las flores. En este caso, la concentración de THC es de un 40%, mientras que es de un 10% en las hojas.

¿Qué alteraciones ocurren en el cerebro después de consumir marihuana? Cuando se fuma la marihuana, el THC pasa rápidamente de los pulmones al torrente sanguíneo. La sangre lo transporta al cerebro y a otros órganos del cuerpo, donde actúa sobre sitios específicos llamados *receptores de endocannabinoides*. Las neuronas naturalmente sensibles a THC en condiciones fisiológicas (o sea, independientemente de que se consuma o no drogas) están involucradas en procesos de placer, memoria, pensamiento, concentración, apatía, percepciones sensoriales, del tiempo y del movi-

miento coordinado. Por eso, cuando se consume THC, se producen dificultades para pensar y para solucionar problemas, y aparecen trastornos de la memoria y de aprendizaje, arritmias e insuficiencias coronarias. Las investigaciones muestran que el impacto adverso de la marihuana puede durar días o hasta semanas después de que los efectos agudos han desaparecido. Un consumidor cotidiano de marihuana es posible que esté "autocondenándose" a vivir con un nivel intelectual inferior a su capacidad natural...

Al fumar marihuana se inhalan también otras sustancias que, en conjunto, tienen efectos agudos y crónicos en pulmón y corazón; por lo tanto, puede reducirse la capacidad de defensa del sistema inmune. Además, ingresan al organismo neuroteratógenos y sustancias cancerígenas, algunas más potentes incluso que las incorporadas al fumar tabaco. Por eso, cuando la madre ha consumido marihuana durante la gestación aumenta la probabilidad de retraso madurativo del bebé y que el niño tenga trastornos funcionales de diversa gravedad durante su desarrollo.

Varios estudios han demostrado que existe una

asociación entre el consumo crónico de marihuana y una mayor incidencia de ansiedad, depresión, ideas suicidas y esquizofrenia, y hay evidencias indicando que cuanto más temprano comienza el consumo de la droga (por ej., en la infancia o en la pubertad), mayor es la vulnerabilidad al aumentar el riesgo de desarrollar más tarde trastornos psiquiátricos y la adicción a otras drogas (por ejemplo, cocaína).¹⁰ Por otro lado, episodios de consumo de una dosis alta de marihuana puede producir una reacción psicótica (incluyendo conductas bizarras de riesgo para el adicto y para su entorno). El THC afecta los reflejos, los movimientos y su coordinación.

Al intentar abandonar el hábito de consumir marihuana se genera un *síndrome de abstinencia* (sensación de malestar por caída de la droga en sangre). Los síntomas de este síndrome incluyen irritabilidad, dificultad para dormir, disminución en el apetito, ansiedad, e intensos deseos por seguir consumiendo la droga; todo lo cual dificulta la abstinencia. Estas sensaciones comienzan aproximadamente a las 24 horas del último consumo, llegando a su punto de máxima intensidad a los 2-3 días, con atenuación en un período de 1-2 semanas.

Existe el mito que las drogas recreativas siempre producen efectos placenteros, y que el problema sólo llegaría si se entra en adicción compulsiva.... Sin embargo, el efecto de la droga es variado: algunos consumidores sienten un estado de relajación y "buena onda"; pero también pueden sentir sed y mucha hambre; frecuentemente produce mucha ansiedad y se llegan a tener pensamientos paranoicos. También puede ocurrir que un sujeto perciba que no siente nada, con el peligro de que quiera, entonces, aumentar la dosis.¹¹

En 1948 la Organización Mundial de la Salud (OMS) concluyó que el uso de preparaciones derivadas de

Cannabis sativa es peligroso física, mental y socialmente: su uso intenso y prolongado (100 a 300 mg/día durante más de seis meses) produce en los adultos deterioro mental y físico, y en los adolescentes impide la adecuada maduración de la personalidad. Otras clasificaciones internacionales sobre trastornos mentales (Manual de Diagnóstico de Trastornos Mentales, versión DSM-IV) incluyen a la marihuana entre las drogas que inducen delirio, dependencia, y trastornos psicóticos; según la dosis y la susceptibilidad, la marihuana también produce alucinaciones. Pese a estas alertas aparece un fenómeno de tolerancia social ante el consumo de marihuana: como ejemplo basta saber que existe un "Palacio de la Marihuana" en Holanda (Figura 4).

Sustancias depresoras del sistema nervioso central: ¿panacea o engaño letal?

El Opio y los opiáceos

El *Opio* es una mezcla de sustancias narcóticas (narco = sopor) denominadas opiáceos, que se encuentran concentradas en la base de los cálices que albergan las semillas de algunas especies de *Amapola*, principalmente la especie *Papaver somniferum* o "adormidera" (ver Figura 5). La morfina es el opiáceo más famoso por su bioactividad. Los opiáceos se extraen de los cálices, incluyendo la parte contigua del tallo de sostén.

En las últimas décadas se han desarrollado otros compuestos opiáceos por modificaciones químicas de las sustancias naturales. Aquellos compuestos que son totalmente sintetizados en laboratorios por procesos químicos se denominan *opioides exógenos*; así como aquéllos que sintetiza el cuerpo humano se denominan *opioides endógenos*. Las *endorfinas*, *dinorfinas* y *encefalinas* son opioides endógenos que circulan naturalmente por el organismo humano; sus funciones fisiológicas continúan siendo estudiadas, pero se sabe

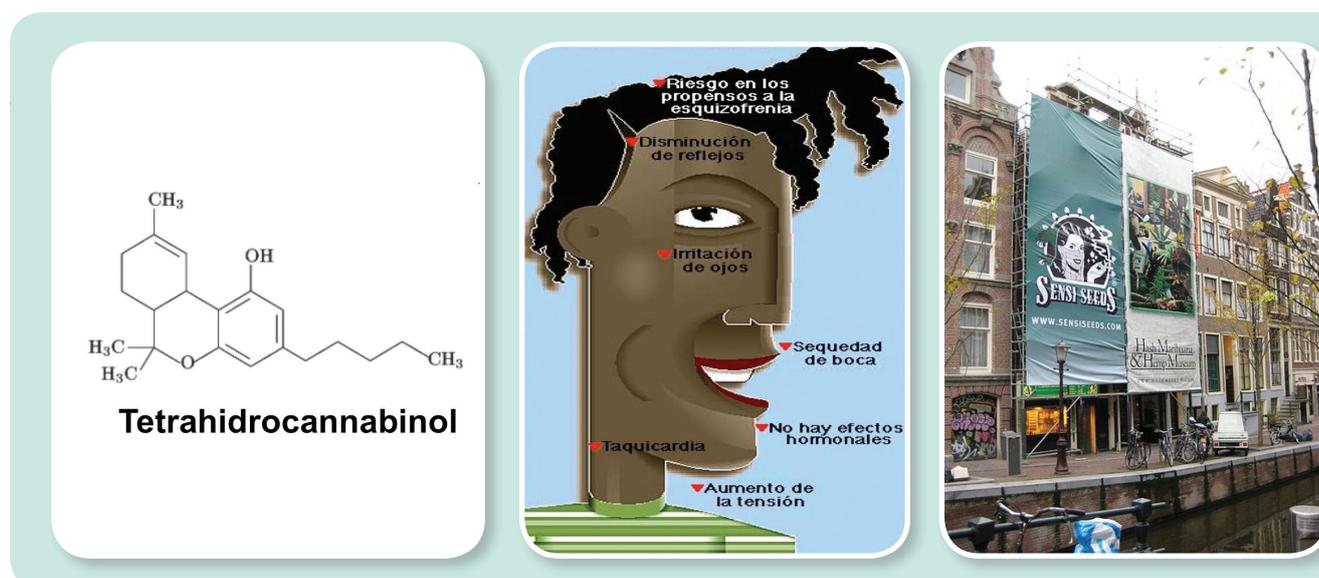


Figura 4: Marihuana: Estructura química del compuesto más activo (izquierda); efectos (centro); Palacio de la Marihuana en Amsterdam, Holanda (derecha) (<http://hashmuseum.com>).

10. Datos de USA indican que en los últimos 40 años la proporción de niños que fumaron al menos algunas veces marihuana durante la escuela primaria ha oscilado entre 30 y 60% (esto significa millones de niños!). La prevalencia de uso se reduce más tarde a ~20% entre adolescentes de hasta 18 años.

11. La concentración de THC es un factor determinante de la calidad e intensidad de los efectos (deseados e indeseados) de la marihuana. Los "porros" actuales tienen varias veces más concentración que los que se utilizaban 30-40 años atrás.



Figura 5: La amapola del Opio. Las semillas de la especie de amapola *Papaver somniferum* (vulgarmente llamada “adormidera”) contienen opioides naturales. Izquierda: vista de las cápsulas protectoras de las semillas (Dr. Jeremy Burgess. ScienceSource, Photo Researchers, Inc.). Derecha: afiche de la película *El Mago de Oz* (1939) donde un campo cultivado con adormidera induce un sueño eterno a Dorothy, el personaje principal del filme (Sitio oficial de MGM, www.mgm.com)

que participan en la atenuación de la percepción del dolor por medio de acciones específicas en *neuroreceptores de opioides*.

Los extractos de Opio se conocen y aplican en Medicina desde la Antigüedad: existen referencias de cultivo de estas plantas más de 4000 años atrás. Los “médicos” egipcios las usaban para controlar el dolor de parto. En China también existen registros de su aplicación medicinal desde tiempos remotos.

El aislamiento de la morfina (ver fórmula química en la Figura 6) en estado de alta pureza fue recién realizado en Alemania hace aproximadamente 200 años¹², luego de lo cual el uso farmacéutico de opiáceos y opioides adquirió cada vez mayor grado de sofisticación. En tiempos modernos, se movilizan por el mundo cientos de toneladas de Opio por año, gran parte por tráfico ilegal. El comercio del Opio mueve cifras millonarias y ha sido motivo de conflictos bélicos: Inglaterra contra China (dos guerras 1839-42 y 1856-60), y un factor determinante de la presencia militar de EEUU en Afganistán desde fines del siglo pasado.

La morfina y sus derivados se utilizan principalmente para el *tratamiento del dolor* (esto es, como analgésicos; *algia* = dolor) y la *inducción de narcosis* (sopor).¹³ La *acción depresora-soporífera* (“apagado” parcial del estado de conciencia) del Opio fue históricamente aprovechada en cirugía. Se pensaba que la inducción de la pérdida temporaria de la conciencia era *per se* suficiente para operar una persona “sin problemas”.... Sin embargo, el uso de preparaciones naturales con concentraciones variables de opiáceos producía casos fatales, dada la cercanía entre la dosis anestésica y la dosis tóxica letal (que produce depresión profunda de la función cardiorespiratoria). El poder analgésico de la morfina es hasta 10 o más veces más potente que el de las drogas analgésicas no opioides (por ej., el ácido acetilsalicílico [aspirina], o el paracetamol); y, además, llega a calmar dolores intensos que otros analgésicos no opioides no llegan a aliviar aunque se usen en dosis altísimas. Por eso, la morfina es una opción terapéutica en el manejo del dolor que permite reducir las cantidades administradas de otros anestésicos y analgésicos. El efecto analgésico de los opioides es altamente específico en los centros nerviosos que modulan el dolor: la sensación de calor y otras percepciones sensoriales aún no se han alterado cuando ya se siente el alivio del dolor. Sorprendentemente, no sólo se alivia el dolor físico sino también el psíquico. Así pacientes con infartos de miocardio han descrito que quedan libres de la aparición del “miedo a la muerte inminente”, característico de estos casos.

Los efectos tóxicos de los opiáceos incluyen episodios de euforia y déficits funcionales en múltiples órganos y sistemas, depresión de la funciones respiratoria e intestinal (constipación), pérdida de tono muscular, náuseas, somnolencia, sopor, labilidad de pensamiento, entre otros, hasta llegar a déficit cardiorespiratorio severo, coma o muerte, según las dosis y la vulnerabilidad de la persona. Un signo especial de utilidad en el diagnóstico de las intoxicaciones por consumo de estas drogas es la miosis¹⁴.

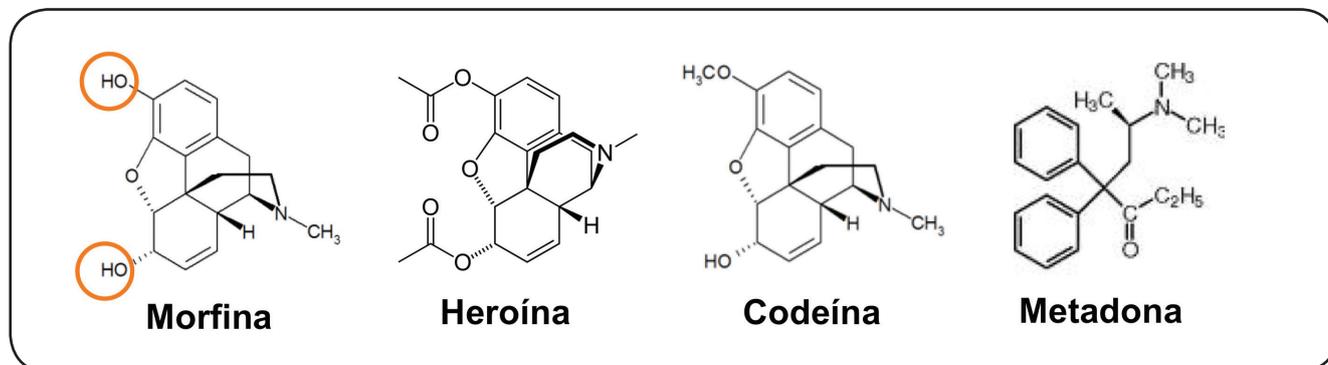


Figura 6: Estructuras químicas de potentes drogas depresoras del Sistema Nervioso Central. Morfina (principal narcótico natural contenido en el Opio), heroína y codeína (opiáceos semi-sintéticos obtenidos por diacetilación o monometilación de los hidroxilos de la morfina).

12. El origen de la morfina natural purificada no está totalmente definido. Una de las descripciones históricas (ver Gilman, Goodman, Rall & Murad, 1985) señala que fue en 1806 cuando Sertürner aisló y purificó una sustancia del Opio a la que llamó morfina en honor a Morfeo, el Dios griego de los sueños. A partir de 1827, Heinrich Emanuel Merck (en Darmstadt, Alemania) comenzó a comercializar morfina, con el resultado del desarrollo de la empresa química que aún hoy lleva ese apellido.

13. En la película “El Mago de Oz” se muestran campos de flores que producen “sueño eterno” (ver Figura 5).

14. La miosis es una reacción natural de contracción de la pupila del ojo al exponerse a una fuente luminosa intensa. Es también un signo diagnóstico del consumo de opioides, alertando sobre todos los otros efectos adversos que se disparan en paralelo.

La heroína (ver estructura química en la Figura 6) es un opiáceo semi-sintético (no existe naturalmente en las amapolas del Opio), famoso por su rol devastador en la masiva entrada a la drogadicción a opiáceos de los soldados norteamericanos que intervinieron en la Guerra con Vietnam. Otro nombre de la heroína es *diamorfina*, llamada así porque la heroína se transforma lentamente a morfina dentro del cuerpo. Si bien la heroína es más potente que la morfina para causar euforia y su efecto se manifiesta más rápidamente, los signos y síntomas clínicos son muy similares, siendo la morfina más potente para producir náuseas, constipación e hipotensión arterial. Aunque hoy parezca increíble, la heroína y otros opiáceos como la codeína fueron utilizados masivamente en el siglo XIX y principios del siglo XX en jarabes para la tos (¡para niños!) (ver Figuras 6 y 7). Actualmente, la codeína está prácticamente excluida del uso pediátrico por los riesgos de intoxicación.¹⁵

cansancio y somnolencia; dentro de la primera media hora aparecen hormigueos y picazones en todo el cuerpo.¹⁶ Con la acumulación gradual de la droga en cerebro aparece la analgesia (e hipersensibilidad a los estímulos táctiles a nivel cutáneo-superficial), y en dosis más altas aparece depresión generalizada que incluye déficit respiratorio, alucinaciones, pérdida de conciencia, etc. Dolores como los originados por úlceras gástricas avanzadas, un tumor maligno, una fractura ósea o una rotura de ligamento, dejan de percibirse con morfina, pero esta analgesia no tiene influencia en la evolución de la causa (etiología) del dolor. El uso endovenoso acelera la progresión de esta secuencia, pasando al sopor y las alucinaciones en pocos minutos.¹⁷ Los tratamientos terapéuticos con medicamentos basados en opiáceos se pueden administrar por vía oral o parenteral, dependiendo de la estructura química del opioide, el estado del paciente, y la rapidez que se requiere para la acción.

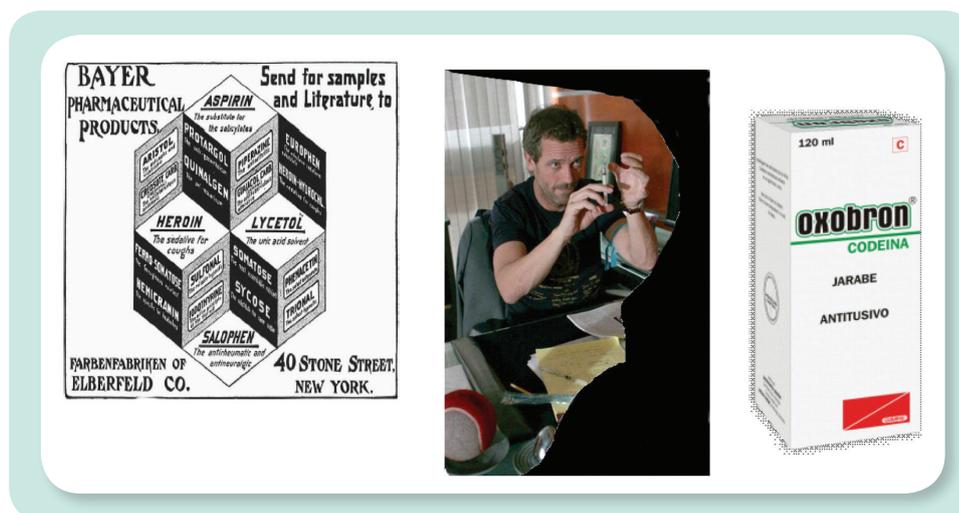


Figura 7: Uso de medicinas con principios activos derivados de Morfina. Izquierda: Propaganda de Bayer Pharmaceuticals (fin de siglo XIX) sobre medicamentos con aspirina y heroína para varias indicaciones médicas de alta prevalencia (catarros, tos, golpes, sedación, etc.). Centro: Se observa una escena de la serie televisiva "Dr. House", donde el protagonista enfrenta su desafío cotidiano para controlar el consumo desesperado de analgésicos opiáceos (Vicodin®, medicina con codeína) (Fuente: http://vicodina.com/paises/ingles/br_index.php). Derecha: Jarabe antitusivo basado en fosfato de codeína (Fuente: <http://naturalpharmacy.net/>). En nuestros días las medicinas con opiáceos no tienen la misma libertad para ser publicitadas que otras drogas no adictivas, por eso la publicidad masiva de un jarabe para la tos o un fármaco analgésico basado exclusivamente en heroína o codeína se encuentra restringida.

¿Cómo se consume el Opio? Se puede fumar el Opio tal como fue extraído (con mínima modificación del exudado lechoso extraído de las semillas de la Amapola), o realizar una serie de pasos caseros de concentración de los compuestos opiáceos, antes del fumado. El fumado de Opio tiene efectos más graduales que la administración endovenosa de los opiáceos purificados. Luego de fumar Opio aparece sensación de

Riesgos del Consumo de los Opiáceos: Dependencia y Adicción

Desde hace varios siglos se conoce que la morfina puede inducir abuso auto-destructivo, pero el problema social (la *morfínomanía*) apareció en Occidente a partir del siglo XX.

El uso médico puntual y controlado de opiáceos por un período corto de pocos días probablemente sea carente de riesgos post-tratamiento para la gran mayoría de la población. No obstante, el uso diario de morfina y los opiáceos sintéticos modernos en el manejo del dolor requiere el consumo de cantidades cada vez más grandes para alcanzar el alivio buscado. La suspensión abrupta de un tratamiento crónico produce un cuadro de signos y síntomas característicos y, eventualmente, alucinaciones.

En casos de adicción, el pico máximo de la intensidad del síndrome de abstinencia se observa a las 36-48 horas luego del último consumo. En las primeras horas la persona siente la compulsión psíquica para volver a auto-administrarse la droga; ya a las 8-16 horas, aparece el nerviosismo, la agitación, la transpiración profusa, un estado de irritabilidad, bostezos frecuentes y rino-rrhea. Alrededor de 24 hs luego de la última dosis aparece claramente la miosis pupilar y piloerección (pelos erectos), y el cuadro más perturbador de incontinencia de esfínteres (urinario y rectal), vómitos, temblores y mialgias (dolores) musculares. De aquí el cuadro puede avanzar hacia anorexia y trastornos graves del sueño, y desequilibrios corporales muchas veces mortales.

15. Los cuadros de intoxicación infantil incluyen signos y síntomas similares a los que ocurren en adultos, pero ocurren luego de exposición oral a dosis bastante más bajas; en los casos más graves los niños pueden llegar al hospital en coma, con convulsiones y sin capacidad para respirar por sí mismos.

16. Se genera la elevación de histaminas (sustancias endógenas que participan en las respuestas alérgicas, por ejemplo la rinitis estacional), que producen vasodilatación y "pinchazos", lo que explica por qué se siente picazón de nariz.

17. Luego de una dosis única, los opiáceos tienen una acción relativamente corta dentro del organismo, entre 0.5 y 8 hs

El síndrome de abstinencia es menos severo con opioides de acción prolongada, como es la *metadona* (ver estructura en Figura 6), que con morfina o heroína. Esta es la razón por la cual, en casos de abuso severo de heroína, hay estrategias terapéuticas donde se hospitaliza al adicto y se lo trata inicialmente con metadona.¹⁸

Pero... ¿Por qué compuestos tan efectivos para controlar el dolor como los opioides pueden llevar a una droga-dependencia letal? Los motivos principales son sus acciones (a) a nivel fisiológico; y (b) por sus acciones a nivel bioquímico.

A nivel fisiológico se dispara un ciclo que promueve el aumento del consumo debido a cinco factores que se encadenan:

i- Los opioides endógenos –como las endorfinas– ayudan a “sentirnos bien”, “de buen humor”.

ii- Los opioides exógenos ingresan al organismo para aliviar dolores físicos y/o psíquicos. Una dosis “medicinal” (administrada en forma aguda) es usualmente bastante más alta que los niveles fisiológicos, y eleva los niveles de opioides totales en sangre por encima del rango fisiológico de concentraciones compatible con los mecanismos naturales de mantenimiento del equilibrio.

iii- Cuando el sujeto deja de consumir opioides exógenos (o simplemente a partir del momento en que la dosis administrada original ya fue eliminada por metabolismo y excreción), su cuerpo ya no dispone de sustancias endógenas en una concentración que satisfaga sus receptores (ver acciones a nivel bioquímico, más abajo).

iv- Cada vez que disminuye la concentración de opioides en sangre en forma abrupta, el cuerpo demanda una nueva administración *para evitar sentir todas las sensaciones físicas y psíquicas desagradables* que emergen (síntomas del síndrome de abstinencia). Así, sólo pocos meses después de haber iniciado el consumo, la desesperación del sujeto se enfoca exclusivamente a evitar el síndrome de abstinencia.

v- El adicto empieza haciendo una elección voluntaria que le causa placer..., y termina en pocos meses utilizando el 100% de su voluntad para conductas que, finalmente, lo “apagarán como ser humano”, lo llevarán al estado de coma.

A nivel bioquímico, la acción de estas sustancias es compleja (aún no está totalmente dilucidada). Brevemente, podríamos decir que en los seres humanos:

1- Los opioides endógenos, sintetizados principalmente en las áreas cerebrales hipotálamo e hipófisis, circulan por sangre y se unen a una cierta proporción de los receptores específicos presentes en ciertas neuronas. La unión del compuesto opioide a su receptor neuronal desencadena fenómenos fisiológicos¹⁹ que resultan en alivio del dolor y provocan sensación de placer.

2- La acción “placentera” se basa en gran parte en la inhibición del neurotransmisor llamado GABA, el cual normalmente inhibe la liberación Dopamina (DA), que es otro neurotransmisor que promueve mecanismos asociados a la recompensa y al placer. Así, al “inhibir un inhibidor”, la acción de opiodes (endógenos o exógenos) resulta en una estimulación; su efecto neto es la sensación de bienestar antedicha.

3- Cuando la concentración sanguínea de opioides aumenta (por ingreso de opioides exógenos) exacerbaban esos fenómenos fisiológicos saturando la cantidad de uniones posibles con los receptores neuronales.²⁰

4- El uso de opioides exógenos produce caída de la síntesis de opioides endógenos, pues el organismo detecta que hay suficiente concentración de estos compuestos en sangre.

5- Al reiterarse el consumo también ocurren otros fenómenos: puede disminuir el número de receptores en membrana celular, y los receptores pierden su eficacia como transmisores de señales; gradualmente aumenta la síntesis de factores “anti-opioides” (sustancias que interfieren las acciones de los opioides endógenos). De esta forma, se genera una necesidad de aumentar la dosis de opiodes para lograr un efecto similar.

6- Cuando cesa el consumo de opioides exógenos en forma abrupta, el SNC tiene pocos receptores, poca eficacia para la acción de opioides endógenos y niveles bajos de los mismos.

7- Al mismo tiempo, como el organismo recibe un “aluvión” de opioides en circulación sanguínea luego de cada episodio de consumo, el cuerpo “interpreta” que no hace falta producir “tanta” cantidad de opiodes endógenos y, por retro-regulación (mecanismo denominado *feedback* en inglés), se reduce la producción natural de estos analgésicos naturales. Además, cuando se repiten los episodios de consumo (por semanas, luego meses...), y la inhibición inicial del sistema dependiente de la enzima Adenilato Ciclasa (AC) llega a ser intolerable para la neurona, ocurren mecanismos celulares de ajuste que *sobrecompensan* la situación *hiperinduciendo* este sistema enzimático. Como situación de algún modo paradójica, todos estos cambios determinan que, sin opioide exógeno, el adicto ahora experimenta hiperalgesia (en vez de analgesia, ¡ahora se siente más dolor!) ante estímulos “pro-algésicos” relativamente menores.

8- Por lo tanto, para alcanzar los niveles previos de satisfacción, el cerebro “exigirá” una dosis cada vez más alta de drogas opioides, lo cual sólo se alcanzará si el individuo consume mayor cantidad para aumentar la concentración circulante en sangre. Pero llegará un momento que el sistema de transmisión de señales

18. *Metadona sigue siendo una droga peligrosa, pero permite empezar a recuperar al adicto gradualmente de la adicción, con una sustancia de acción similar pero con un síndrome de abstinencia menos severo al retirarla.*

19. *Se originan una cascada de señales dependiente de la enzima llamada Adenilato Ciclasa y cambios en el flujo de iones a través de canales de la membrana celular.*

20. *En el equilibrio natural del organismo, la saturación de sistemas de neuroreceptores por estímulos químicos es más bien la excepción que la regla, de este modo evitando las complicaciones para recuperarse de situaciones extremas.*

por opioides está tan disminuido, que no habrá dosis alguna que pueda producir el efecto deseado de alivio de la hiperalgesia post-abstinencia.

Estos son, básicamente, los mecanismos por los cuales las neuronas de un adicto llegan a tener umbrales más bajos para la percepción del dolor físico; y, dado que el consumidor compulsivo ya no sintetiza sus opioides endógenos, cada vez se requiere mayor consumo exógeno, lo cual conforma el fundamento molecular, celular y bioquímico de la adicción. A medida que progresa el consumo repetido (días, semanas, luego meses), más difícil de tolerar es la abstinencia, y la adicción se manifiesta con mayor intensidad, hasta llegar a una etapa terminal. Lo antedicho también explica por qué el uso ocasional, como aquel asociado al tratamiento del dolor de una fractura o una quemadura profunda por unos pocos días en una sala de emergencias, no necesariamente implica que el individuo va a caer en una adicción. El uso sin control médico, más allá de unos pocos días, es lo que lleva a mecanismos de tolerancia, aparición de hiperalgesia, y búsqueda desesperada de cada vez más opioides para tratar de evitar lo inevitable...

Sustancias estimulantes

Cocaína

La *cocaína* (ver Figura 8) es un alcaloide poco soluble en agua que se extrae con solventes orgánicos de las hojas del arbusto de la coca, originario de América del Sur. La forma salina, el clorhidrato, es muy soluble en agua. En la actualidad, ya sea espontáneamente o mediante cultivo, las plantaciones de las tres variedades de arbustos se localizan a lo largo de casi toda la cordillera de los Andes, siendo fácilmente reconocidas por el marcado olor a almendras que despiden las flores. Las hojas de las diferentes variedades de coca se distinguen entre sí tanto desde el punto de vista físico (por su tamaño, aspecto y color) como desde el punto de vista químico, en cuanto a la producción de alcaloides. La variedad *Erythroxylon coca* presenta mayor contenido de cocaína (hasta un 1,8% del peso de las hojas frescas).²¹

Tras el desembarco de los españoles a América, se inició un rápido e intenso intercambio de diversos productos entre el nuevo y el viejo continente. De este modo, las hojas de coca llegaron a Europa. Inicialmente los europeos rechazaron la práctica del mascado de las hojas de coca, ya que les resultó una costumbre repulsiva.²² Hacia mediados del siglo XIX, en Europa, el compuesto cocaína ya había sido aislado, purificado

y caracterizado. Cuando los investigadores estudiaron sus efectos fisiológicos, se descubrió su capacidad como anestésico local (1880). Es así como la cocaína comienza a ser empleada en diversas intervenciones quirúrgicas, especialmente en oftalmología.

Los investigadores de EEUU se inclinaron a investigar los efectos estimulantes a nivel del SNC: llegaron a proponer su uso como antidoto para contrarrestar los efectos depresores de la morfina y del alcohol. Sigmund Freud adhirió fervientemente a esta idea y no dudó en experimentar sobre sí mismo. Estos experimentos lo llevaron a escribir un artículo ("Sobre la coca")²³, en el cual exaltaba sus propiedades benéficas como estimulante.

A principios de siglo XX se vio que después de ingerir varias dosis "terapéuticas" de cocaína se sufrían cuadros de dependencia... Cuando se usó morfina como antidoto para tratar los efectos indeseados de la cocaína, el resultado fue lamentable: a la dependencia por la cocaína se sumó la de la morfina conduciendo a una adicción múltiple letal. Durante el siglo XX también comenzó el uso "recreativo" de cocaína por las clases socio-económicas altas de Occidente. Las hojas de coca se emplearon como aromatizantes de bebidas sin alcohol, como por ejemplo la Coca Cola®, marca registrada en 1886 en EEUU. No obstante, considerando sus propiedades adictivas, la práctica fue prohibida por el Tribunal Supremo de ese país en el año 1904, permitiéndose únicamente el empleo de preparaciones derivadas de las hojas de coca a las cuales se les había extraído el alcaloide.

Es interesante señalar que la cocaína no sólo tiene una acción estimulante sobre el SNC, sino que también es un potente anestésico local, ya que bloquea especialmente los nervios sensitivos encargados de transmitir al cerebro las sensaciones dolorosas. Justamente, los químicos sintetizaron otras moléculas similares (tales como la lidocaína y la procaína, ver Figura 8) que conservan la acción anestésica pero carecen de acción como estimulantes del cerebro.²⁴

¿Cómo se consume la cocaína? Básicamente se pueden reconocer dos productos como los más frecuentes para el uso/abuso de esta droga. Uno de los ellos es el *clorhidrato de cocaína* (polvo blanco y cristalino), que en su uso ilícito suele estar "rebajado" mediante la adición de otras sustancias tales como: hidratos de carbono (en particular manitol y/o lactosa), alguna otra sustancia estimulante (generalmente anfetaminas), y otros anestésicos locales (por ejemplo lidocaína, pro-

21. Las hojas de coca se pueden hervir con agua y luego beber la infusión (té de coca). En este caso, la proporción de cocaína que alcanza el SNC es relativamente baja porque el agua no es un buen solvente para extraer al alcaloide; y porque la cocaína se descompone (se hidroliza) con facilidad en el medio ácido del estómago.

22. El coqueo consiste en el mascado de las hojas secas de coca, formando un "bolo" o "acullico" que se mantiene en la boca. El agregado de cenizas, cal o carbón es una práctica común que facilita la extracción del alcaloide. La dosis promedio consiste en unos 30 g de hojas, 2 o 3 veces al día, durante un período de aproximadamente media hora, aunque el bolo se suele mantener en la boca otras dos horas. El consumidor es reconocido por su mal aliento, labios y encías pálidas, dientes con una coloración verdosa y deformación de los carillos donde aloja diariamente el "acullico". Además, suelen tener un paso inseguro, ojos hundidos, piel amarilla y un estado de apatía general.

23. "Über Coca", escrito en junio de 1884 por el Dr. Sigmund Freud cuando sólo tenía 28 años (ver discusión sobre el artículo original en: *Journal of the American Medical Association*, JAMA (2011), vol. 305 (13): 1360-1361).

24. Con el agregado de anestésicos, los vendedores ilegales de cocaína logran que sus compradores creen que la "mercadería es buena" cuando la prueban y sienten que la legua se adormece. Esta trampa también puede tener efectos fatales: por sobredosis. Por ejemplo: un adicto cambia de proveedor de droga ilegal y percibe un poder anestésico menor; piensa, entonces, que el producto está "rebajado" y aumenta la dosis. Pero, en realidad, pudo haber sido cocaína más pura -sin agregado de otros anestésicos locales- y...por lo tanto, la autoadministración de mayor cantidad en el mismo episodio de consumo le puede ocasionar la muerte.

caína). También puede tener restos de las sustancias plaguicidas que se usan para preservar los cultivos de *Erythroxylon coca* de los ataques de insectos y otras plagas (por ejemplo, ¡puede incluir residuos de pesticidas obsoletos o prohibidos!).

La vía de administración es generalmente la inhalación nasal. Las sensaciones eufóricas no tardan en aparecer, pero no duran más allá de los 30 minutos. Como signo distintivo de las aplicaciones frecuentes debe mencionarse el deterioro progresivo del tejido nasal que es consecuencia del efecto vasoconstrictor de la droga que, más tarde o más temprano, produce lesiones ulcerosas y edematosas. Estas lesiones pueden conducir a procesos más graves, y hasta rotura del tabique nasal.

Otra preparación para consumo abusivo es la *pasta de coca*, un subproducto que se obtiene durante el proceso de extracción del clorhidrato y cuya vía de administración más frecuente es por fumado (esta preparación tiene como nombre vulgar "paco"). Hace unos años surgió también un cigarrillo mixto conteniendo hojas de marihuana y residuos de pasta de coca o clorhidrato de cocaína, que recibió el nombre de *bazuco* o *nevado*. Esta mezcla es aún más dañina que los componentes separados. En Europa y EEUU existen equipos (*crack*) que mediante calentamiento permiten la inhalación de vapores de cocaína.

¿Qué efectos adversos produce el consumo de cocaína? La acción estimulante de la cocaína se acompaña de efectos indeseados, algunos asociados a riesgo de muerte. Como efectos "menos graves" se puede mencionar a cefaleas, náuseas y cólicos intestinales. El uso crónico de esta droga produce problemas cardiovasculares, incluyendo angina de pecho, hipertensión arterial, infarto de miocardio, cardiomiopatías y muerte súbita. Si la persona es susceptible, las alteraciones cardiovasculares pueden ocasionarse aún luego de unos pocos episodios de consumo. El efecto anorexí-

geno (disminución del apetito) puede provocar problemas de nutrición. Hay efectos que son específicos del modo de consumo. Por ejemplo, la aspiración nasal repetida provoca trastornos del olfato, respiración sonora (como el ruido que hacen con frecuencia los caballos al respirar), y hasta trastornos de deglución. En cambio, la inyección puede inducir reacciones alérgicas y facilitar el contagio de enfermedades infecciosas. Por otra parte, no debe olvidarse que se trata de una droga estimulante y bajo sus efectos la persona puede asumirse con "superpoderes", con capacidad de frenar una locomotora o salir volando por una ventana... La adicción severa produce estados de irritabilidad y ansiedad persistentes. También puede provocar cuadros de paranoia psicótica.²⁵ No es infrecuente encontrar trastornos vasculares cardíacos y cerebrales agudos, a veces mortales, en la sala de emergencias, ya sea luego de un único episodio de consumo o en usuarios crónicos.

Anfetaminas

El término *anfetamina* se refiere específicamente a una sustancia de origen sintético derivada de la efedrina. Sin embargo, el término en plural suele emplearse para describir una serie de compuestos que tienen en común la capacidad de producir una estimulación del SNC a través de mecanismos similares a los de la anfetamina propiamente dicha. Dentro de este grupo de drogas se incluyen la *efedrina*, la *metanfetamina* y otras drogas relacionadas (ver Figura 8).

En el pasado, las anfetaminas fueron usadas con fines médicos: se indicaba su administración por vía oral para el tratamiento de la obesidad, puesto que producen la disminución del apetito. Sin embargo, este uso terapéutico fue desaconsejado en virtud de sus efectos secundarios adversos.

La anfetamina también provoca un aumento en el estado de concentración y de alerta, aumenta la actividad motora y estimula el habla, induce moderada

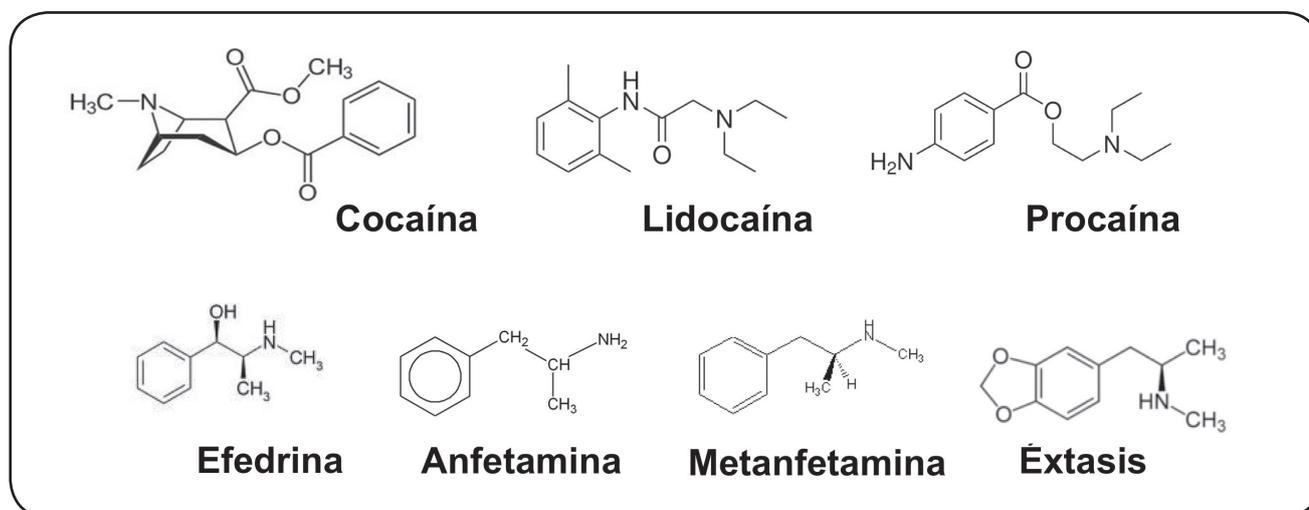


Figura 8: Estructuras químicas de la cocaína y efedrina (compuestos naturales). También aparecen otros compuestos (sintéticos) con acción farmacológica parcialmente equivalente que permite clasificarlos a todos como estimulantes del sistema nervioso.

25. El lector recordará la película "Carlitos's Way", donde un traficante de drogas (Al Pacino) llega a un estado de descontrol extremo en el consumo de cocaína (por aspiración nasal) y termina sufriendo una secuencia de estados físicos y psíquicos alterados y queriendo pelear el sólo contra un regimiento de traficantes de otro bando. Más allá de la ficción cinematográfica, esto permite apreciar la irreversible autodestrucción a la que se llega por abuso de cocaína

euforia, y brinda una sensación de mayor energía; por ello llegó a utilizarse con frecuencia (aun sin prescripción médica) entre estudiantes y conductores de vehículos. A estas sensaciones que podemos asumir como placenteras les siguen una serie de efectos adversos, entre los que se incluyen inquietud, mareos, insomnio, confusión y temblores. La droga puede inducir sensaciones de pánico, llegando a desencadenar un cuadro psicótico en individuos vulnerables. Tras una intoxicación severa el sujeto experimenta fiebre y convulsiones; seguidamente entra en estado de coma, con altas posibilidades de sufrir hemorragia cerebral mortal.

La metanfetamina es un derivado más potente que la anfetamina en cuanto a su acción estimulante sobre el SNC. La vía más común de administración de esta sustancia es por fumado. En la Tabla 1 se comparan aspectos de los usos médicos y no médicos de cocaína y metanfetamina.

La *3,4-metilendioximetanfetamina*, más conocida como *éxtasis*, es una droga con acción alucinógena, que usualmente se comercializa (en forma ilegal) en tabletas y se administra por vía oral. Se trata de una droga relativamente nueva, ya que fue encontrada en el mercado internacional a partir de la década de 1990. También se la conoce como *XTC*, *E*, *Adam*, *MDM*, o droga *del amor*. La adicción a *éxtasis* se conoce menos que la de otras anfetaminas. Si bien es una droga estimulante, produce ciertos efectos (por ejemplo, induce alucinaciones) que difieren de los producidos por otras anfetaminas. Se considera que tras la ingestión, los efectos suelen aparecer a los 20-60 minutos, y tienen una duración de 2-4 horas.

ORIGEN DEL ESTIMULANTE	NATURAL (cocaína)	SINTÉTICO (meta-anfetamina)
Vía de consumo utilizada con mayor frecuencia	Fumado, Aspirado de "líneas", (menos frecuentemente inyección endovenosa)	Fumado, Pastillas
Duración de la acción	Entre 20 y 30 min.	Entre 8 y 24 horas
Permanencia en sangre (tiempo; en horas)	Tiempo de vida media ²⁶ : aprox. 1 hora	Tiempo de vida media*: aprox. 12 horas
¿Uso médico?	Sí, se usa como anestésico local. Ejemplo: cirugía oftalmológica	Excepcional; no recomendado debido a su alta toxicidad.

Tabla 1: Comparación entre el consumo de cocaína y metanfetamina

Drogas adictivas: de la tierra... ¿al cielo?

Los hallazgos de las investigaciones sobre el uso a largo plazo de la marihuana indican que hay algunos cambios en el cerebro similares a aquellos que se ven después del uso a largo plazo de la mayoría de las drogas de abuso con poder adictivo. Por ejemplo, la abstinencia de los cannabinoides de la marihuana en

animales que han sido expuestos crónicamente a esta sustancia lleva a un aumento en la activación del sistema de respuesta al estrés, y a cambios en la actividad de un tipo de células cerebrales (neuronas dopaminérgicas) involucradas en la regulación de la motivación y la recompensa. Esas células son las mismas que están directa o indirectamente afectadas por todas las drogas de abuso.

Aparte de la dependencia física, existe en la mayoría de los casos dependencia psíquica, que resulta de los cambios de personalidad que ocurren luego de semanas-meses de uso continuado de estas sustancias. El deseo compulsivo de consumir drogas adictivas puede producir actos reprochables (mentir, engañar) y criminales (robar, matar). Esta desesperación durante la adicción es tan fuerte y deja tantas "huellas" físicas y psicológicas, que la sensación de necesidad de consumir puede re-aparecer luego de años de abstinencia.

Queda claro: por el uso de drogas con alto poder adictivo (ya no importa si su efecto farmacológico primario es de estimulación o depresión del sistema nervioso), tarde o temprano los consumidores no disponen de la capacidad de decisión, y el consumo y los efectos indeseados post-consumo son parte de sus vidas cotidianas, donde el único final posible sin ayuda externa es la degradación física y psicológica del individuo. En la Figura 9 se muestra esquemáticamente este juego peligroso.

Más allá de la simplificación que implica decir "*los opioides actúan en sitios específicos llamados receptores opiáceos*", o "*la cocaína inhibe específicamente la recaptación de dopamina, por lo tanto promueve la*

hiperestimulación dopaminérgica en varias áreas cerebrales relacionadas a la percepción de la recompensa", a medida que el consumo se torna más frecuente y compulsivo, todo el cerebro deja de ser el que era, es mucho más que la alteración de los sitios donde ocurre la acción primaria. Esta definición no es un recurso didáctico para describir lo que nos pasa, es lo que ocurre en realidad; hoy se puede visualizar y diagnosticar por medio de tomografías de cerebro en tomógrafos computados de última generación. Hay cambios estructurales y funcionales, algunos reversibles y otros

26. Vida media: tiempo que tarda la droga en llegar a la mitad de la concentración máxima que se alcanza en sangre luego del consumo. La disminución de la droga en sangre ocurre principalmente por captación en los tejidos, transformaciones que la inactivan y excreción renal (orina) o intestinal (materia fecal) de los residuos producidos por las transformaciones. Luego de transcurrir unas pocas vidas medias, la droga circulante ya no alcanza para mantener niveles altos y producir acciones directas a nivel del SNC. Es necesario remarcar que la vida media no indica nada sobre los efectos persistentes o permanentes que pueden haber quedado en el cerebro luego que la concentración ya no es suficiente para continuar ejerciendo estímulos directos en receptores u otros sitios moleculares y celulares de acción.



Figura 9: Con este camino no se juega...El proceso del consumo de drogas de abuso suele comenzar como un "pasatiempo" (¿un juego?). Cada avance es un grado mayor de subordinación de la voluntad al consumo desesperado de la droga. Entrar al juego para "probar a ver qué pasa" puede conducir a que "el salir" dependa sólo de otras personas que ayuden a sacarnos "a tiempo". El juego de la rayuela se usa aquí como ayuda para visualizar el problema del abuso de drogas. En este juego como en otros, todos se divierten, el que gana y el que pierde... En el juego de probar marihuana, cocaína, heroína y otras sustancias adictivas, el que avanza y avanza... ¡pierde!

irreversibles. Por eso "esperar un poco más" para empezar un tratamiento integral de rehabilitación puede determinar que más tarde el tratamiento sólo pueda tener éxito parcial, aun si pudiéramos dejar por completo el consumo de drogas. Las adicciones, consideradas en forma global, son la primera causa de muerte en muchos países. Todo esto ya no es un secreto, y sigue habiendo individuos que entran en ese camino peligroso sabiendo lo que puede haber del otro lado...

Los tratamientos para la adicción a etanol, heroína, morfina, nicotina, cocaína, marihuana y otras drogas "adictógenas" (generadoras de droga-dependencia) incluyen la identificación de los disparadores de inicio del consumo, el uso de medicinas que permitan soportar el período de abstinencia, terapias psicológicas para modificar las respuestas al medio social, y la provisión de información técnica validada al entorno familiar para que colaboren en el monitoreo post-hospitalización del adicto.

Actualmente, el desafío científico consiste en reconocer y conciliar la relevancia de los aspectos genéticos y ambientales a fin de entender los factores que intervienen en: la vulnerabilidad de los individuos, el mantenimiento de la conducta orientada a obtener e ingerir drogas, la eventual progresión de la adicción hacia un comportamiento donde se pierde el control voluntario sobre la droga en cuestión, y la propensión a recaer en el consumo aún muchos años después de una prolongada abstinencia. Entre tanto, los narcotraficantes experimentan un constante aumento de sus riquezas y de su poder...

Consideraciones finales

Las drogas de abuso son, en esencia, sustancias químicas con actividad biológica potente en nuestro SNC, un sistema crítico para la supervisión y modulación constante del funcionamiento de todos los otros sistemas de tejidos y órganos de nuestro cuerpo. Esta actividad determina reacciones en nuestro organismo a nivel molecular, celular y sistémico, y cambios que se van manifestando en la expresión de genes, en la síntesis de moléculas que transmiten señales, en la capacidad metabólica disponible para el próximo consumo, y en los controles sobre el ciclo celular en las regiones cerebrales más sensibles. Los cambios pueden ser reversibles, persistentes o permanentes. Teniendo en cuenta lo antedicho, el profesional químico, ya sea como investigador científico, como técnico en evaluaciones bioquímicas diagnósticas y pronósticas, o como asesor en la elaboración de marcos regulatorios, tiene múltiples oportunidades para contribuir a mejorar las tareas de prevención, tratamiento y rehabilitación de las adicciones a drogas de abuso lícitas o ilícitas.

Si todos vivimos la misma era de la "Sociedad de Consumo", ¿por qué algunos no sienten interés por "probar drogas", otros no caen en conductas compulsivas ni luego de "haber probado", y otros caen en pocos meses en un recorrido completo y trágico hacia la autodestrucción?

En los próximos años se espera poder conocer más sobre los factores de susceptibilidad y los determinantes del pronóstico que inciden en la variabilidad que existe entre individuos frente a este problema. Además, mayor conocimiento de la relación entre las estructuras químicas de las drogas de abuso, de los receptores donde actúan, y de los fármacos que se han derivado de las mismas, puede ayudarnos a "diseñar" y sintetizar compuestos nuevos que prevengan el consumo, faciliten la rehabilitación, o promuevan estímulos placenteros pero sin la provocar la adicción compulsiva perjudicial en el paciente.

Las drogas de abuso son un campo fascinante y desafiante en la investigación química; sin embargo, volviendo al primer párrafo del capítulo, debemos reconocer que por el momento, el "poder" que tenían los brujos y hechiceros, lamentablemente, ahora lo tienen los narcotraficantes.

Agradecimientos

Los autores desean manifestar su agradecimiento a la colaboración de las Dras. Noemí Verrengia y Lydia Galagovsky en la preparación de la versión final de este artículo.

Referencias bibliográficas y lecturas recomendadas para ampliar la información

- Ameri A. (1999). The effects of cannabinoids on the brain. *Prog. Neurobiol.* 58 (4): 315-348.
- Domínguez, J.A. (1988). La coca como factor dianamogénico de uso habitual en el altiplano argentino-chileno-boliviano. El cocainismo europeo. El cocainismo americano. En: Toxicología, A. López (editor). Buenos Aires.
- Escotado, A. (2004). Historia general de las drogas. Madrid, España (ISBN 84-239-9739-1).
- Fernández Delgadillo, G.P. & Cruz, S.L. (2005). Mecanismos de tolerancia analgesica a opioides. *Revista Salud Mental* 28 (3): 22-31 (ver: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/582/58232803.pdf>).
- Forth, W.; Beber, A.; Meter, K. (1993). The Relief of Pain (El Alivio del Dolor): An Analytical View of the Advantages and Disadvantages of Modern Pain Management. Hoechst Medication Up-date, Series Analgesia.
- Gilman, A.G., Goodman, L.S., Rall, T.W., and Murad, F. *The Pharmacological Basis of Therapeutics*. New York: MacMillan Publishing Co., 1985, p. 491.
- Grotenhermen, F.; E. Russo; R. Navarrete Varo (2003). Cannabis y cannabinoides: farmacología, toxicología y potencial terapéutico. Castellarte (ISBN 84-921001-9-2).
- Guerschanik, I. (1976). La Salud y la Familia. Ediciones Argentinas SRL, Buenos Aires.
- Gutiérrez-Rojas, L.; De Irala, J.; Martínez-González, M.A. (2006). Efectos del cannabis sobre la salud mental de los jóvenes *Rev. Med. Univ. Navarra (España)* 50 (1): 3-1.
- Halpern, J.; Sherwood, A.; Hudson, J.; Yurgelun-Todd, D.; Pope, H.G., Jr. (2005). Psychological and cognitive effects of long-term peyote use among Native Americans. *Biol. Psychiatry* 58 (8): 624-631.
- Lorenzo, P.; Lareo, J.M.; Leza J.C.; Lizasoain, I. (1998). Drogodependencias. Farmacología, Patología, Psicología, Legislación. Editorial Médica Panamericana, España (ISBN 84-7903-452-1).
- Marder, M & Wasowski, C. (2009). Tranquilizing Medicinal Plants: their CNS effects and active constituents –Our experience; en *Handbook of Nutraceuticals*, vol 1. Editor Yashwant Pathak, Taylor & Francis, USA.
- Nahas, G.; Sutin, K.; Bennett, W.M. (2000). Review of Marihuana and Medicine. *New Engl. J. Med.* 343: 514-5.
- National Institute of Drug Abuse (NIDA-USA). Instituto Nacional para Drogas de Abuso, Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos de America. Información disponible en: <http://www.drugabuse.gov/DrugPages/>
- Van Dyke, C.; Byck, R. (1982). Cocaína. *Investigación y Ciencia* 68, 100-110.
- WHO: World Health Organization (2004). Neurociencia del Consumo y Dependencia de Sustancias Psicoactivas. Washington, D.C: Organización Panamericana de la Salud, OPS.

37

ASPECTOS QUÍMICOS DE LOS ALIMENTOS UTILIZADOS POR EL EJÉRCITO DE LOS ANDES PARA EL CRUCE DE LA CORDILLERA, EN 1817

Prof. Alberto Santiago

Profesor de Química.

Email: alberto.santiago@gmail.com

Introducción:

El cruce de la Cordillera de los Andes por las tropas del General Don José Francisco de San Martín fue una de las hazañas militares más admiradas en el mundo entero. Debió sortear uno de los obstáculos naturales más complejos que se le puede presentar a un ejército de más de 5000 hombres: por senderos de cornisa, llegando en algunos casos a una altura de 5000 metros sobre el nivel del mar, y temperaturas de muchos grados bajo cero.

San Martín se estableció en septiembre de 1814 en la ciudad de Mendoza, capital de la Intendencia de Cuyo que estaba formada por las provincias de Mendoza, San Juan y San Luis. Desde su cargo de Gobernador Intendente de Cuyo puso en marcha un empresa continental que culmina con la Independencia del Perú en 1821. Para ello, debió transformar casi totalmente a la provincia de Cuyo en la económico, lo político, social y cultural. Con ese objetivo formó equipos de colaboradores muy compenetrados en la empresa titánica que se proponía.

Si nos ubicamos a principios del siglo XIX, la ciencia y tecnología estaban en sus inicios de desarrollo respecto del siglo siguiente. De acuerdo a documentos analizados, San Martín evidencia una educación e inteligencia que le permitieron utilizar los conocimientos científicos y tecnológicos que hasta la fecha eran conocidos. Es interesante leer la lista de libros que poseía y darse cuenta que su formación enciclopedista dejaba a la vista un bagaje de conocimientos nada desdeñables para la época. El 85% de sus libros estaban escritos en francés y entre ellos había además libros de Física y Química.

En una carta a su amigo Godoy Cruz le confesó: *“Lo que no me deja dormir es, no la oposición que pueden hacernos los enemigos, sino el atravesar estos inmensos montes”*.

A San Martín no le preocupaba enfrentarse con los españoles, lo que no lo dejaba dormir era cómo cruzar la Cordillera de los Andes bajo condiciones sumamente exigentes con temperaturas de hasta 10 grados bajo cero,

sin pasturas para los animales, con casi nada de leña circundante, agua accesible solo en determinados lugares, sin cartografía conocida, sin la posibilidad de rodadura para el transporte...En definitiva, tenía que atravesar geografías donde la vida es casi imposible.

Los que hemos tenido la suerte de realizar el cruce de los Andes en el siglo XXI¹ por distintos pasos, nos preguntamos insistentemente ¿cómo pudieron ellos cruzar sin GPS, sin camperas especiales para soportar las bajas temperaturas, sin bolsas de dormir que protegen hasta 20 grados bajo cero, sin gas envasado, y sin todo lo que el lector se imagine que se necesita en un lugar donde no se puede abastecer de comidas naturales, ni medicamentos adecuados para tratamientos indispensables para salvar vidas.

¿Nos acompaña?

En un ejercicio de imaginación lo invitamos al lector a cruzar la cordillera acompañando al Ejército de los Andes al mando del General Don José Francisco de San Martín, por uno de los Pasos: Planchón, Portillo, Uspallata, Guana, Los Patos y Comecaballo, en las condiciones que ellos lo hicieron.²

El 18 de enero de 1817 partieron las primeras tropas desde el Campamento del Plumerillo en los alrededores de Mendoza. La consigna era que todas las columnas debían marchar de tal modo de aparecer en suelo chileno entre el 6 y 8 de febrero de 1817, lo que se cumplió con exactitud. San Martín salió último y llegó primero.

Las seis rutas sanmartinianas

Cinco columnas del Ejército de los Andes partieron del campamento El Plumerillo en fechas diferentes. La columna al mando del Teniente Coronel Zelada fue enviada por el General Manuel Belgrano desde Tucumán hasta la Rioja, con la misión de llegar hasta Coquimbo en Chile.

1. En enero de 2004 la Asociación Sanmartiniana “Cuna de la Bandera” de Rosario, organizó el cruce de los Andes a lomo de mula, por los seis pasos que utilizara el Ejército de los Andes. En mi caso, me tocó ir por el Paso de Portillos, por donde fue el Capitán Lemos, en enero de 1817. Durante ese trayecto realicé distintos experimentos, por ejemplo, consumir la misma dieta que consumieron los soldados y milicianos del Capitán Lemos, y la medición de las alturas con un termómetro, midiendo la temperatura del agua en ebullición, como la realizara el Ingeniero José Antonio Álvarez Condarco. Dado lo exitoso de los resultados obtenidos, me propuse realizar todos los pasos que utilizara el Ejército de los Andes, para replicar las mediciones, experimentos y observaciones, tal como los realizados en aquella época: observación con un catalejos del siglo XIX, determinación de la posición geográfica con un sextante como lo hiciera San Martín, estudio de la conducta animal, y análisis de la flora y la fauna existentes, según la altura. Hasta la fecha crucé por Portillo, Los Patos, Comecaballos, Guana y Planchón, con distintos grupos organizativos y con agencias particulares. Espero poder concretar mi proyecto de realizar los seis cruces en enero de 2012, por el paso de Uspallata.

2. Las fotografías del capítulo fueron tomadas durante las travesías mencionadas: en los eneros de 2004, 2006, 2009, 2010 y 2011.



La Bandera de los Andes en la partida del cruce por el paso de los Patos, enero de 2006.

Las tropas estaban conformadas por más de 4000 soldados acompañados por 1200 milicianos en calidad de auxiliares, que debían servir en la conducción de los víveres, municiones y cuidado de las caballadas, además de los arrieros, los operarios de la maestranza y 120 barreteros de las minas de Mendoza para la compostura de los caminos.

Los combatientes estaban distribuidos de la siguiente manera:

PASO	COMANDANTE	HOMBRES	%
Comecaballos	Tte. Cnel. Zelada	50	1,25
Guana	Tte. Cnel. Cabot	60	1,5
Los Patos	Gral. San Martín	3000	76
Uspallata	Cnel. Las Heras	750	18
Portillo	Cap. Lemos	25	0,65
Planchón	Tte. Cnel. Freire	105	2,6

Hubo que transportar 18.000 herraduras, 1.000.000 de proyectiles, una imprenta y los alimentos para 5200 personas, 18.218 mulas, 2700 caballos que fueron llevados de tiro y 500 vacas de las cuales fueron 127 reintegradas a Mendoza por el arriero Pedro José Aguirre, antes de la bajada al valle de Chacabuco.³

Debió acarrear alimentos que en cantidad y calidad pudieran atender todas las necesidades que la empresa requería, dejando además, depósitos de víveres durante el camino, como prevención ante una eventual retirada. La alimentación debía cumplir con condiciones de transportabilidad y propiedades terapéuticas, es decir ser liviana, nutritiva y contrarrestar los efectos del apunamiento⁴ y el soroche⁵.

Las recetas de San Martín

Las provisiones de alimentos consistían en 500 reses en pie, galleta, harina de maíz tostado, charqui molido con grasa y ají picante, y en rama; queso, vino a razón de una botella por hombre y aguardiente; provisión de cebollas y ajos como confortante contra el frío y remedio contra las enfermedades que en las grandes alturas aquejan a hombres y animales.

La innovación dispuesta por San Martín, de proveer fundamentalmente alimentación sintética y comprimida a sus tropas, permitía que con solo la adición de agua caliente y harina de maíz tostada⁶ se obtuviera un alimento de alto valor nutritivo y sabor agradable al paladar.

El consumo de charqui o charquicán, preparado a base de carne salada secada al sol, tostada y molida con un poco de grasa y ají picante, formaba una mezcla de reducidísimo volumen, fácil de ser llevado en la mochila de cada soldado en cantidad como para ocho días. El aprovisionamiento de la tropa se completó con gran cantidad de ajos y cebolla, para combatir los males de las alturas; y para las heladuras se llevaban varas de membrillo para azotar las zonas del cuerpo entumecidas por el frío.

Para elaborar estas recetas, San Martín buscó asesoramiento sobre cómo resolvían problemas de frío y altura indígenas y baqueanos de la zona que realizaban estos



Figura 1: mapa de las seis rutas sanmartinianas para el cruce de la Cordillera de Los Andes (tomado de www.crucecelosandes.com.ar/mapa_6tocruce.asp).

3. Las vacas debieron ser "vestidas" contra el frío, se desbarrancaban y al ser un animal de pradera, sufrían de vértigo al pasar por los precipicios. La cocción fue también un problema por la falta de leña. La devolución obedeció a que por las características del terreno, eran muy difíciles de arrear.

4. El apunamiento se produce por falta de adaptación del organismo a la hipoxia de la altitud, ocasionada por la disminución de la presión parcial de oxígeno, debido a la disminución de la presión atmosférica con la altura.

5. El soroche es una angustia que se siente en las altas montañas, a causa del enrarecimiento del aire.

6. La harina de maíz debió ser tostada con antelación a la salida, por la falta de combustible para esa operación durante el cruce y, además, para mejorar el sabor.

cruces en verano. Su ingenio le permitió una organización logística increíble.

Para “los calditos de San Martín”, el General hizo desecar cebollas, ajos y pimientos al sol; y a, así, disminuir su peso conservando las propiedades terapéuticas y nutritivas. Con el solo agregado de agua y entibiando la mezcla de cebollas y demás ingredientes, los potajes adquirirían una textura y sabor agradables, además del aporte de nutrientes y de energía necesarias para el mantenimiento correcto de los soldados. Para calentar el agua, encendían “bosta” seca de los animales. El potaje nunca llegaba a los 100°C debido a la altura sobre el nivel del mar a que se encontraban. La siguiente tabla⁷ muestra la relación entre la temperatura de ebullición del agua y la altura.

Con este método determinaron la altura sobre el nivel del mar a la cual se encontraban.

La ciencia actual (química y etnobotánica) permite conocer detalles sobre las virtudes de los alimentos básicos de las recetas de San Martín:

TABLA DE ALTURAS		
TEMPERATURA DE EBULLICIÓN	PRESION DE VAPOR	ALTURA en mts.
83	400,60	5075
84	416,80	4790
85	433,60	4510
85,5	442,30	4356
86	450,90	4208
87	468,70	3955
88	487,10	3600
88,5	496,60	3430
89	506,10	3290
89,5	515,90	3090
90	525,76	2960
90,5	535,83	2790
91	546,05	2680
91,5	556,44	2580
92	566,99	2400
93	588,60	2050
94	610,90	1770
94,5	622,31	1580
95	633,90	1475
96	657,62	1160
97	682,07	870
98	707,27	610
99	733,24	300
100	760,00	0

Tabla de Humboldt con la relación entre la temperatura de ebullición del agua y la altura sobre el nivel del mar.

La cebolla: Su nombre científico es *Allium cepa* y es originaria del Oeste de Asia. Los usos terapéuticos de la cebolla son múltiples y le confieren un valor salutarífico y preventivo muy apreciable. Sus propiedades terapéuticas son:

Diurética: Por la presencia de fructosanos, sales minerales y flavonósidos, contribuye notablemente a la osmolaridad del plasma, el filtrado glomerular y el líquido tubular; **Antiséptica:** Las drogas antimicrobianas sistémicas han relegado el empleo de los agentes antisépticos. En la acción de los antisépticos organoazufrados sobre las vías urinaria y el aparato digestivo, a diferencia de lo que sucede con las drogas antimicrobianas sistémicas, un amplio espectro de la actividad germicida rara vez favorece la sobreinfección y por lo tanto es sumamente deseable. **Tónica:** Rica en vitaminas (Vit. C 20-30 mg%) y estimulante del apetito; **Antiinflamatoria:** Los tiosulfatos y cebaenos ejercen acciones sobre trastornos del funcionamiento granulocitario. **Antiasmática:** Los efectos se deben a los cebaenos y tiosulfatos que inhiben las 5-lipooxigenasas y ciclooxigenasas. **Cardioprotectora:** Los efectos totales sobre el sistema cardiovascular son de carácter preventivo, causando vasodilatación, produce vasorelajación cuando es sometido el endotelio a tratamientos con óxido nítrico. **Antitrombótica:** La administración de cebolla cruda tiene significativo efecto antitrombótico y es recomendable en la profilaxis del infarto de miocardio, de la arterioesclerosis cerebrovascular y de arterias periféricas, del trombolismo pulmonar y la trombosis venosa profunda. **Antiangregante plaquetario:** La eficacia antitrombótica se debe a que interfiere en la adherencia de las plaquetas a las paredes vasculares y entre sí. **Fibrinolítica:** El proceso de la fibrinólisis destruye la fibrina durante la coagulación. **Citostático:** Los agentes alquilantes quimioterapéuticos tienen en común la propiedad de intervenir en reacciones químicas fuertemente electrofílicas mediante la formación del ion carbonio o de complejos de transición con las moléculas blanco. **Aporte de azufre:** En este caso el aporte de azufre es de 68 mg% actuando como regenerador del tejido nervioso y en afecciones del aparato respiratorio (surfactante pulmonar). Las fórmulas químicas de los principios activos azufrados se muestran en la Figura 2:

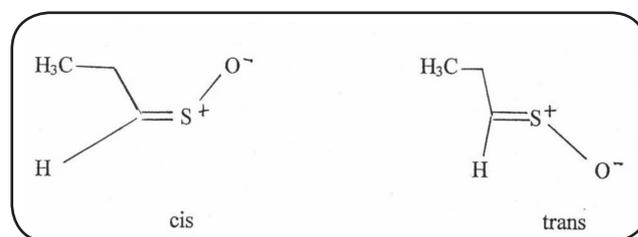


Figura 2: Fórmulas químicas de algunos tiosulfatos activos presentes en cebolla.

El ajo: Su nombre científico es *Allium sativum*. Es originario de Asia, llegó a Oriente medio y se lo cultiva en los países mediterráneos, en Egipto, China y la India hace

7. Entre 1796 y 1801 Federico Enrique Alejandro Humboldt (naturalista nacido en Berlín en 1796) exploró una vasta zona de América del sur y echó las bases de la geografía física y meteorológica. Fue el primero en estudiar la proporción en que desciende la temperatura con la altitud, investigación que incluyó la ascensión al Chimborazo y otros elevados picos andinos. Hechos históricos de tamaño magnitud fueron realizados por el conocimiento que en esa época ya se tenía sobre las propiedades coligativas.

7. En seguimientos epidemiológicos se ha comprobado que la ingestión de un diente de ajo diario (o de vinil-ditiina 0,1 mg/Kg/día) reduce la mortalidad en un 46% y decrecen las enfermedades en un 36%. Pág 40, BIFASE, Volumen 12 – Número 3 (1999). Mandrile, Eloy, Bomgiorno de Pfrifer, Graciela

más de 4000 años. El ajo no solo se conocía en la antigüedad como saborizante y alimento, sino como medicina con diversas propiedades curativas. Sus propiedades terapéuticas son⁷: antihipertensivo, antitrombótico, hipolipemiante, antiarterioesclerótico, antimicrobiano, antiviral, antifúngico, antiinflamatorio, antitumoral, antimigrñoso. Los componentes del ajo son: proteínas, glúcidos, lípidos, celulosa, sodio, níquel, calcio, selenio, hierro, germanio, vitamina C, vitamina E, vitamina B1 (tiamina), vitamina B6, niacina, polifenoles, ácido salicílico. Algunos de los compuestos azufrados del ajo se muestran en la Figura 3:

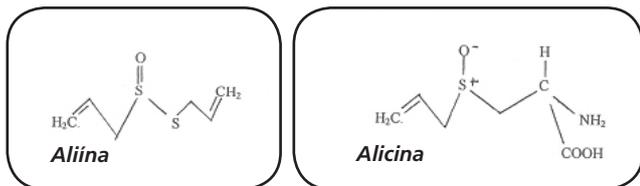


Figura 3: Fórmulas químicas de algunos de los compuestos activos del ajo.

Ají picante: *Capsicum*. Es una planta originaria de América. Sus propiedades terapéuticas son: Estimulante, digestivo, aperitivo, tónico nervioso, laxante, espasmolítico, diaforético, desinfectante, rubefaciente, carminativo, antibacteriano, y antiirritante. Sus componentes son: capsaicina, que aplicada externamente (generalmente con base oleosa) es rubefaciente, revulsiva en psoriasis, reumatismo y alivia el dolor causado por Herpes zoster. La fórmula química se observa en la Figura 4:

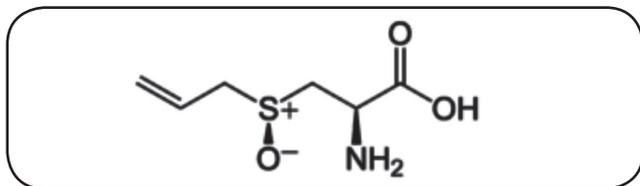


Figura 4: fórmula química de la capsaicina, compuesto activo del ají picante.

El maíz: *Zea mays*, Familia: Gramíneas, es originario de América. Sus propiedades terapéuticas son: Por su elevado contenido en carotenos -ningún otro cereal los contiene- o provitaminas A (que se transforman en vitamina A en el organismo), posee un alto poder antiinfeccioso y su condición beneficiosa para la vista. El 57% de sus sales minerales son ácidas, por lo que tiene una acción ligeramente acidulante. Por su contenido en celulosa, favorece el peristaltismo intestinal y modera la acción tiroidea. Sus componentes son: proteínas, lípidos, hidratos de carbono, vitaminas A, B, C, fibra. Sales minerales: potasio, calcio, fósforo, Magnesio. Como todos los cereales el maíz tiene un gran valor nutritivo y energético.

COMPOSICION DEL MAÍZ (contenido en 100 gramos de grano crudo)				
	cal/100g	Proteínas	Grasas	Hidratos de carbono
Maíz	364	9,6	3,5	73,9

El maíz es deficiente en niacina, lisina y triptofano. El resultado de la deficiencia de niacina es la aparición de la pelagra (la piel se vuelve áspera, rojiza y escamosa).

El Charqui: En las regiones andina y meridional de América de Sur se denomina **charqui** o charque a una forma de preparación de las carnes para su conservación durante periodos prolongados. Es carne deshidratada, por exposición al sol y cubierta con sal. El método de preparación usual es cortar la carne en lonjas o tiras lo más finas que sea posible, se le quita la grasa y la sangre ("jugo de carne", que a veces es dado a los niños). Las tiras así preparadas son colgadas en sitios secos, ventilados y, sobre todo, muy asoleados, hasta que tomen una textura semejante a la del cartón. En su composición se encuentra: vitaminas A, B1, B2, ácido fólico y niacina.

Es una fuente importante de minerales tales como yodo, manganeso, zinc, selenio. Se destaca por su riqueza en hierro (hemo), de fácil absorción. Hay que tener en cuenta que la carne de vacuno se consume cocinada, y que durante su preparación culinaria su riqueza nutritiva varía.

Todas las vitaminas del grupo B (hidrosolubles) presentes en la carne se reducen durante el cocinado. En cuanto a los minerales, la mayoría no se ven afectados, como en el caso de hierro, aunque otros como el fósforo, potasio y sodio, se pierden con el jugo de la carne al ser cocinada.

Un paseo fotográfico por el paso de Los Patos ¿Vamos?

Si vamos a acompañar al General San Martín en este cruce debemos ir por Los Patos. ¿Porque San Martín eligió ir con el grueso del ejército por ese paso? Las razones es que es el más peligroso, con más precipicios, se llega a más altura y; por lo tanto, los españoles nunca se iban a imaginar que el grueso del ejército pasaría por ese lugar. Esto favoreció el "factor sorpresa" dado que por ese lugar se llegaba al centro de Chile y San Martín desorientó a los españoles haciéndoles pensar que aparecería al sur de Santiago.



Angostos senderos de cornisa y precipicios muy profundos a su vera, a las pocas horas de la salida de "Barreales".

El Espinacito

Por este lugar pasó San Martín y con cuatro enfermedades que lo acompañaron en todo el cruce. Pade-cía de asma, artrosis, hemorragias estomacales y he-morroides, y además tuvo un ataque de gota⁸



Durante el descenso por El Espinacito, encontramos fósiles del fondo del mar.

En nuestro recorrido por aquellos lugares no pudimos dejar de reflexionar sobre ¡Qué grandeza la del Gral. San Martín! ¡Cómo pudo soportar tantas dolencias y enfrentar las adversidades de la naturaleza, sin claudicar en su empresa libertadora!



Fósiles del fondo del mar, en plena Cordillera de los Andes

Como se puede observar en la foto de arriba, comienza el descenso con una pendiente de 45° aproximadamente. Esto durante una hora, hasta llegar a una especie de meseta con muchas irregularidades y rocas partidas que hace difícil caminar por allí. Estábamos a una altura de 4300 metros sobre el nivel del mar.



El Espinacito: Es tal difícil el descenso que se debe bajar de a pie.



Llegamos al Río Los Patillos y por él recorremos durante cuatro horas por el agua.

¡Por fin, llegamos al Paso de Los Patos! Y nos instalamos en el refugio Ing. Sardina



El Paso de Los Patos. Este boquete entre las montañas era utilizado por los arrieros para llevar ganado a Chile



En el refugio Ing. Sardina nos tomamos un día de descanso. Téngase en cuenta que este refugio se construyó a principios del siglo XIX, es decir las tropas de San Martín no lo pudieron disfrutar.

Un día más de travesía para poder alcanzar la frontera con Chile.



No pudimos llegar al valle de Chacabuco en Chile, porque se debe tener un certificado de sanidad animal para obtener el permiso de pisar suelo chileno.

Nos detenemos en la frontera, en este punto, sin dejar de repetirnos ¿y ellos cómo hicieron? Las cifras indican que murieron durante el cruce más de 300 soldados por heladuras, por hambre perecieron la mitad de las mulas y de los 2700 caballos sobrevivieron unos 400, en muy mal estado.

El cruce de los Andes fue la batalla donde más pérdidas tuvo el Ejército de San Martín.

Tener en cuenta que en la batalla de Chacabuco, el 12 de febrero de 1817, murieron 12 soldados y tuvieron 120 heridos del lado del Ejército de Los Andes



Nos detuvimos en la frontera argentino chilena y nos retratamos "acompañados" por San Martín y O'Higgins. ¡VIVA LA PATRIA GRANDE!

San Martín resumió así la campaña de los Andes: ***"En veinticuatro días hemos hecho la campaña, pasamos la cordillera más alta del globo, concluimos con los tiranos y dimos la libertad a Chile".***

Referencias bibliográficas

MANDRILE, E, L y BONGIORNO de PFIRTER, G. Textos de Especialidad Farmacognosia. Area Biología Vegetal y Productos Naturales. División Farmacia. Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, calles 47 y 115, (1900) La Plata, Argentina.

GALASSO, Norberto, "Seamos libres y lo demás no importa nada", página 313, Capítulo XXVII. Editorial Colihue. Buenos Aires, 2000. Colección: "Las batallas de San Martín" Editorial Argentino S.A. Buenos Aires, 2007.

38

QUÍMICA Y ARTE.
TECNOLOGÍA E HISTORIA**Dra. Marta S. Maier***UMYMFOR – Departamento de Química Orgánica**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA). Pabellón 2, Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires, Argentina.**Email: maier@qo.fcen.uba.ar*

Desde los tiempos prehistóricos, el ser humano se ha expresado a través del arte utilizando los materiales de los que disponía. Pinturas rupestres realizadas por aplicación de pigmentos minerales mezclados con aglutinantes de origen animal o vegetal (grasas, aceites, sangre, huevo, resinas), fibras textiles teñidas con extractos de plantas y de insectos, y esculturas de madera con bellísimas policromías, son algunos ejemplos de la capacidad creativa del hombre y de su habilidad para mezclar y combinar distintos materiales.

Las obras de arte han trascendido a los hombres que las han creado y forman parte de nuestro patrimonio cultural, el cual debe ser conservado para las futuras generaciones. Muchos de los materiales que componen estos objetos artísticos han sufrido transformaciones por interacción con la luz, la humedad o los contaminantes presentes en el aire. ¿Cómo podemos comprender estos fenómenos? ¿Cómo prevenirlos o detenerlos? ¿Cómo entender las técnicas utilizadas en la manufactura de un objeto o la elección de un pigmento azul frente a otro del mismo color, para pintar el manto de una virgen?

Las respuestas a estas y muchas otras preguntas las podemos encontrar identificando las sustancias utilizadas en la manufactura de estos objetos y a partir del estudio de sus propiedades. Por lo tanto, parece hasta natural que la química, la ciencia que estudia la composición, estructura y propiedades de los materiales, se haya involucrado en este fascinante desafío. Desde los primeros análisis basados en reacciones químicas sencillas realizadas sobre el objeto mismo, hasta el desarrollo actual de técnicas instrumentales no invasivas, los químicos, en conjunto con historiadores de arte, restauradores y arqueólogos, han recorrido un camino común.

La identificación de los materiales en objetos artísticos tiene una larga tradición en Estados Unidos y Europa, ya sea en institutos de investigación o museos de renombre internacional como el Louvre de París o el Metropolitan Museum of Art de Nueva York. En la Argentina, estos estudios son bastante recientes y están ligados de manera indiscutible a los trabajos pioneros de la Dra. Alicia Seldes en "Tarea" (Taller de Restauro de Arte creado por la Academia Nacional de Bellas Artes y la Fundación Antorchas) y en el Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires

(Seldes y cols., 1998). Durante un período de diez años (1987-1997) se restauraron en Tarea 400 obras de arte, la mayoría de ellas pinturas coloniales provenientes de Jujuy, Salta, Córdoba, Santa Fe, Mendoza y Buenos Aires (Burucúa y cols., 2000). Por primera vez en el país se realizó un trabajo interdisciplinario en el que participaron historiadores de arte, restauradores, conservadores y químicos. Los historiadores de arte seleccionaron las obras en base a su importancia artística y cultural, y el análisis químico de pequeñas muestras del tamaño de la cabeza de un alfiler permitió identificar los pigmentos y aglutinantes utilizados en la manufactura de esas obras. Los resultados obtenidos a partir del análisis químico de las pinturas demostraron el alto grado de conocimiento, habilidad y creatividad de los artistas coloniales en la aplicación de distintos materiales y permitieron confirmar o desmentir ciertas hipótesis sobre el uso de algunos pigmentos, las cuales estaban basadas mayoritariamente en la tradición oral.

A estos trabajos los sucedieron otros que aumentaron el conocimiento sobre las prácticas artísticas del pasado y ampliaron el espectro de nuestros estudios extendiéndolos también al campo de la arqueología. En este capítulo se describirán a través de algunos ejemplos destacables los aportes de la química al conocimiento de nuestro patrimonio cultural.

Colores en los Andes

Los materiales que utilizaron los pintores en los talleres de la región andina durante los siglos XVI, XVII y XVIII provenían de centros mineros cercanos o eran provistos por la población autóctona que los utilizaba desde tiempos precolombinos, como el añil y la cochinilla. También circulaban productos importados de España, Italia y Alemania. Los colores eran preparados por molienda de minerales o por extracción de colorantes a partir de plantas o insectos y eran posteriormente mezclados con aceites vegetales como el de lino o nuez, o con yema de huevo. Antes de pintar un lienzo o una escultura de madera, se aplicaba una base de preparación. Para las telas, se utilizaban generalmente tierras de color ocre, mientras que para las esculturas la base más utilizada era el yeso. Estos materiales se mezclaban con una cola animal (gelatina) como aglutinante. Posteriormente se extendía la capa pictórica (a veces más de una) consistente en una sus-

pensión de pigmentos en un aceite secante (generalmente de lino), y finalmente se cubría la última capa con una resina natural, por ejemplo de pino, a modo de barniz.

En la Figura 1 podemos observar las fotografías de una muestra tomada con bisturí de un lienzo y su inclusión en una resina acrílica transparente mostrando una sección transversal o estratigrafía, la cual por observación bajo el microscopio muestra las distintas capas que la componen:



Figura 1. Infierno. Iglesia de Caquiaviri, Bolivia, 1739, óleo sobre tela. A. muestra roja tomada del fuego de la boca de Leviatán. B. Estratigrafía. Capa roja: minio (un óxido de plomo calcinado); base de preparación: tierra y carbonato de calcio (Maier y cols., 2010a).

Una estratigrafía revela información sobre la técnica utilizada por el artista o sobre posibles arrepentimientos al cubrir una capa pictórica con otra de diferente color. El análisis químico de los materiales de cada una de las capas de la estratigrafía se realiza actualmente mediante técnicas instrumentales como espectroscopia infrarroja (Derrick y cols., 1999) y Raman (Edwards y col., 2005), o a partir del análisis elemental por fluorescencia de rayos X o microscopía de barrido electrónica con microsonda de detección de rayos X (Ciliberto y col., 2000). Otras técnicas analíticas como las cromatográficas (Striegel y col., 1996) y la espectrometría de masa (Colombini y col., 2009) son las más adecuadas para la identificación de colorantes orgánicos o mezclas complejas de resinas, lípidos y proteínas.

Los pintores andinos utilizaron una variedad de pigmentos rojos y azules para obtener diferencias en el brillo y tonalidad de los colores, en algunos casos mediante mezclas de pigmentos minerales y orgánicos. Por otra parte, estas mismas sustancias eran utilizadas por boticarios para la preparación de medicinas en base a las propiedades terapéuticas que se les adjudicaban (Siracusano, 2005).

Los azules de la paleta andina

Los pigmentos azules más utilizados en los talleres andinos fueron la azurita, el esmalte, el azul de Prusia y el índigo (Seldes y cols., 1999). Veamos algunas características de cada uno de ellos: la azurita, un carbonato básico de cobre obtenido a partir de una piedra semipreciosa similar a la malaquita, se utilizaba en lugar del ultramar o lapislázuli, debido a su menor costo. En las pinturas andinas lo identificamos como único pigmento azul o mezclado con esmalte en la misma capa pictórica.

El esmalte es un pigmento sintético cuyo color se debe a la presencia de partículas de óxido de cobalto en una masa vítrea. En el siglo XVI se comercializaba desde Sajonia, lugar en donde se lo preparaba por calentamiento de minerales de cobalto para formar óxido de cobalto (II), el cual se fundía con sílice

y potasa o se agregaba a vidrio molido. Esta mezcla caliente se volcaba sobre agua fría, desintegrándose en fragmentos pequeños que luego de molidos eran utilizados como pigmento. Si bien en la región andina existen yacimientos de minerales de cobalto, no hay registros de que el esmalte haya sido producido en América con anterioridad a la segunda mitad del siglo XIX, lo cual sugiere que era un pigmento importado. El esmalte fue el pigmento identificado en una serie de pinturas que representan ángeles militares portando un arcabuz y que se encuentran en la iglesia de Casabindo, en la provincia de Jujuy. Otra serie de nueve de estas imágenes, tradicionales del arte colonial local, también se pueden apreciar en la iglesia de Uquía, Jujuy (Figura 2).



Figura 2: Ángel arcabucero de la serie que está expuesta en la iglesia de Uquía. Vista interior y exterior de la iglesia (Quebrada de Humahuaca, Jujuy).

Si comparamos los azules de los cuadros de Casabindo logrados con el uso de smalte, éstos son más brillantes que los de la serie de ángeles arcabuceros de la iglesia de Uquía. En estos cuadros, el pigmento azul utilizado no fue el smalte sino el índigo o añil (Maier, 2006) (Figura 3).

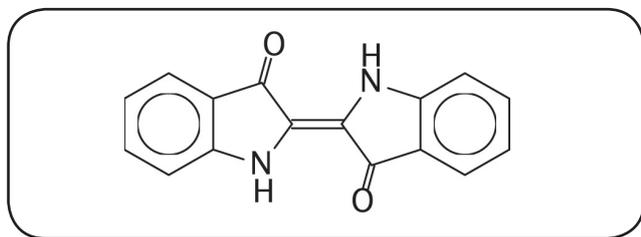


Figura 3: estructura química del índigo.

El índigo natural es un colorante extraído de plantas de la familia de las *Papilionaceae*. En la época colonial era producido en Guatemala y de allí distribuido en América y exportado a España. Era uno de los colorantes más utilizados para teñir textiles. La obtención del colorante requería de la fermentación de las plantas en agua. En estas condiciones, el metabolito producido por la planta, el glucósido de indoxilo, se hidroliza al indoxilo mediante la acción de una enzima. Luego de un proceso de fermentación en presencia de oxígeno atmosférico, el indoxilo se convierte en índigo. Esta forma de obtención se utilizó hasta fines del siglo XIX y fue reemplazada a partir de 1897 por la preparación del índigo por síntesis de laboratorio. (ver capítulo Galagovsky).

El índigo se identifica fácilmente por espectroscopía Raman. En la Figura 4 observamos el espectro Raman de la capa pictórica de una muestra azul tomada de un mural, en donde se observan las señales características de índigo a 548, 600 y 1572 cm^{-1} .

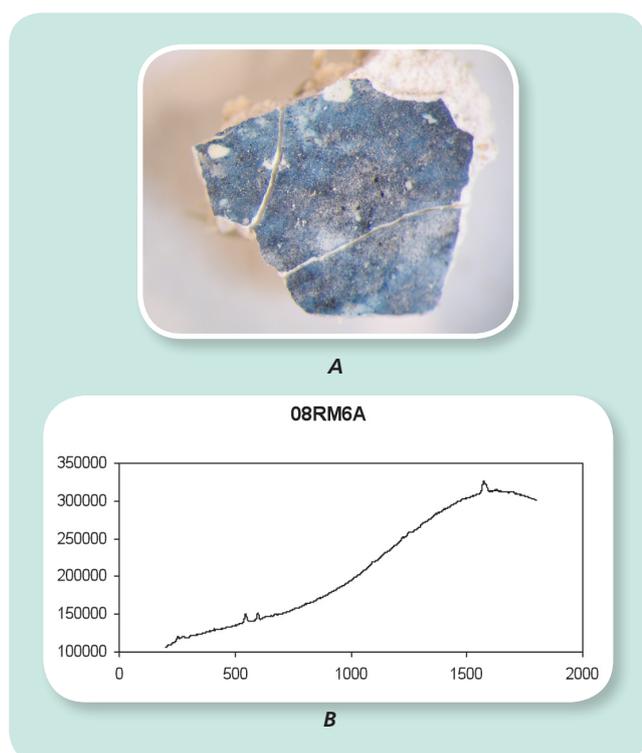


Figura 4: Pintura mural. Iglesia de Andamarca, Bolivia. A) Muestra azul fotografiada bajo microscopio estereoscópico, B) espectro Raman de la capa azul a 632,8 nm.

El índigo suele confundirse con el azul de Prusia por la similitud de su color y tamaño de grano. El azul de Prusia es un complejo hidratado de hexacianoferrato de hierro que puede también contener sodio, amonio o potasio en su fórmula. Es un pigmento sintético preparado por primera vez en 1704 por el berlinés G. Diesbach. Alrededor del año 1724 fue introducido como pigmento y rápidamente adoptado en toda Europa en la pintura al óleo. En Sudamérica fue utilizado a partir de 1790 y se convirtió, junto con el índigo, en uno de los pigmentos azules más empleados en la pintura colonial.

El índigo y el azul de Prusia también fueron utilizados para preparar tonalidades verdes por mezcla con oropimente, un sulfuro arsenioso de color amarillo, sumamente venenoso. Su presencia fue identificada en pigmentos verdes de varias pinturas sudamericanas (Seldes y cols., 2002). Sin embargo, el pigmento verde identificado en la mayoría de los lienzos analizados, provenientes tanto del Norte Argentino como de Bolivia (Maier y cols., 2010a) era el resinato de cobre. Este es el nombre que se da comúnmente a un pigmento verde transparente que se obtiene por combinación de sales de cobre con una resina vegetal, en general proveniente de coníferas. Si bien en Europa había caído en desuso hacia el siglo XVIII, en Sudamérica se lo identificó en pinturas y documentos que datan de la segunda mitad del siglo XVIII.

Insectos que producen carmín

Carmín es el nombre genérico que se da a dos sustancias rojas producidas por las hembras de dos insectos: *Dactylopius coccus* o cochinilla, originario de América, y *Kermes vermilio*, originario de Europa y Oriente. La cochinilla se alimenta de cactus de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* y sus hembras producen un colorante rojo, el cual se extrae fácilmente con agua caliente de los cuerpos secos de los insectos. El compuesto mayoritario responsable del color es el ácido carmínico, el cual es un C-glicósido de una hidroxiantraquinona (Figura 5).

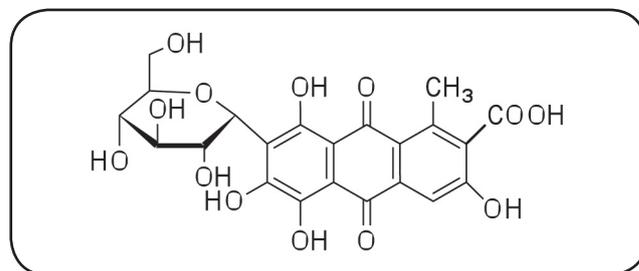


Figura 5. Estructura química del ácido carmínico.

El carmín fue el colorante más utilizado en América Central antes de la conquista española. Para su preparación como pigmento se lo precipitaba como una laca sobre alumbre o sales de estaño. A partir del siglo XVI se produjo un incremento notable en la producción de carmín y éste se convirtió en una de las principales fuentes de ingresos de la corona española, siendo la especie comercial más valiosa luego del oro y la plata. Rápidamente reemplazó al ácido kermésico,

el colorante rojo producido en Europa a partir de las hembras del insecto *K. vermilio*, el cual se alimenta de árboles de roble, en particular de la especie *Quercus coccífera* L. (Schweppe y cols., 1986).

El carmín es translúcido en mezclas con aceites vegetales o resinas de plantas y por eso se utilizaba como laca para pintar determinadas zonas de un lienzo y para la manufactura de carnaciones. En la serie de pinturas cuzqueñas que relatan la vida de Santa Catalina de Siena, que se encuentran en el convento de Santa Catalina en la ciudad de Córdoba, lo identificamos en tres cuadros de la serie. En uno de ellos se aplicó como capa final sobre una mano de bermellón y otra de óxido de hierro, para resaltar el color rojo del manto de Cristo, en otro, como veladura sobre una capa de blanco de plomo para delinear las alas de un ángel, y en un tercero mezclado con índigo para lograr una tonalidad violácea (Seldes y cols., 1998).

Como pigmento orgánico se utilizaba en bajas concentraciones, por lo tanto su identificación requiere de la aplicación de técnicas específicas para compuestos orgánicos, como la cromatografía líquida de alta resolución y la espectrometría de masa (Maier y cols., 2004).

En el área andina el colorante extraído de la cochinilla se conocía desde tiempos prehistóricos como lo confirma su identificación en textiles arqueológicos (Claro y cols., 2010).

Esculturas jesuíticas en el Museo de Ciencias Naturales de La Plata

En la misión Jesuítica de La Trinidad, en Paraguay, se encontraron una serie de esculturas policromadas producidas durante el siglo XVIII en talleres en los cuales se utilizaban materiales, como madera y piedra, para crear esculturas religiosas decoradas con policromías de colores vivos. Parte de estas esculturas están actualmente en exhibición en el Museo de Ciencias Naturales de La Plata, Provincia de Buenos Aires. Una característica interesante de estas esculturas es que nunca fueron restauradas y por lo tanto sus policromías son las originales, sin repintes de épocas posteriores. La identificación de sus pigmentos es relevante, ya que permite contrastar esta información con manuscritos (inventarios, listados de mercancías, manuales y tratados) que los describen o mencionan por sus usos o significados en la región. Entre ellos, se encuentran los inventarios que dejaron los jesuitas luego de su expulsión en 1767 y que contienen listados de pigmentos, entre otros materiales adquiridos para la manufactura de obras de arte religioso.

Recientemente, hemos tenido la oportunidad de analizar los materiales de las policromías de varias de estas esculturas de madera, entre ellas la que representa a San Gregorio Magno (Figura 6), en cuya manufactura se utilizaron cuatro pigmentos rojos diferentes.

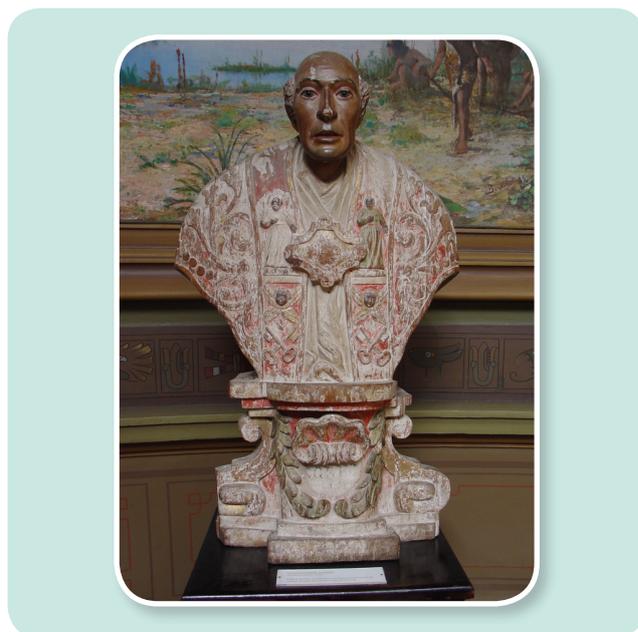


Figura 6: Escultura jesuítica de San Gregorio Magno. Museo de Ciencias Naturales de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Las estratigrafías de las muestras extraídas del labio superior y de la comisura derecha del labio (Figura 7) mostraron la aplicación de una única capa pictórica sobre la base de preparación. Las diferencias en coloración sugirieron la presencia de pigmentos rojos diferentes.

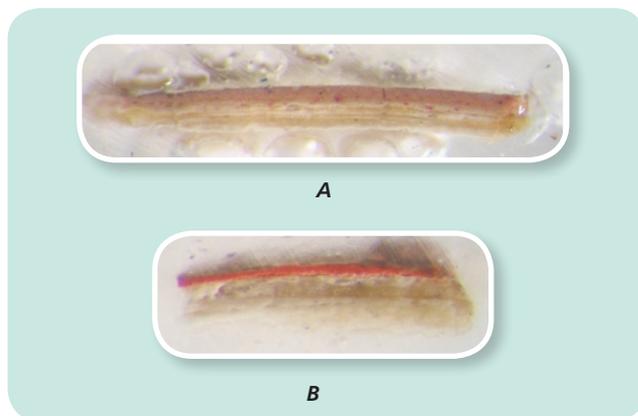


Figura 7: Estratigrafías de muestras tomadas de la comisura derecha del labio (A) y del labio superior (B).

En el labio superior identificamos la presencia de sulfuro de mercurio (bermellón) en la capa pictórica, el cual se aplicó mezclado con minio, un óxido de plomo rojo. Este último era utilizado como secante y también como adulterante de otros rojos, en particular del bermellón, debido a su bajo costo y su fácil adquisición. Cabe destacar que ésta era una práctica aconsejada en los manuales de pintura que circulaban en la época (Pacheco, 1990).

En la carnación de la comisura del labio se identificó un pigmento orgánico rojo mezclado con carbonato básico de plomo conocido como albayalde o blanco de plomo. La hidrólisis ácida de una pequeña mues-

tra extraída con un bisturí y el análisis del extracto por cromatografía líquida de alta resolución mostró la presencia de dos hidroxiantraquinonas: alizarina y purpurina (Gómez y cols., 2010) (Figura 8).

el Museo de Ciencias Naturales de La Plata, con excepción de un grupo escultórico denominado La Trinidad (Figura 9) realizado en *Cedrela fissilis*, conocida como ygarí, la madera más utilizada en la misión.

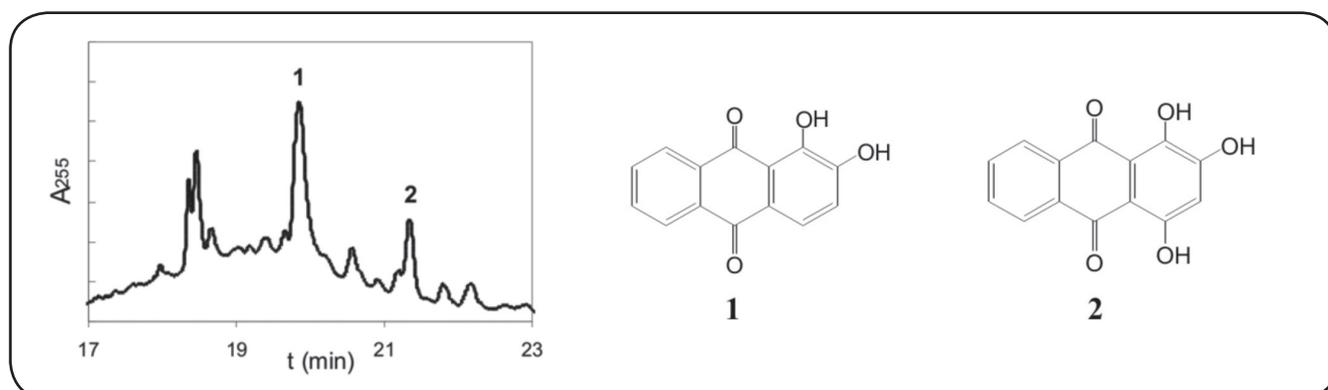


Figura 8: cromatograma del análisis por cromatografía líquida de alta resolución del producto de hidrólisis de la muestra de la comisura del labio indicando los picos correspondientes a las antraquinonas naturales alizarina (1) y purpurina (2).

La alizarina es el colorante principal de las raíces de color rojo de la planta *Rubia tinctorum* mientras que la purpurina es el producto de descarboxilación del glicósido pseudopurpurina, también presente en la planta, durante la manufactura y almacenamiento del colorante. Las raíces de *Rubia* fueron una fuente muy importante de colorante rojo para teñir debido a que la planta era fácil de cultivar y, por consiguiente, el colorante era menos costoso que aquéllos extraídos de insectos, como la cochinilla. En Sudamérica, varias especies del género *Relbunium* fueron utilizadas por las civilizaciones precolombinas para extraer colorantes rojos; una característica general de estas especies es que no contienen alizarina en sus raíces (Cardon, 2007). La identificación de alizarina y purpurina en la carnación así como en la zona de la capa de la escultura indica la utilización de una laca de *Rubia* como pigmento rojo. Las lacas son pigmentos obtenidos por precipitación de un colorante natural o sintético con una sal, formando un compuesto insoluble. La sal más utilizada era el alumbre, un sulfato de aluminio y potasio. Es probable que la laca de *Rubia* identificada en la escultura haya sido importada de España, ya que este país, junto con Flandes e Italia, eran los principales productores de este pigmento orgánico. Aún cuando las lacas fueron utilizadas en el arte colonial sudamericano, sólo el carmín, la laca roja obtenida a partir de cochinilla, había sido identificada en pinturas de la región andina (Seldes y cols., 2002). Las raíces de *Rubia* fueron utilizadas en Europa en el teñido de textiles, pero su uso en pinturas ha sido mencionado en pocas ocasiones. Por otro lado, el nombre de *Rubia* se comenzó a utilizar a principios del siglo XIX por lo que es probable que en los tratados de pintura este pigmento haya sido denominado simplemente como laca, sin especificar su origen.

La base de preparación de la escultura de San Gregorio Magno está constituida por yeso, una característica de las esculturas policromadas producidas en España e Italia. Esta misma base de preparación se identificó en otras esculturas procedentes de la misión La Trinidad que se encuentran en exhibición en

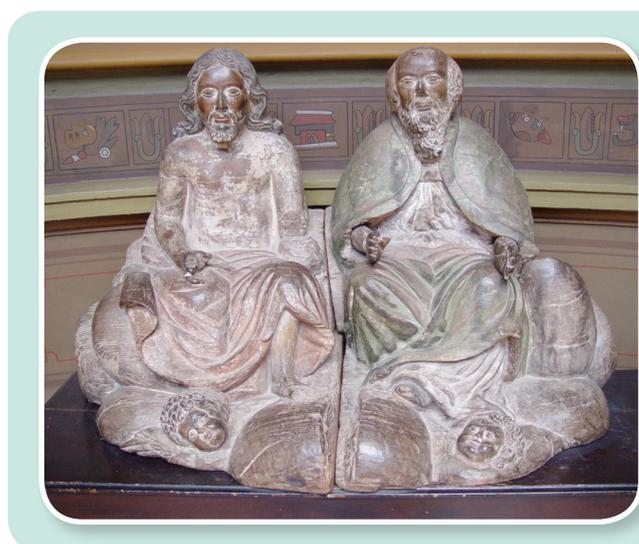


Figura 9: Escultura jesuítica La Trinidad. Museo de Ciencias Naturales de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

La base de preparación de esta escultura fue identificada por espectroscopía infrarroja como una mezcla constituida por carbonato de calcio y un aglutinante proteico. Esta práctica era muy utilizada en los países del norte de Europa, lo que sugeriría la influencia de maestros austríacos o alemanes activos en la misión.

Por otra parte, en una muestra de color verde tomada de la capa pluvial de Dios Padre se identificó por primera vez en una obra de arte colonial la presencia de tierra verde como pigmento (Fazio y cols., 2010). Este es un mineral arcilloso compuesto por celadonita o glauconita, dos silicatos de composición variable conteniendo hierro, aluminio, magnesio y potasio. La identificación de tierra verde en murales y lienzos de Europa y Asia demuestran que fue un pigmento muy popular en arte, si bien actualmente ya no se utiliza (Grissom, 1986). Es interesante destacar que este pigmento fue identificado en pinturas rupestres de la Cueva de las Manos en la Provincia de Santa Cruz (Wainright y cols., 2002) y en sitios arqueológicos con arte rupestre en la cuenca del río Manso en Río Negro (Podestá y cols., 2008).

El esqueleto de la fragata HMS Swift

El 13 de marzo de 1770, la corbeta inglesa HMS Swift chocó con una roca sumergida y se hundió en el estuario de lo que actualmente es la ciudad de Puerto Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. El naufragio, que yace a 18 metros de profundidad, fue descubierto en 1982 por dos estudiantes secundarios de Puerto Deseado que, fascinados por la historia del naufragio, se propusieron encontrar la corbeta. Desde 1998 el sitio está siendo excavado por el grupo de arqueología subacuática del Instituto Nacional de Antropología, dirigido por la Dra. Dolores Elkin. En la excavación se recuperaron una gran cantidad de artefactos caracterizados por su excelente estado de conservación (Elkin y cols., 2007). Entre los hallazgos, el grupo de arqueología subacuática descubrió un esqueleto completo en la cabina del capitán, cubierto por una gruesa capa de sedimento de grano muy fino que favoreció su preservación. El cráneo y la escápula presentaban restos de textiles adheridos. El textil de la escápula era de color rojo intenso y bajo microscopio se distinguían claramente las fibras entre restos de sedimentos (Figura 10). Los estudios por espectroscopía infrarroja mostraron que en las dos muestras las fibras correspondían a lana.



Figura 10: Fotografía bajo microscopio estereoscópico del textil rojo adherido a la escápula del esqueleto.

La extracción del colorante rojo del textil adherido a la escápula y el análisis por cromatografía líquida de alta resolución del extracto mostraron que estaba compuesto por las antraquinonas alizarina y purpurina, colorantes extraídos de las raíces de la planta *Rubia tinctorum*. Esto datos constituyen una evidencia de una chaqueta de lana de color rojo, característica del uniforme de los infantes de marina de la época. Por otro lado, cerca del esqueleto se encontraron 32 botones de metal y dos zapatos con sus respectivas hebillas metálicas. El metal fue identificado como peltre, una aleación de plomo y estaño con algo de cobre (Maier y cols., 2010b). En el siglo XVIII, varias vestimentas incluían botones, a menudo de metal. Las características de los botones hallados en el naufragio de la corbeta HMS Swift se corresponden con los de varios de los componentes del uniforme que utilizaban los oficiales de la Marina Británica. Los resultados de los análisis químicos junto con la evidencia arqueológica y el aná-

lisis de los restos óseos avalan la hipótesis de que el esqueleto corresponde a uno de los dos infantes de marina fallecidos durante el naufragio.

Consideraciones finales

Actualmente, el estudio de materiales en obras de arte y arqueología es un área muy activa de la química. Los avances en el desarrollo de técnicas analíticas de gran sensibilidad permiten el análisis de muestras cada vez más pequeñas. El carácter no invasivo de algunas de estas técnicas posibilita el estudio sobre el objeto mismo, sin necesidad de tomar una muestra, lo cual es fundamental al estudiar objetos únicos e irrepetibles. Por otro lado, en los últimos diez años ha aumentado la publicación de números especiales dedicados al tema en revistas tradicionales de química, lo cual demuestra el gran interés en este área del conocimiento, así como su vinculación con la transferencia del conocimiento sobre los materiales a otras disciplinas y en última instancia a la sociedad.

Referencias bibliográficas

Burucúa, J. E.; Bustillo, A.; de las Carreras, M.; Filipelli, V.; Jáuregui, A.; Martini, J. X.; Ortiz, D.; Schenone, H. H.; Seldes, A. y Siracusano, G. (2000). Tarea de diez años. Buenos Aires, Ediciones Fundación Antorchas 2000.

Cardon, D. (2007). Natural Dyes - Sources, Tradition, Technology and Science. London. Archetype Publications.

Ciliberto, E. and Spoto, G. (2000). Modern analytical methods in art and archaeology. New York. John Wiley & Sons.

Claro, A.; Melo, M. J.; Seixas de Melo, J. S.; van den berg, K. J.; Burnstock, A.; Montague, M. and Newman, R. (2010). Identification of red colorants in van Gogh paintings and ancient Andean textiles by microspectrofluorimetry. *Journal of Cultural Heritage*, 11, pp. 27-34.

Colombini, M. P. and Modugno, F. (2009). Organic mass spectrometry in art and archaeology. Chichester. John Wiley & Sons.

Derrick, M. R.; Stulik, D. and Landry, J. M. (1999). Infrared spectroscopy in conservation science. Los Angeles. The Getty Conservation Institute.

Edwards, H. G. M. and Chalmers, J. M. (2005). Raman spectroscopy in archaeology and art history. Cambridge. The Royal Society of Chemistry.

- Elkin, D.; Argüeso, A.; Bastida, R.; Dellino-Musgrave, V.; Grosso, M.; Murray, C. y Vainstub, D. (2007). Archaeological research on HMS Swift: a British-Sloop of War lost off Patagonia, Southern Argentina, in 1770. *International Journal of Nautical Archaeology*, 36, pp. 32-58.
- Fazio, A. T.; Papinutti, L.; Gómez, A.; Parera, S. D., Rodríguez Romero, A.; Siracusano, G. y Maier, M. S. (2010). Fungal deterioration of a Jesuit South American polychrome wood sculpture. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64, pp. 694-701.
- Gómez, B.; Parera, S. D., Siracusano G. y Maier, M. S. (2010). Integrated analytical techniques for the characterization of painting materials in two South American polychrome sculptures. *e-Preservation Science*, 7, pp. 1-7.
- Grissom, C. A. (1986). Green earth. En: *Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics*. Vol. 1. New York. Oxford University Press, pp. 141-167.
- Maier, M. S.; Parera, S. D. y Seldes, A. M. (2004). Matrix-assisted laser desorption and electrospray ionization mass spectrometry of carminic acid isolated from cochineal. *International Journal of Mass Spectrometry*, 232(3), pp. 225-229.
- Maier, M. S. (2006). Química y color en la pintura colonial sudamericana. *Industria y Química*, 353, pp. 18-20.
- Maier, M.; Gómez, B. y Parera, D. (2010a). Examen científico de los materiales pictóricos. En: *La Paleta del Espanto. Color y cultura en los cielos e infiernos de la pintura colonial andina*. Buenos Aires. UNSAM EDITA de Universidad Nacional de General San Martín.
- Maier, M. S.; Gómez, B.; Parera, S. D.; Elkin, D.; De Rosa, H.; Ciarlo, N. C. y Svoboda, H. (2010b). Characterization of cultural remains associated to a human skeleton found at the site HMS Swift (1770). *Journal of Molecular Structure*, 978, pp. 191-194.
- Pacheco, F. (1990) *Arte de la pintura [1649]*, Madrid, Cátedra, pp. 495-497.
- Podestá, M. M., Bellelli, C., Labarca, R., Albornoz, A. M., Vasini, A. y Tropea, E. (2008). Arte rupestre en pasos cordilleranos del bosque andino patagónico (El Manso, región de los lagos y provincia de Río Negro, Chile-Argentina). *Magallanica (Chile)*, 36(2), pp. 143-153.
- Schweppe, H. and Roosen-Runge, H. (1986). Carmine – cochineal carmine and kermes carmine. En: *Artists' pigments. A handbook of their history and characteristics*. Vol. 1. New York. Oxford University Press, pp. 255-283.
- Seldes, A., Abad, G. y Maier, M. S. (1998). Composición química de las capas de pintura. En: *Una Serie de Pinturas Cuzqueñas de Santa Catalina: historia, restauración y química*. Buenos Aires. Fundación Tarea.
- Seldes, A. M.; Burucúa, J. E.; Maier, M. S.; Abad, G.; Jáuregui, A. y Siracusano, G. (1999). Blue pigments in South American painting (1610-1780). *Journal of the American Institute for Conservation*, 38(2), pp. 100-123.
- Seldes, A.; Burucúa, J. E.; Siracusano, G., Maier, M. S. y Abad, G. (2002). Green, yellow and red pigments in South American painting, 1610-1780. *Journal of the American Institute for Conservation*, 41(3), pp. 225-242.
- Striegel, M. F. and Hill, J. (1996). *Thin-layer chromatography for binding media analysis*. Los Angeles. The Getty Conservation Institute.
- Siracusano, G. (2005). *El poder de los colores. De lo material a lo simbólico en las prácticas culturales andinas. Siglos XVI-XVIII*. Buenos Aires. Fondo de Cultura Económica.
- Wainright, I. N. M.; Helwig, K.; Rolandi, D. S.; Gradin, C.; Podestá, M. M.; Onetto, M.; Aschero, C. (2002). Rock paintings conservation and pigment analysis at Cueva de las Manos and Cerro de los Indios, Santa Cruz (Patagonia), Argentina. *ICOM. Preprints*, vol. II, pp. 582-589.

***RESÚMENES
DEL LIBRO
QUÍMICA
Y CIVILIZACIÓN***

LA FORMACIÓN QUÍMICA PERMITE EL ACCESO A MÚLTIPLES DISCIPLINAS ESPECIALIZADAS

Dra. Celia E. Coto.

Profesora Titular Consulta. Departamento de Química Biológica.

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. E-mail: celiaecoto@yahoo.com.ar

A lo largo de la historia de la Ciencia, hombres y mujeres destacados por sus trascendentes hallazgos tuvieron una formación química. Es imposible mencionar a todos los que de uno u otro modo han contribuido al avance de otras ramas de la Ciencia con sus conocimientos químicos. En este trabajo hemos abarcado un período que comprende los finales de la era alquímica hasta el presente y entre los numerosos químicos destacados hemos mencionado principalmente a aquellos que fueron galardonados con el premio Nobel de Fisiología o Medicina. De este modo, aparte de los alcances de la química actual con sus numerosas ramas, hemos recordado la obra de Robert Boyle, Antoine-Laurent de Lavoisier, Luis Pasteur, Linus Carl Pauling, Gertrude B. Elion y César Milstein. Un análisis más exhaustivo nos hubiera conducido a mencionar a muchos otros científicos que también recibieron el Nobel que premia a los hallazgos que producen adelantos en la Medicina.

RELATOS SOBRE QUÍMICOS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

LA CONTRIBUCIÓN DE JEAN REY A LA TEORÍA DE LA COMBUSTIÓN Y LA CALCINACIÓN

Dr. Miguel Katz

Profesor de Epistemología e Historia de la Química - Instituto Superior del Profesorado

"Dr. Joaquín V. González". E-mail: muon_k@yahoo.com.ar

El presente trabajo tiene por objetivo rescatar la obra de Jean Rey, un médico de Périgourd quien en 1630 publicó un trabajo en el que, mediante un análisis muy original y recurriendo a un experimento muy sencillo, demostró que la calcinación de metales involucra la combinación de estos materiales con el aire. La obra de Rey no tuvo mucha repercusión en su época y fue rápidamente olvidada. En el siglo siguiente, tanto la combustión como la calcinación fueron procesos concebidos como liberadores de una sustancia volátil de muy baja densidad (e imposible de aislar) llamada "flogisto". Esa liberación de flogisto debería resultar en una disminución del peso y no en un aumento. En 1772, Antoine Laurent Lavoisier repitió, sin saberlo, los experimentos de Rey y llegó a la misma conclusión que éste. En 1774 se hizo público el descubrimiento del oxígeno y unos años más tarde, Lavoisier pulió la teoría demostrando que tanto la combustión como la calcinación resultan de la combinación de un combustible o un metal con el oxígeno del aire. Pero ni él ni sus seguidores mencionaron el trabajo pionero de Jean Rey.

CONTRIBUCIÓN DEL CONOCIMIENTO QUÍMICO A LA SUPERVIVENCIA HUMANA. LOS CASOS DE LAVOISIER Y PASTEUR

Dr. Alberto A. Ghini¹ y Dr. Carlos P. Lantos²

1 - Cátedra de Química, Ciclo Básico Común y UMYMFOR (CONICET-UBA), Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, C1428EHA. Buenos Aires, Argentina. E-mail: ghini@qo.fcen.uba.ar

2 - Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires y CONICET. Pabellón 2, Ciudad Universitaria, C1428EHA. Buenos Aires, Argentina. E-mail: clantos@qb.fcen.uba.ar

La monografía relata episodios significativos de la vida de dos químicos que se destacaron, uno como el fundador de la química moderna, y el otro, un siglo después, como el de la microbiología. Sin que ello constituyera su único fin científico, ambos contribuyeron a la existencia humana y a la calidad de vida. Ambos también tuvieron una notoria vida cívica, aunque con suerte diversa.

Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) fue un sabio multifacético: químico, matemático y economista. Entre los principios generales de la química cuyo esclarecimiento se le deben, se destaca la Ley de Conservación de la Masa ("nada se pierde, nada se gana, todo se transforma") que Lavoisier demostraba con meticulosos experimentos. La monografía describe en particular un experimento-tipo en que el sabio refuta la teoría del flogisto, y en el cual separa el aire atmosférico en oxígeno y nitrógeno, y emprende el estudio de las propiedades biológicas y comburentes de ambos gases. Fue además muy riguroso en la utilización del lenguaje científico, definiendo con precisión los términos que utilizaba, entre ellos a los "elementos" como "sustancias simples que ya no pueden ser descompuestas por ningún método de análisis químico". Lavoisier consiguió además aislar 33 elementos, entre ellos los metales y no-metales sólidos fósforo, mercurio, zinc y azufre.

QUÍMICA Y CIVILIZACIÓN

Se describe también someramente su vida pública, en particular su actividad como miembro de la Ferme Générale, la opinión de sus biógrafos respecto a la finalidad o "culpa" del sabio, que terminó con su condena a muerte durante El Terror, el período más funesto de la Revolución, después de un juicio que duró un día. Finaliza esta parte con la evaluación por los autores del papel de Lavoisier como científico, economista y reformador social, especialmente durante el período inicial de la Revolución en el que el sabio formó parte de numerosas comisiones oficiales.

Basándose en parte en las leyes y principios básicos de la química establecidos por Lavoisier, cuya memoria veneraba, Louis Pasteur (1822-1894) generó el vínculo moderno entre la química y la biología. Se hace especial énfasis en esta monografía en demostrar que toda la investigación de Pasteur, con todos los extraordinarios resultados a que dieron lugar, se basó fundamentalmente en sus primeros trabajos sobre la desviación de la luz polarizada por las sustancias orgánicas y la relación entre esta propiedad, las estructuras cristalinas y la configuración molecular. Del mismo modo que Lavoisier, Pasteur gozó en vida de gran predicamento. Ocupó también cargos públicos, fue Académico, fue solicitado por los gobiernos para colaborar en tareas de interés público, etc. Y tal como Lavoisier, también tuvo sus contrincantes, especialmente, en aspectos que tocaban a sus convicciones religiosas, en la discusión sobre la "generación espontánea" y en lo referente a la aplicación de sus vacunas. Pero el clima político de su época fue mucho más benigno que el que le tocó en suerte a su ilustre antecesor; había entonces lugar para el disenso y la pluralidad de ideas. De hecho, cuando Pasteur murió, el gobierno de Francia decretó duelo nacional por tres días y se le brindaron los honores de un "funeral nacional".

El artículo finaliza con una breve conclusión de los autores respecto de los temas abordados.

LA ALQUIMIA DEL VERBO

Dr. Héctor Santiago Odetti

Profesor Titular dedicación exclusiva. Departamento de Química General e Inorgánica. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral. E-mail: alisho1@hotmail.com

Probablemente sea por todos conocidos el libro de Umberto Eco, El péndulo de Foucault. En el desarrollo del mismo, Casaubon y sus dos amigos recorren varias historias de aventuras mágicas, religiosas, esotéricas, satíricas, etc. En este complejo devenir se va creando y recreando la reconstrucción de la historia secreta de todo el mundo. Algunos lectores de estas historias no podrían sino maravillarse, sin embargo hay otros, por supuesto, que matarían por este conocimiento. No ajena a toda la historicidad, la Alquimia y la Química, aparecen fusionadas en el relato que seduce al lector de esta novela.

La intención de la escritura de este capítulo es la de indicar que es posible disfrutar de los capítulos del libro de Umberto Eco, con el cual lectores no químicos, se puede enamorar de esta Ciencia y comprender que la misma fue y es importante, no sólo para el desarrollo científico y tecnológico, sino también como factor de cambio social y cultural...

LOS DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DESCUBIERTOS EN AMÉRICA

Dr. Enrique J. Baran

Centro de Química Inorgánica (CEQUINOR, CONICET/UNLP), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, C. Correo 962, 1900-La Plata, Argentina.

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Av. Alvear 1711, 4º piso, 1014-Buenos Aires, Argentina. E-mail: baran@quimica.unlp.edu.ar

La historia del descubrimiento de los elementos químicos es sumamente interesante y atractiva e involucra a estudiosos y científicos de muchas nacionalidades. Habitualmente es mucho menos conocido el hecho de que dos de estos elementos fueron descubiertos por españoles en suelo americano, uno de ellos por un joven militar y el otro por un mineralogista que se desempeñaba como profesor en el Colegio de Minería de México.

Los dos elementos a los que nos referimos son el platino, descubierto por Don Antonio de Ulloa, y el vanadio, descubierto por Andrés Manuel del Río. En este capítulo se relatan los condicionamientos que operaron en los respectivos momentos de dichos descubrimientos.

DE LA ACADEMIA A LA EMPRESA: WILLIAM PERKIN Y EL COLOR VIOLETA

Dra. Lydia Galagovsky

Profesora de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. E-mail: lyrgala@qo.fcen.uba.ar

La historia de los pigmentos tales como el Púrpura de Tiro comienza en la época pre-química, continúa con la química, e involucra la biología, la sociología y la economía. En este capítulo trataremos de mostrar esta interacción y el rol fundamental que jugó el joven inglés estudiante de química William Perkin.

En 1856 Perkin, intentó obtener quinina, medicamento contra la malaria sólo obtenido de árboles típicos de Perú. Sin embargo, obtuvo un "barro negro". Al intentar lavar el material de vidrio utilizado, comprobó que se formaba un color violeta, que resultó teñir telas.

Con esfuerzo familiar, patentó el producto y comenzó su fabricación en equeña escala.

¡El negocio fue un éxito! Perkin llamó a su pigmento "Anilina Púrpura" o "Púrpura de Tiro". Cuando se puso de moda en Francia, lo rebautizaron como "mauve" (o mauvéina).

El éxito del pigmento sintético inauguró la nueva era de síntesis industrial de compuestos. Los pigmentos que se obtenían durante siglos de vegetales o animales, pasaron a ser fabricados por el hombre, lo cual cambió la relación de fuerzas económicas y comerciales, en detrimento de las zonas agrícolas asiáticas especializadas en aquellos cultivos.

JUGANDO AL "SOLITARIO" CON LOS NAIPES DEL CREADOR. MENDELEEV Y LA TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

Dr. Teodoro S. Kaufman

Instituto de Química Rosario (IQUIR, CONICET-UNR) y Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario Suipacha 531, 2000 Rosario, República Argentina. E-mail: kaufman@iquir-conicet.gov.ar

La "Tabla Periódica de los Elementos" de Mendeleev-Moseley, que codifica una gran cantidad de información referida a los elementos nos distingue, como químicos, de otras profesiones. Esta Tabla, que viste las paredes de aulas, bibliotecas y laboratorios donde se produce, almacena o transmite conocimiento químico y que se encuentra asociada a los más variados ámbitos y elementos relacionados con la química, es prueba de nuestra inteligencia y capacidad como civilización.

El prodigioso y polifacético científico ruso Dimitri Ivanovich Mendeleev, de quien hace poco se cumplieran 100 años de su fallecimiento, es considerado mundialmente como el padre de la Tabla Periódica de los Elementos. Este es el hombre que por primera vez entendió el sistema periódico, al punto tal de ser capaz de formular una regla clara y simple que permitió clasificar de una manera lógica y sencilla el contenido de la baraja química y hacer predicciones sobre propiedades y características elementos entonces desconocidos.

Al cumplirse en 2011 los 150 años del inicio de la carrera científica independiente de Mendeleev, coincidente con su regreso a Rusia tras su breve pero extraordinariamente formativo paso por Europa, esta breve biografía del sabio ruso muestra no sólo al químico de mente brillante sino al ser humano que llegó a la cima pese a la adversidad y al ciudadano comprometido que, adelantado a su tiempo, supo entregar su conocimiento y experiencia en aras del progreso científico y tecnológico de su país.

LOS QUE PUDIERON SER MENDELEEV Y SUS SUCESORES. INTENTOS INFRUCTUOSOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y MODIFICACIONES NOTABLES A LA TABLA PERIÓDICA DE MENDELEEV

Dr. Teodoro S. Kaufman

Instituto de Química Rosario (IQUIR, CONICET-UNR) y Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario. Suipacha 531, 2000 Rosario, República Argentina. E-mail: kaufman@iquir-conicet.gov.ar

Ninguna ley de la naturaleza, ha sido establecida de una sola vez. Su descubrimiento y reconocimiento como tal, siempre ha estado precedida por muchos presentimientos. En la actualidad, Dimitri I. Mendeleev es reconocido de manera universal como el padre de la Tabla Periódica de los Elementos, por su exitoso proceso de sistematizar la disposición de los elementos químicos a través del enunciado de la Ley Periódica en 1869.

Sin embargo, Mendeleev no fue el único científico de su época que procuró hallar relaciones entre los elementos. La investigación detrás de la Ley Periódica y el ordenamiento de los elementos es – en ciencia – uno de los casos paradigmáticos de múltiples descubrimientos simultáneos e independientes.

Fogoneado por el incesante descubrimiento de nuevos elementos que tuvo lugar en la primera mitad del siglo XIX, el esfuerzo científico en pos de hallar una clasificación racional de los elementos hizo que la Tabla Periódica de los Elementos cuente con al menos seis co-descubridores de nota: Béguyer de Chancourtois (Francia), Newlands

y Odling (Inglaterra), Hinrichs (Danés afincado en Norteamérica), Lothar Meyer (Alemania) y Mendeleev (Rusia), que publicaron sus hallazgos de manera virtualmente independiente, en el breve período de la década de 1860.

La distribución geográfica de los científicos involucrados en esta historia es indicio de un esfuerzo esencialmente pan-europeo de investigadores coetáneos por clasificar lógicamente los elementos. Se detallan y analizan sus aportes y se comenta la labor Seaborg y Moseley, que posteriormente aportaron a la construcción de la Tabla Periódica en su versión actual.

LA QUÍMICA Y SUS CONTEXTOS. EL CASO FRITZ HABER

Dr. Miguel Katz

Profesor Titular de Mecánica Cuántica -

Departamento de Física Instituto Superior del Profesorado "Dr. Joaquín V. González" - Email: muon_k@yahoo.com.ar

En el presente trabajo se describen los aspectos más relevantes de la vida de Fritz Jakob Haber (1868–1934) quien fue galardonado con el Premio Nobel de Química 1918 por el desarrollo de la síntesis del amoníaco a partir de las sustancias elementales. Haber fue uno de los científicos cuyas actividades suscitaron más controversias durante el último siglo y esas actividades pueden servir como ejemplo para el análisis de las complejas relaciones existentes entre la ciencia, sus aplicaciones, los contextos y la visión de mundo del científico.

DOS QUÍMICOS EN EL MUNDO DE LA FÍSICA: EL DESCUBRIMIENTO DE LA FISIÓN NUCLEAR

Dr. Juan Carlos Furnari¹ y Dr. Isaac Marcos Cohen^{2,3}

1 - Gerencia de Área Aplicaciones de la Tecnología Nuclear, Comisión Nacional de Energía Atómica.

E-mail: furnari@cae.cnea.gov.ar

2 - Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional.

E-mail: icohen@fra.utn.edu.ar

3 - Departamento Ingeniería Química, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.

El descubrimiento de la fisión nuclear del uranio es uno de los hechos científicos que mayor impacto tuvo en la historia de la humanidad. El proyecto Manhattan, la finalización de la segunda guerra mundial con el discutido empleo de dos bombas atómicas, la guerra fría y una gran serie de desarrollos tecnológicos en distintos campos, se desencadenaron a partir de aquel hallazgo protagonizado fundamentalmente por dos radioquímicos: Otto Hahn y Fritz Strassmann, junto a dos físicos: Lise Meitner y Otto Frisch, a fines de 1938.

En este artículo se presentan sendas semblanzas de los mencionados investigadores, una descripción del descubrimiento y algunos hechos subsecuentes. Una historia científica y una historia de emociones encontradas.

NIELS BOHR EN MANHATTAN. UN DISCURSO SOBRE LOS ÁTOMOS ENTRE LA GUERRA Y LA PAZ. (1943-1950)

Dr. Alejandro Drewes

Universidad Nacional de San Martín, Centro de Estudios Históricos "José Babini". E-mail: drewes@arnet.com.ar

En el presente capítulo proponemos al lector, desde la figura histórica del notable físico danés Niels Bohr (1885-1962), una mirada no convencional acerca del trabajo científico. Retrataremos la imagen de un hombre con un fuerte compromiso con los problemas de su época, en el turbulento contexto mundial en los años previos y posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Esto nos llevará al escenario del Proyecto Manhattan en Estados Unidos, que condujo finalmente al lanzamiento de las bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki.

Entre las piezas del rompecabezas del mapa cultural de Europa y de la Dinamarca de los años '20, seguiremos algunas pistas históricas para desenvolver la "caja negra" del encuentro entre Niels Bohr y Werner Heisenberg -director, a la sazón, del proyecto nuclear alemán-, en setiembre de 1941. Y descubriremos cómo estas pistas conducen a hechos clave como la invitación codificada a Bohr del físico británico James Chadwick (Premio Nobel 1935) para colaborar en el proyecto nuclear aliado. El hilo de nuestro relato aborda la visita del físico danés a Estados Unidos luego de un cinematográfico escape a través de Suecia, para asesorar al equipo de científicos que trabajaba a marchas forzadas para adelantarse al equipo de físicos alemanes en el diseño de la bomba atómica.

Presentamos en suma, en paralelo a la biografía de uno de los más notables científicos del siglo XX, un difícil

conflicto humano: el que se le plantea a Bohr en la opción entre las graves consecuencias éticas y ambientales de su trabajo de investigación profesional y su actividad pacifista. Esta faceta de su personalidad se expresó también en su activa participación en la posguerra en las conferencias "Átomos para la Paz"; en su carta Science and Civilization, publicada en The New York Times el 11 de agosto de 1945 -a 5 días del bombardeo sobre Hiroshima-, y en su famosa Carta Abierta a las Naciones Unidas de 1950.

Queda abierta al lector esta ventana a uno de los momentos cumbre de la Historia del siglo XX, para iniciar este apasionante viaje desde la tierra de Hamlet.

LA AVENTURA DE LA CORTISONA: QUÍMICA, MEDICINA Y GUERRA

Dra. María Joselevich

Asociación Civil Expedición Ciencia - E-mail: maria@expedicionciencia.org.ar

La cortisona es un compuesto producido por las glándulas suprarrenales que tiene efectos antiinflamatorio e inmunosupresor. El daño en estas glándulas, con la consiguiente deficiencia en su producción de hormonas, produce varias enfermedades, entre ellas la artritis reumatoidea y la enfermedad de Addison.

Buscando una cura para la enfermedad de Addison, en 1929 Pfiffner, Kendall y Reichstein lograron aislar un extracto semi purificado de cortezas de glándulas suprarrenales, que aliviaba los síntomas. En 1936 purificaron unos 30 compuestos del extracto de los cuales el más activo como antiinflamatorio fue llamado posteriormente cortisona. Estudiaron sus propiedades físicas y propusieron estructuras moleculares acordes con sus experimentos. Los ensayos clínicos de Hench de 1948 mostraron un éxito rotundo en el tratamiento de la artritis reumatoidea con cortisona catapultando a Kendall, Hench y Reichstein al premio Nobel de Fisiología y Medicina de 1950. En la actualidad, la cortisona y varios de sus derivados se sintetizan a partir de compuestos de origen vegetal, produciéndose alrededor de 800 toneladas por año.

Se narrará aquí la historia de la cortisona, desde los comienzos de su búsqueda hasta su producción a escala industrial. El relato recorrerá brevemente la vida de los principales protagonistas y mostrará cómo fueron decisivos ciertos acontecimientos históricos mundiales en el desarrollo de las investigaciones. Se invitará al lector a seguir el relato histórico incursionando durante el recorrido en varios temas de química mostrando cómo se aislaron los compuestos y cómo se respondieron algunas preguntas acerca de sus estructuras.

RELATOS SOBRE QUÍMICAS, SUS CIRCUNSTANCIAS Y CONTEXTOS

MUJERES EN LA CIENCIA: MARIE-ANNE PIERRETTE PAULZE LAVOISIER

Dr. Miguel Katz

Profesor Titular de Mecánica Cuántica Instituto Superior del Profesorado "Dr. Joaquín V. González"

E-mail: muon_k@yahoo.com.ar

Antoine Laurent Lavoisier es considerado por muchos químicos como el "padre de la Química moderna". Su monumental obra abarca campos tan diversos como la respiración animal y humana, la naturaleza de los ácidos, estudios sobre mejoramiento agrícola, calcinación de metales, estudios barométricos, mineralógicos y geológicos, etc. Basta hacer una recorrida virtual por la Biblioteca Nacional de Francia para tener una idea de la magnitud de su obra.

A través de una breve biografía de su esposa, Marie-Anne Pierrette Paulze, se pone en evidencia la imposibilidad de que Lavoisier haya podido completar tal cantidad de trabajos sin la ayuda de ella. Dos horas de trabajo a la mañana y otras dos a la tarde — y sólo cuando estaba en su casa — no pudo haber sido tiempo suficiente para una producción científica tan inmensa.

Las convenciones sociales de la época relegaban a la mujer a un rol tan secundario que no merecía la pena figurar en los trabajos que se presentaban a la Academia de Ciencias. Marie-Anne fue no sólo asistente de Lavoisier, sino que durante su ausencia armaba los aparatos, ponía a punto las técnicas experimentales, registraba los resultados y proponía las correcciones y mejoras para una mejor expresión de los resultados. A la vez, dadas las dificultades en el manejo de idiomas extranjeros de él, ella oficiaba de traductora y de intérprete y aprovechando sus habilidades artísticas, realizaba los dibujos de los aparatos e instrumentos que se utilizaban.

Con la Revolución Francesa tuvo momentos muy trágicos, su marido y su padre fueron guillotinado el mismo día, le confiscaron todos sus bienes y estuvo más de dos meses en prisión. Con el tiempo pudo recuperar parte de sus bienes, lo que le permitió recopilar y editar la obra de su difunto esposo.

Se volvió a casar en 1805 y, como muestra de las concepciones imperantes en el siglo XIX, un científico prestigioso le reprochó haber sido infiel a la memoria de Lavoisier volviéndose a casar once años después de enviudar.

Muchos químicos que conocen la historia de Marie-Anne sostienen que si Lavoisier es el "padre" ella debe ser considerada la "madre de la Química moderna" ya que sin su colaboración, buena parte de la obra del sabio no se hubiese realizado.

"LA QUÍMICA" EN EL SIGLO XXI...

Dra. Norma Sbarbati Nudelman

Investigadora Superior CONICET, miembro Titular Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

E-mail: nudelman@qo.fcen.uba.ar

Con un juego de palabras comienza el capítulo en el que se presenta un panorama de la química a través de las mujeres químicas, haciendo hincapié en las científicas desatacadas de la reciente pasada centuria.

Desde los datos que se presentan se aprecia una mejora significativa, aunque aún no totalmente resuelta en la relación entre la profesión científica y las cuestiones de género.

WATSON Y SU DESCUBRIMIENTO

Dra. Laura Matkovic

Departamento de Química Biológica Laboratorio de Esteroides QB 67, 4to. Piso

Pab 2 Ciudad Universitaria. Intendente Guiraldes 2160 (1428) Ciudad Universitaria. CABA Argentina

E-mail: lmat@qb.fcen.uba.ar

El pensar es una actividad inherente al ser humano con variaciones que van desde lo cotidiano hasta lo científico. Todo gira en torno a la forma en que el ser trata de resolver los problemas inherentes a su existencia y a su relación con la naturaleza.

El pensamiento científico debe ser objetivo, racional y sistemático. ¿Son así las relaciones que subyacen a las conductas de los científicos? En este capítulo se abordará esta cuestión enlazando la historia de cómo la técnica de difracción de rayos X utilizada en cristales de proteínas sirvió de base para la elucidación de la estructura

del ADN por James Watson y Francis Crick. El artículo publicado por ambos dando cuenta de su descubrimiento consta de poco más de una página con muy pocas citas y una sola figura. Este hallazgo resultó ser uno de los más importantes de los últimos tiempos.

Si se piensa en la definición geométrica de una doble hélice: dos hélices congruentes con un mismo eje, las cuales se diferencian por una translación a través de su eje; esto difiere notablemente con la importancia que adquiere la doble hélice para la biología molecular. Watson y Crick no sólo sugieren un mecanismo para la herencia sino que además establecen que es su estructura la que permite la función celular. Watson y Crick obtuvieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1962.

MARJA SKLODOWSKA Y LISE MEITNER: SUS VICISITUDES Y LOGROS EN LA QUÍMICA NUCLEAR

Dr. Oscar Héctor Pliego

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.

E-mail: pliego@fceia.unr.edu.ar

En este capítulo se presentan las vicisitudes y logros de dos mujeres que produjeron importantes descubrimientos científicos en la primera mitad del siglo XX. Se aspira a que la lectura de estas páginas ayude a los lectores no químicos a conocer la vida y obra de estas científicas; y que, a su vez, este capítulo contribuya a fortalecer las bases en la que se construye y sustenta la imagen de ciencia, en cada lector.

A los efectos de facilitar la lectura comprensiva y delimitar el campo de conocimientos generalmente aceptados por los tiempos en los que estas mujeres comenzaron sus actividades, en la introducción del capítulo se presentan los acontecimientos científicos directamente relacionados con las investigaciones de la estructura del átomo y el descubrimiento de la radiactividad natural y, además, una muy breve definición de la Química Nuclear y la Radioquímica. En el desarrollo se incluyen algunos datos biográficos de estas dos brillantes investigadoras así como también un detalle de sus vicisitudes (discriminación racial o religiosa, sexismo, etc.) y de sus logros en estos campos de la química.

Al final, se destaca la firme posición que asumieron en contra de la utilización del fenómeno radiactivo y de las reacciones nucleares con fines bélicos y a favor de las aplicaciones para la paz y el bienestar de la humanidad.

DEVENIR Y PORVENIR DE ÁREAS DE LA QUÍMICA

QUÍMICA MEDICINAL: UNO DE LOS PILARES EN LA FORMACIÓN DEL PROFESIONAL FARMACÉUTICO

Dra. Albertina Moglioni

Cátedra de Química Medicinal, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires. E-mail: amoglio@ffyb.uba.ar

Química Medicinal, Química Médica, Química Farmacéutica, Farmacoquímica, son nombres equivalentes que se aplican actualmente tanto en la formación de pregrado como en la de postgrado en el ámbito nacional e internacional, para denominar a esta disciplina científica. El reconocimiento de esta rama de la Química como tal, por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada ha alcanzado recientemente los jóvenes cuarenta años de vida, desde 1970 cuando en su Boletín N° 13, dicha organización adopta el nombre de Medicinal Chemistry, define su contenido y hace una puesta al día de sus "status" como ciencia a nivel internacional. Dicha definición enuncia: "A la Química Medicinal le incumbe el descubrimiento, desarrollo, la identificación e interpretación en el ámbito molecular del modo de acción de compuestos biológicamente activos. También le concierne el estudio, identificación y síntesis de productos metabólicos de fármacos y compuestos relacionados". No obstante este tipo de actividades se han venido desarrollando desde hace siglos por químicos, bioquímicos, farmacólogos, biólogos aún cuando la disciplina aún no había configurado una fisonomía propia. En nuestros días la química medicinal es una ciencia altamente interdisciplinaria que combina la actividad de los químicos orgánicos, los químicos biológicos, los químicos computacionales y los químico-físicos. Pero también camina cerca de la farmacología, la farmacognosia, la biología molecular y la estadística, aunque por un andarivel propio. Como disciplina, la química farmacéutica, es muy profunda y compleja con una potencialidad cuyos horizontes son difíciles de preveer.

LA QUÍMICA Y LOS MATERIALES CERÁMICOS: DESDE LAS ARCILLAS BABILÓNICAS HASTA LAS MEMORIAS DIGITALES

Dr. José M. Porto López, Dr. Pablo M. Botta, Dra. María Alejandra Fanovich

Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA). Universidad Nacional de Mar del Plata-CONICET.

Av. J.B. Justo 4302 - B7608FDQ Mar del Plata, Argentina

E-mails: jmplopez@fi.mdp.edu.ar; pbotta@fi.mdp.edu.ar; mafanovi@fi.mdp.edu.ar

En una civilización como la que actualmente nos toca vivir, apoyada casi incondicionalmente en el progreso tecnológico, la Química y la Ciencia de los Materiales tienen, evidentemente, un rol preponderante. Basta mirar a nuestro alrededor para percibir que vivimos en un mundo que parece estar hecho solamente de metal, plástico y vidrio.

En este capítulo se analizará qué es un material cerámico, qué propiedades tiene y en qué aplicaciones se los utiliza; y cuál fue el camino que recorrieron los cerámicos a lo largo de la historia del ser humano.

LOS (MICRO)ALQUIMISTAS MÁS ANTIGUOS DEL PLANETA

Dra. Patricia Cerrutti

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.

Laboratorio de Microbiología Industrial- Departamento

de Ingeniería Química- Pabellón de Industrias-

Ciudad Universitaria. Tel.: 4576-3240/1

E-mail: cerrutti@di.fcen.uba.ar

Mi intención es presentar a los microorganismos como "microalquimistas" que hace más de 4000 millones de años comenzaron con sus reacciones metabólicas a transformar nuestro planeta, y describir las reacciones químicas involucradas en procesos cotidianos en los que ellos intervienen. Asimilarlos a "micro- plantas químicas", primero estrictamente anaeróbicas, ya que la atmósfera primitiva era anaeróbica, hasta que surgieron "microalquimistas" capaces de producir O₂ que fue lentamente "contaminando" la atmósfera, hasta adquirir las características actuales. Mucho más tarde, antiguas civilizaciones como la egipcia, se sirvieron de ellos para elaborar pan y cerveza, costumbre que hemos mantenido hasta nuestros días, y que nos seguimos sirviendo de ellos en muchos procesos químicos como por ejemplo, para la obtención antibióticos, siendo frecuente que resulte más conveniente emplearlos para llevar a cabo las complejas vías de síntesis, que reproducirlas paso a paso en el la-

boratorio. Describir que los seguimos utilizando para producir una lista interminable de productos tales como las promocionadas “enzimas” que dejan nuestra ropa limpia y con colores brillantes, decontaminar el suelo y el agua, utilizando lo que nosotros consideramos desechos para sintetizar productos que catalogamos de “alto valor agregado”. Estos microalquimistas sólo requieren que les acerquemos materias primas y un ambiente (condiciones de temperatura, humedad, etc.) adecuados para ellos, y se ponen a trabajar sin mayores exigencias. Estas condiciones pueden resultar absolutamente inadecuadas para nosotros: temperaturas extremas, condiciones de acidez inaceptables e incompatibles con nuestros “usos y costumbres”, o partir de compuestos químicos tan variados como exóticos.

POLÍMEROS: DESDE GOODYEAR HASTA LOS MICROCHIP

Dra. Mirta Liliana Fascio, Dra. Melisa Elsa Lamanna y Dra. Norma B. D’Accorso

CIHIDECAR (CONICET). Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad de Buenos Aires, Argentina. E-mail: norma@qo.fcen.uba.ar

Desde los comienzos de la civilización el hombre encontró en la naturaleza una fuente inmensa proveedora de materiales, tales como piedras, metales, algodón, madera, gomas naturales, que le permitieron satisfacer sus necesidades a lo largo de su evolución, respondiendo a demandas cada vez más exigentes.

Una nueva era surgió con la aparición de nuevos materiales capaces de imitar y superar las prestaciones de los naturales, que evidentemente fueron quedando obsoletos. La sociedad cada vez más consumista y exigente ha impulsado, en gran medida, la investigación y los avances en la ciencia y la tecnología de polímeros.

Los polímeros sintéticos empezaron a producirse recién en el siglo XX. En las últimas décadas, hubo innumerables avances tecnológicos acompañados del desarrollo de nuevos materiales poliméricos con propiedades sorprendentes, y con aplicaciones en diversas áreas, desde las electrónicas hasta las medicinales.

En este capítulo se presentará cómo el azar, el espíritu científico e innovador, junto con la razón se combinaron para suplir las necesidades humanas, que tuvieron y siguen teniendo distintos grados de demanda.

QUÍMICA, BIOMIMÉTICA Y SENSORES. PARTE I

Dra. Delia L. Bernik

LAMS: Laboratorio de Arreglos Multisensoriales.

Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE).

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. E-mail: dbernik@qi.fcen.uba.ar

QUÍMICA, BIOMIMÉTICA Y SENSORES. PARTE II: DISPOSITIVOS ANALÍTICOS.

Dr. Martín Negri

LAMS: Laboratorio de Arreglos Multisensoriales.

Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE). Departamento de Química Inorgánica,

Analítica y Química Física. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Email: rmn@qi.fcen.uba.ar

Biomimética es un término muy amplio que refiere al estudio de las estructuras biológicas y sus funciones a fin de imitar y aplicar los métodos y sistemas naturales a la ingeniería y la tecnología. Los sistemas biológicos son sensibles a muchos estímulos diferentes al mismo tiempo, una propiedad que ha demostrado ser difícil de reproducir artificialmente. Comprender los sistemas biológicos representa generar oportunidades únicas para el desarrollo de nuevas capacidades a través del uso directo de la formación de biosistemas, integración de los componentes vivos y no vivos, o diseños nuevos inspirados al imitar las capacidades biológicas.

Por ejemplo podemos mencionar el diseño de aviones imitando a las aves, el procesamiento de datos matemáticos inspirados en la actividad cerebral, el desarrollo de sensores y dispositivos imitando los sentidos naturales, tales como visión artificial, narices y lenguas electrónicas, y también los sensores basados en el empleo de microorganismos y células vivientes.

La Química capaz de crear y ensamblar sistemas biomiméticos en conjunto con la biotecnología y técnicas asociadas contribuye con tecnologías que se emplean en el desarrollo de nuevas moléculas y análisis de muestras (alimentos, cosméticos, fármacos), de sistemas (aguas naturales, atmósfera urbana) o en control de procesos (síntesis, fermentaciones, emisiones industriales).

En estos dos capítulos describimos y analizamos la evolución de los dispositivos empleados como sensores y conjuntos de sensores basados en conceptos biomiméticos, destacando sus ventajas y limitaciones y las tendencias futuras.

DE LOS PLÁSTICOS QUE CONDUCEN LA ELECTRICIDAD Y LA ELECTRÓNICA MOLECULAR. EL VALOR DE LA CIENCIA INESPERADA.

Dra. Andrea Bruttomesso.

Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

E-mail: aachiocc@qo.fcen.uba.ar

La idea de que un material combinara las propiedades tecnológicamente más relevantes de los polímeros y de los metales -una gran resistencia mecánica, flexibilidad, ligereza, una alta conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión, bajo costo de fabricación y fácil preparación-, era inimaginable a principios del siglo XX.

Hoy es una realidad, gracias al revolucionario descubrimiento realizado por el químico japonés Hideki Shirakawa (Instituto Tecnológico de Tokio), el neozelandés Alan G. MacDiarmid (Universidad de Pensilvania, Filadelfia) y el físico estadounidense Alan J. Heeger (Universidad de California, Santa Bárbara).

En el año 2000 les fue concedido el Premio Nobel de Química, por este hallazgo, y con él se inicia la era de los metales sintéticos, que abre todo un nuevo campo de investigación interdisciplinario, donde participan químicos, físicos e ingenieros.

Pero... ¿Cómo se conduce la electricidad en un polímero como el poliacetileno? ¿Cómo puede un material variar su conductividad de forma continua y controlada hasta 15 órdenes de magnitud? ¿Cuáles son las aplicaciones tecnológicas más importantes y qué otras propiedades tienen estos materiales?

¿Qué más ofrece la imaginación hacia el futuro? ¿Pueden las moléculas orgánicas individuales ser elementos electrónicos activos? El nacimiento de la electrónica molecular...

Muchas veces los descubrimientos más sorprendentes e inesperados pasan accidentalmente por delante de las narices de los científicos; pero esas narices tienen que estar muy bien entrenadas para captar al vuelo la esencia de lo novedoso para, después, investigarlo a fondo, y transformarlo en una multitud de aplicaciones tecnológicas que acerquen la realidad a la fantasía.

EPIDEMIOLOGÍA MOLECULAR: LA CONTRIBUCIÓN DE LA QUÍMICA A LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES DE ORIGEN AMBIENTAL

Dr. Gerardo D. Castro

Centro de Investigaciones Toxicológicas (CEITOX, CITEDEF-CONICET) e Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de General San Martín. Juan B. de La Salle 4397, B1603ALO Villa Martelli.

E-mail: gcastro@unsam.edu.ar

La epidemiología es una disciplina de la salud pública que evalúa los determinantes y distribución de la enfermedad u otros eventos relacionados con la salud en poblaciones específicas. La epidemiología molecular utiliza conocimientos sobre el mecanismo de la enfermedad y herramienta -tales como los marcadores biológicos- desarrolladas a partir de las ciencias experimentales básicas e incorporadas a los estudios epidemiológicos analíticos, para identificar y comprender mejor la relación exposición-enfermedad. La epidemiología molecular desarrolla y emplea biomarcadores para medir tanto la exposición como para medir los pasos que median entre la exposición y la enfermedad, y también evalúa los factores que modifican la trayectoria hasta la enfermedad. La epidemiología molecular contribuye con la salud pública mejorando la evaluación de la exposición (prevención primaria), identificando criterios de valoración tempranos de enfermedad, los cuales pueden ser utilizados con propósitos de rastreo o ensayos clínicos. También identificar individuos que poseen un riesgo aumentado para la enfermedad, y puede ayudar a mejorar la determinación del riesgo proveyendo mejores relaciones exposición-respuesta e información sobre susceptibilidad, ya que brinda un marco ideal para la investigación del efecto combinado de los tóxicos ambientales y los factores genéticos. Además, incorporando biomarcadores que puedan identificar exposiciones, alteraciones y susceptibilidad a nivel celular y molecular, la epidemiología molecular nos permite una comprensión mecanística del proceso de la enfermedad.

QUÍMICA, SOCIEDAD Y MEDIO AMBIENTE

LAS MUJERES Y LA QUÍMICA: UNA COMPLICIDAD DE GÉNERO

Dra. Silvia Porro

Profesora Titular, Universidad Nacional de Quilmes.

E-mail: sporro@unq.edu.ar

Desde tiempos muy antiguos, las mujeres han estado involucradas en algunos mitos asociados a los orígenes de la alquimia y, posteriormente, han contribuido al desarrollo de la Química, aún antes de que ésta se constituyera en una disciplina. Pero, a su vez, las mujeres se han beneficiado de los productos del avance de la Química, tanto en sus tareas tradicionales de amas de casa y responsables de sus hogares, como en su constante empeño por enaltecer su belleza.

Esta relación entre las mujeres y la Química produjo modificaciones importantes en la civilización, y creo poder afirmar que ha sido una relación fructífera, ya que ayudó a mejorar la calidad de vida, no sólo de las mujeres, sino de sus familias y de la sociedad en general.

La idea de este capítulo es, por un lado, narrar la historia de mujeres, como María la Judía, a quien se le atribuye la invención nada menos que del Baño María; otras anónimas, como las "brujas" recolectoras de plantas y que dieron origen a la farmacología; y algunas involucradas en actividades propiamente científicas.

Por otro lado, quiero relatar los contextos históricos, políticos y económicos, que dieron origen a descubrimientos que transformaron la vida de las mujeres, sus casas, el cuidado de sus hijos, su estética y comodidad.

DE LA SOPA DE LA ABUELA A LA COMIDA RÁPIDA... ¡MUCHO MÁS QUE MUCHO TIEMPO!

Esp. Lic. Florencia Mabel Rembado y Bqca. Silvia Susana Ramírez

Universidad Nacional de Quilmes.

E-mail: frembado@unq.edu.ar

Desde aquella época en que la sopa, la leche en botella verde y el pan que traía el carrito de la panificación formaban parte de la rutina diaria para alimentar a la familia, hasta nuestros días en que la mayoría va al *super* y elige productos alimentarios en las góndolas y en los que el *delivery* forma parte de la familia, ha pasado mucho más que mucho tiempo.

Nuestra propuesta al escribir estas líneas ha sido reflexionar acerca de cuánto ha participado la Química y los químicos en toda esa evolución que se desarrolló en forma paralela a profundos cambios sociales.

Partimos del concepto de alimento como se lo concebía en forma tradicional, para ir llevando luego la atención acerca de la idea de producto alimentario y en ese camino, destacar la labor de los tecnólogos e ingenieros en alimentos. Mucho estudio, y mucha creatividad e imaginación puesta al servicio de la sociedad, sumadas a la química de los alimentos han logrado construir una disciplina con perfil propio: la ciencia y tecnología de alimentos; estructurada sobre la base de la química orgánica y físico química, y acudiendo también a conceptos básicos de la matemática, física y biología.

El desarrollo y aplicación de las propiedades funcionales de los ingredientes alimentarios ha sido y es un desafío del químico de los alimentos de la actualidad, para dar respuesta a productos cada vez más complejos que se adecuen a las necesidades de los consumidores.

LA QUÍMICA, EL COLOR, LOS ALIMENTOS Y EL ARTE

Dra. María Pilar Buera

Departamentos de Industrias y de Química Orgánica. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-UBA. CONICET – Argentina.

E-mail: pilar@di.fcen.uba.ar

En este capítulo trataremos aspectos generales de los colorantes alimentarios, comenzando por su clasificación desde diferentes puntos de vista. Nos detendremos en una clasificación química y las características de solubilidad de los pigmentos naturales. Discutiremos cuáles fueron los riesgos y problemas para la salud que desencadenaron los colorantes artificiales, que provocaron esencialmente el rechazo de los consumidores por ellos. En relación a esto, analizaremos el papel de los químicos en su función relevante e indelegable en cada uno de los aspectos que llevan a la obtención, aprobación y control de un colorante, y luego de su seguimiento a lo largo del tiempo.

Las cuestiones de la relación de los colorantes con la genuinidad de los alimentos las comprendieron los químicos en nuestro país ya desde fines del siglo XIX, con repercusiones a nivel internacional. Justamente todos estos elementos son los que llevaron a las reglamentaciones vigentes para que los colorantes sintéticos permitidos y empleados en la actualidad, no representen un riesgo para la salud.

Como una de las propiedades más importantes para el consumidor a la hora de decidir sobre la aceptación o rechazo de un alimento es el color, veremos las formas de medición de color útiles en la industria; y cómo otras cuestiones de la apariencia -como el brillo o la transparencia- afectan la percepción de color. Por último haremos un bosquejo de las tendencias futuras en el área color en alimentos, resaltando cómo los avances tecnológicos posibilitarán el empleo de colorantes naturales, colaborando en metodologías de obtención, análisis, purificación y estabilización, permitiendo disponer de ellos en forma estable, a lo largo del año, sorteando los principales inconvenientes para su utilización.

DEGRADACIÓN Y MOVILIDAD DE LOS AGROQUÍMICOS EN SUELOS Y AGUAS NATURALES. CASOS DE ESTUDIO EN ARGENTINA

Lic. Héctor R. Tévez¹ y Dra. María dos Santos Afonso²

1 - Facultad de Ciencias Forestales - Universidad Nacional de Santiago del Estero

2 - INQUIMAE Y DQIAQF-FCEN-UBA Ciudad Universitaria Pabellón II 3er Piso C1428EHA

Ciudad Autónoma de Buenos Aires Argentina. E-mail: dosantos@qi.fcen.uba.ar

El interés mundial por encontrar plaguicidas eficientes y selectivos que mejoren la producción aumentando los rindes económicos de cada cosecha ha llevado a la síntesis de una gran gama de compuestos. La especificidad de los mismos lleva a la aplicación de una gran diversidad de plaguicidas. Solo porciones del total de los plaguicidas aplicados ejercen su efecto bioactivo, el resto se distribuye en el medio ambiente. Estas pérdidas de plaguicidas conducen a la aplicación de grandes cantidades, que terminan produciendo problemas medioambientales. Cantidades significativas del plaguicida puede alcanzar el suelo adsorbiéndose sobre sus constituyentes tales como: las arcillas, la materia orgánica, los óxidos metálicos y las sustancias húmicas. El transporte de sustancias en los suelos ocurre en diferentes formas pero, generalmente, es realizado a través del agua. La velocidad de permeación, o de lechado vertical, a través de los suelos, y el drenaje de los plaguicidas conduce a la contaminación de las aguas subterráneas y/o superficiales de los cuerpos de agua. Los plaguicidas, también pueden ser transportados y sufrir degradación química y/o biológica o reacciones de complejación con los metales pesados disueltos en el medio acuoso natural. Estas reacciones químicas pueden controlar la biodisponibilidad de los metales y la biodegradabilidad de los contaminantes orgánicos en aguas, suelos y sedimentos.

Este capítulo explora los procesos descriptos y la interacción química con fracciones de suelo y el medio acuoso de los plaguicidas más comunes utilizados en Argentina.

LA QUÍMICA SUBYACENTE AL CULTIVO DE SOJA.

UN BALANCE NECESARIO ENTRE EL BENEFICIO ECONÓMICO Y LA PRESERVACIÓN DEL AMBIENTE.

Dra. María Inés Errea¹, Dr. José Sebastián Barradas² y Dra. Norma B. D'Accorso²

1 - ITBA. Madero 399, Departamento de Ingeniería Química. Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

2 - CIHIDECAR (CONICET). Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

E-mail: norma@qo.fcen.uba.ar

Argentina, históricamente, se caracterizó por ser uno de los mayores productores mundiales de trigo y maíz y los ingresos generados debido a la exportación de estos productos han contribuido significativamente al desarrollo económico del país. Sin embargo, en los últimos años se produjo un notable crecimiento de las áreas cultivadas con soja a expensas de los cereales tradicionales. Esta alteración de las condiciones históricas de la actividad agrícola del país, trajo como consecuencia la necesidad de implementar nuevas políticas, tanto económicas, como referidas al tratamiento adecuado de este tipo de cultivos. En este último caso el rol de los químicos es fundamental. Estos profesionales deben acompañar el proceso interviniendo en:

a) la búsqueda de fármacos capaces de inhibir/quebrar los procesos patogénicos generados por los principales complejos fúngicos asociados al cultivo de soja

b) la selección de herbicidas aptos para este tipo de cultivos con el menor impacto medio-ambiental.

En este capítulo se analizará la situación actual, tanto desde el punto de vista químico como del impacto socio-económico generado por los cambios producidos en el mapa agrícola del país.

TRESCIENTOS CINCUENTA AÑOS DE QUÍMICA.

LOGROS, ERRORES, TRIUNFOS, FRACASOS Y DESAFÍOS PARA EL SIGLO XXI

Dr. Miguel A. Blesa

Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA), Universidad Nacional de San Martín.

E-mail: miblesa@cnea.gov.ar

Se elige fijar, bastante arbitrariamente, el comienzo de la Química como ciencia en el año 1661, en que Robert Boyle publicara *The Sceptical Chymist*. Una breve reseña de acontecimientos previos explica esta elección.

Los 350 años de Química son entonces un período bastante breve, durante el cual la Química ha realizado aportes fundamentales para la humanidad, y también ha sido la herramienta para desarrollar sustancias que, a la larga, demostraron ser perjudiciales para el hombre. La historia del cloro sirve para poner en evidencia estas luces y sombras: el cloro, tal vez la primera sustancia xenobiótica fabricada por el hombre, fue la herramienta esencial para combatir las enfermedades de transmisión hídrica, a través de la desinfección. Pero el cloro también fue usado en la Primera Guerra Mundial como arma química. El cloro también se usa para fabricar una amplia variedad de compuestos orgánicos (los compuestos organoclorados, útiles para muchos fines, pero también responsables de fuertes temores por su impacto ecotoxicológico), y plásticos como el PVC. También se usa en la cuestionada tecnología de blanqueo de la pulpa de papel. Las virtudes y pecados del DDT son un buen ejemplo de la ambivalencia de los logros de la Química.

Los comienzos del siglo XXI marcan un punto de inflexión en la aceleración típica del siglo pasado en la producción de bienes y en el consumo de recursos naturales. El gran interrogante inmediato es cómo podremos mantener los niveles de bienestar alcanzados (largamente gracias a la actividad productiva), pero tomando recaudos para preservar nuestro ambiente. En ese contexto, la Química, en función de su adaptabilidad y sus habilidades se constituye en una herramienta poderosa e imprescindible para participar en ese turbulento periplo.

LOS PECADOS DE LA QUÍMICA

Dr. Rolando A. Spanevello y Dra. Alejandra G. Suárez

Instituto de Química Rosario, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario.

Suipacha 531, S2002LRK Rosario, ARGENTINA

E-mail: spanevello@iquir-conicet.gov.ar

E-mail: suarez@iquir-conicet.gov.ar

La ciencia es una aventura intelectual que lleva implícitas las ideas de creatividad y progreso, es una parte esencial de la cultura moderna. Es por ello que, los logros de la humanidad en materia científica y sus aplicaciones tecnológicas han transformado, no solo la condición material de nuestras existencias, sino también nuestra visión del mundo y se han convertido en factores claves del desarrollo económico de los países.

La investigación científica tiene por objetivo la generación de conocimiento verificable, y abierto constantemente a la confirmación o refutación. Estos nuevos conocimientos siempre conducen a áreas no previstas del desarrollo humano.

QUÍMICA Y CIVILIZACIÓN

La percepción que se tiene en la actualidad del uso dual del conocimiento adquirido a través de la investigación científica, ha estado presente a través de toda la historia de la ciencia desde tiempos anteriores a los de Arquímedes.

Con el advenimiento de la revolución industrial, el uso dual del conocimiento científico adquirió una relevancia preponderante. Solo para citar uno de los mayores episodios de la Primera Guerra Mundial, la humanidad presenció por primera vez el uso de gases venenosos, realizado a gran escala.

Los químicos están legítimamente afligidos por la quimiofobia del público en general. Una de estas manifestaciones es el estereotipo del químico capaz de vender su alma al diablo en su afanosa búsqueda de conocimiento o de la piedra filosofal. El pecado implícito es más que fáustico, ya que la traición no es solo personal, sino que a toda la humanidad y Fritz Haber es el paradigma al cual siempre se alude.

En este capítulo se da un panorama de hechos químicos implementados en circunstancias bélicas y, al final, se presentan importantes reflexiones.

QUÍMICA PARA COMPRENDER AL MUNDO. DOS EJEMPLOS AMBIENTALES

Dr. Luis Federico Sala

Profesor Titular, Área Química General. Departamento de Químico Física.

Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, UNR. Investigador Principal Conicet

Instituto IQUIR. E-mail: sala@iquir-conicet.gov.ar

La intención del presente capítulo es la de divulgar la idea central de la importancia que tiene el conocimiento de la ciencia Química para comprender el funcionamiento de los materiales y organismos del Planeta Tierra, y sus interacciones.

Todo el tiempo están ocurriendo procesos químicos; en nuestra vida diaria, desde el mismo hecho de estar vivos, que se deriva del funcionamiento de todas nuestras células en una armónica secuencia de reacciones metabólicas. Las reacciones químicas se dan en nuestro metabolismo, en la cocción de nuestros alimentos, en la fabricación de nuestras ropas para protegernos de las inclemencias del tiempo, en los gases que respiramos, etc.

Por otra parte, es imperioso comprender los procesos naturales del planeta, y aquéllos derivados de la intervención del ser humano, para desarrollar estrategias de supervivencia.

En el capítulo se presentan como ejemplos paradigmáticos de la tarea de los químicos el caso de lago Nyos de Camerún, y el caso de la remediación de aguas o personas expuestas a derivados de cationes del elemento cromo.

BIOSORCIÓN: UN MÉTODO ALTERNATIVO PARA EL TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS

Dra. María Mar Areco y Dra. María dos Santos Afonso

INQUIMAE (Instituto de Química Física de los Materiales, Ambiente y Energía) Y DQIAQF

(Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física)-FCEN-UBA

Ciudad Universitaria Pabellón II 3er Piso C1428EHA - Ciudad Autónoma de Buenos Aires Argentina

El agua es uno de los principales elementos para la vida, tanto para los ecosistemas acuáticos como para los terrestres. Las características químicas del agua la convierten en un buen solvente para distintas sales y gases esenciales para la supervivencia de las especies, así como también para los metales pesados y herbicidas, que generalmente son tóxicos. Las aguas naturales son sistemas abiertos y dinámicos que reciben y entregan variadas cantidades de masa y energía para mantener un estado de equilibrio.

En este capítulo se analiza qué contaminantes frecuentes tienen las aguas naturales y se analizan los casos de los metales pesados y agroquímicos como el glifosato. Se presenta la técnica de biosorción como una nueva posibilidad de metodología decontaminante sencilla y de bajo costo.

ENZIMAS QUE NOS CONDUCEN HACIA LA QUÍMICA VERDE

Dra. Alicia Baldessari

Laboratorio de Biocatálisis, Departamento de Química Orgánica y UMYMFOR, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2, Piso 3, Ciudad Universitaria, C1428EGA, Buenos Aires, Argentina
E-mail: alib@qo.fcen.uba.ar

La mayoría de los compuestos que utilizamos diariamente son productos preparados a través de procesos industriales. Con el tiempo estos procesos químicos fueron contaminando el medio ambiente. Ahora tenemos que asumir el desafío de que estos productos que hacen nuestra vida más cómoda puedan ser preparados a través de procedimientos no contaminantes, siguiendo los principios de la Química Verde.

Casi todas las reacciones químicas necesitan un catalizador que aumente su velocidad. En general los catalizadores químicos son tóxicos, y una vez concluida la reacción hay que someterlos a diversos tratamientos para evitar la contaminación que producen al ser desechados. Además, generalmente estas reacciones requieren altas temperaturas y esto supone un gasto de energía que no favorece al medio ambiente. Por estas razones es vital encontrar catalizadores que funcionen en condiciones suaves de reacción y puedan ser eliminados fácilmente una vez terminada la misma.

Vamos a ver en este capítulo algunas nociones de Química Verde y la aplicación de enzimas como catalizadores en síntesis de productos a través de procesos poco agresivos para el medio ambiente. Las enzimas presentan propiedades muy convenientes: son biodegradables, trabajan en condiciones suaves de presión y temperatura, son muy eficientes, selectivas y reciclables.

Nuestro grupo de investigación ha aplicado la metodología enzimática en varias reacciones sobre compuestos orgánicos, usando lipasas como biocatalizadores. Éstas resultaron muy eficientes en la transformación de diversos compuestos algunos de ellos con aplicación práctica para la industria farmacoquímica y cosmética. Se describe el uso de lipasas en la síntesis de alfuzosin, utilizado en afecciones de la próstata, y de un bactericida de amplio espectro: el cloruro de lapirio.

LA QUÍMICA Y EL DEPORTE

Dr. Osvaldo Teme Centurión

Laboratorio de Control de Doping, Secretaría de Deporte. Ministerio de Desarrollo Social
E-mail: osvaldotc@yahoo.com.ar

El relato se centra en tratar de explicar la aparentemente lejana relación que existe entre estas dos disciplinas. El deporte tan popular y cercano a las mayorías populares, sobre todo a través de lo que solemos llamar éxito deportivo; aunque muchas veces también a través del fanatismo que no siempre tiene explicación simple. Porque como dijo el poeta: "El alma tiene razones que la razón no comprende". En todo caso podríamos decir que el deporte, para el entendimiento popular, es cercano al sentimiento.

Pero para el profesional deportista, el sentimiento no alcanza. Si así fuera, cualquier fanático podría calzarse la camiseta de sus amores, y reemplazar al mejor de sus jugadores. El profesional tiene responsabilidades (además de habilidades), y allí es donde el sentimiento puro comienza a endurecerse, y la frase del poeta ya no es aquella, sino que la reemplaza la de "cabeza fría y corazón caliente". Pero esto no alcanza tampoco, porque aparecen las reglas.

En el otro extremo están las llamadas ciencias duras o exactas. Sin embargo, ni la química ni los que la practicamos somos tan duros. Ambas disciplinas se acercan; ni el deporte es sólo sentimiento, ni la química es tan dura.

Ambas disciplinas terminan de unirse en un aspecto deportivo estrictamente profesional: los controles de doping. El relato se desarrolla describiendo la organización de los controles de doping a través de su armonización internacional y nacional, haciendo hincapié en el trabajo que al respecto realizan los laboratorios de control: normalización, listados prohibidos, cadena de custodia, responsabilidad, confidencialidad y desarrollo de técnicas analíticas. Esas son algunas de las palabras clave que guían el texto.

¿EVITAR EL DOLOR? ¿BÚSQUEDA DE LA FELICIDAD?... DROGAS DE USO Y ABUSO

Dr. Marcelo Wolansky y Dra. María Victoria Rossetti

Área Toxicología, Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

E-mail: marcelow@bg.fcen.uba.ar

El hombre a través de toda su historia ha sentido curiosidad sobre los poderes de la gran variedad de sustancias químicas disponibles en la naturaleza. Desde las antiguas culturas de Oriente y Occidente el hombre trató de aislar, concentrar y aplicar principios químicos naturales para satisfacer demandas muy diversas. Pócimas preparadas a partir de partes de animales, de vegetales, de algas y de hongos se aplicaban en forma empírica: la prueba-y-error definía cuáles tratamientos quedaban y cuáles no, según variadas expectativas, como curar enfermedades, excitarnos o relajarnos, para inducir sueño o prolongar la vigilia, para brindar habilidades especiales a los poderosos, para envenenar al enemigo o al heredero del rey, para alcanzar mayor concentración, alerta y creatividad, o para desconectar nuestros sentidos cuando el sufrimiento físico o psíquico resulta insoportable.

En este capítulo se presenta una reseña de las principales drogas de uso y abuso, sus historias y particularidades, así como los desafíos que significa la investigación en este campo.

ASPECTOS QUÍMICOS DE LOS ALIMENTOS UTILIZADOS POR EL EJÉRCITO DE LOS ANDES PARA EL CRUCE DE LA CORDILLERA, EN 1817.

Prof. Alberto Santiago

Profesor de Química. E-mail: alberto.santiago@gmail.com

El cruce de la Cordillera de los Andes por las tropas del General Don José Francisco de San Martín fue una de las hazañas militares más admiradas en el mundo entero. Debió sortear uno de los obstáculos naturales más complejos que se le puede presentar a un ejército de más de 5000 hombres: senderos de cornisa, llegando en algunos casos a una altura de 5000 metros sobre el nivel del mar, y temperaturas de muchos grados bajo cero.

El presente capítulo relata la experiencia personal del autor del cruce de los Andes por diferentes pasos cordilleranos que fueron rutas del Ejército de los Andes, haciendo referencia a las técnicas utilizadas por San Martín para alimentar a sus hombres, aprovechando las características nutricionales de ciertos ingredientes para sus "sopas" -se presenta su base química-, y a la tecnología para medir alturas con el punto de ebullición del agua.

Numerosas fotos tomadas en las travesías realizadas en el siglo XXI, dan cuenta de aquellos lugares vistos por los ojos de San Martín y su ejército en los inicios del siglo XIX.

QUÍMICA Y ARTE. TECNOLOGÍA E HISTORIA

Dra. Marta S. Maier

UMYMFOR – Departamento de Química Orgánica – Facultad de Ciencias Exactas y naturales (UBA).

Pabellón 2, Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires, Argentina.

E-mail: maier@qo.fcen.uba.ar

Desde los tiempos prehistóricos, el ser humano se ha expresado a través del arte utilizando los materiales de los que disponía. Las obras de arte han trascendido a los hombres que las han creado y forman parte de nuestro patrimonio cultural, el cual debe ser conservado para las futuras generaciones. Muchos de los materiales que componen estos objetos artísticos han sufrido transformaciones por interacción con la luz, la humedad o los contaminantes presentes en el aire. ¿Cómo podemos comprender estos fenómenos? ¿Cómo prevenirlos o detenerlos? ¿Cómo entender las técnicas utilizadas en la manufactura de un objeto o la elección de un pigmento azul frente a otro del mismo color, para pintar el manto de una virgen?

En este capítulo se comentará sobre el trabajo de químicos que han encontrado respuestas identificando las sustancias utilizadas en la manufactura de estos objetos, mediante primeros análisis basados en reacciones químicas sencillas realizadas sobre el objeto mismo, hasta el desarrollo actual de técnicas instrumentales no invasivas. Los estudios sobre arte requieren del trabajo conjunto de químicos, historiadores de arte, restauradores y arqueólogos.

AUTORES

AUTORES QUÍMICA Y CIVILIZACIÓN



DRA. MARÍA MAR ARECO

Doctora en Biología. Licenciada en Ciencias Biológicas.
Posición post-doctoral: Laboratorio de Análisis Ambiental. Escuela de Ciencia y Tecnología. Universidad de San Martín, desde Abril de 2011.
Responsable técnica alterna en el convenio específico N°1/2009 entre la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA y el Instituto Nacional del Agua (INA): "Desarrollo de un sistema depurador de efluentes Industriales por biosorción utilizando diferentes tipos de biomasa".
EXPERIENCIA EN INVESTIGACIÓN: Más de 10 años en experiencia trabajando en distintos proyectos de investigación relacionados con la procesos de descontaminación y de generación de energías alternativas.
CURSOS: Más de 15 cursos nacionales e internacionales de especialización orientados al tema de contaminación ambiental.
DOCENCIA: Docente auxiliar en el Programa de Talleres de Ciencia años 2007, 2008 y 2009
BECAS: Beca post doctoral CONICET. Becas de doctorado otorgadas por la Universidad de Buenos Aires y por el CONICET. Becas para realizar cursos internacionales.
PUBLICACIONES: 2 Publicaciones en revistas internacionales y 2 en Libros de Congresos Internacionales.
CONGRESOS: Mas de 20 presentaciones a Congresos Nacionales e Internacionales con participación en mesas redondas
GESTION UNIVERSITARIA: Representante del departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física en la Comisión Permanente Pro mejoramiento de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 2007, 2008, 2009 y 2010. FCEyN, UBA. Representante del departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física en la Comisión de Comedor de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 2009 y 2010. FCEyN, UBA.
IDIOMAS: Español (nativo) e Ingles (oral y escrito) fluidos. Francés, Alemán y Portugués básicos.



DRA. ALICIA BALDESSARI

Nació en Buenos Aires, Argentina. Obtuvo el título de Licenciada en Ciencias Químicas y el de Doctora en Ciencias Químicas en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Actuó como profesora en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica Nacional y actualmente es profesora en el Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (UBA) donde dirige el Laboratorio de Biocatálisis. Es miembro de la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Su labor como investigadora ha permitido la publicación de numerosos artículos en revistas científicas de relevancia internacional, capítulos de libros y un libro sobre Química Orgánica. Los resultados con aplicación industrial han dado lugar a la presentación de tres patentes de invención. Ha participado como conferencista invitada en numerosos congresos de su especialidad y dictado cursos de especialización en el país, América y Europa. Con respecto a su labor en la formación de recursos humanos ha dirigido becarios, pasantes y alumnos de grado y de posgrado en trabajos académicos de tesis de doctorales y trabajos de transferencia de tecnología para diferentes empresas farmacéuticas. Es evaluadora de subsidios de investigación, nacionales e internacionales, en CONICET, UBA y Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y de publicaciones en revistas internacionales en el campo de la Química Orgánica, siendo miembro del Comité Editorial de *Arkivoc* de Estados Unidos y *Biocatalysis and Biotransformation* de Inglaterra. Forma parte del Comité Académico Mixto de la Carrera de Especialización en Biotecnología Industrial gestionada en forma conjunta por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Fue Secretaria de la Sociedad Argentina de Investigación en Química Orgánica y Presidenta del Comité Organizador del III Encuentro Regional de Biocatálisis y Biotransformaciones. Actualmente es Coordinadora argentina de la Red "Extracción y Transformación Enzimática de Ingredientes Funcionales y Nutraceuticos de Plantas y Agro-residuos Regionales" (ENZNUT) del Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el Desarrollo (CYTED) y vicepresidenta de la Sociedad Argentina de Biocatálisis y Biotransformaciones (SAByB). Su principal interés en investigación es la Biocatálisis, en particular el uso de enzimas en reacciones de síntesis orgánica con aplicación en procesos industriales.



DR. ENRIQUE J. BARAN

Licenciado (1964) y Dr. en Química (1967) de la UNLP. Formación post-doctoral en Alemania, Universidad de Göttingen (1968-70) y Universidad de Dortmund (1974), bajo la dirección del Prof. Achim Müller siendo, en ambas oportunidades, becario de la Fundación Alexander von Humboldt. Profesor Adjunto (1970-80), Profesor Asociado (1980) y Profesor Titular (1981-2005) de Química Inorgánica en la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. Profesor Emérito de la UNLP (2009). Profesor Visitante en Universidades de Alemania, Colombia, España y Uruguay. Miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET (1970-cont.) siendo desde 1993 Investigador Superior. Académico Titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1996) y de la Academia de Ciencias para el Mundo en Desarrollo-TWAS (1997). Autor de más de 650 trabajos originales de investigación y del primer libro de texto sobre Química Bioinorgánica editado en lengua española (Madrid, 1995). Principales distinciones obtenidas: Premio Rafael A. Labriola-AQA (1982), Premio KONEX de Platino en Fisicoquímica y Química Inorgánica (1993); TWAS-Award in Chemistry (1996); Premio Horacio Damianovich-AQA (2004); Edición de un número especial del *Journal of the Argentine Chemical Society-AQA* en su homenaje (2009).

Lugar de trabajo: Centro de Química Inorgánica (CEQUINOR, CONICET-UNLP), Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, C. Correo 962, 1900-La Plata; TEL & FAX: (0221) 4259485/4240172, E-mail: baran@quimica.unlp.edu.ar



LIC. JOSÉ SEBASTIÁN BARRADAS

José Sebastián Barradas: Nació el 12 de Diciembre de 1980 en Avellaneda (Pcia. de Buenos Aires). Realizó sus estudios secundarios en el E.T. N°1 Ing. Otto Krause recibiendo en 1999 con el título de Técnico Químico. Posteriormente comenzó sus estudios universitarios en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (FCEyN-UBA) graduándose de Licenciado en Ciencias Químicas en el año 2006, comenzando luego la carrera de doctorado en la misma facultad con becas de UBA y CONICET, bajo dirección de la Dra. Norma B. D'Accorso y la Dra. María Ines Errea en el desarrollo y síntesis de heterociclos nitrogenados unidos a hidratos de carbono como posibles antivirales y/o antifúngicos. Actualmente desempeña en la misma facultad tareas de docencia como ayudante de primera del departamento de Química Orgánica.



DRA. DELIA BERNIK

Licenciada y Dra. en Química, ambos títulos obtenidos en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Actualmente es investigadora independiente de Conicet en el Instituto de Química Física de los Materiales, medio Ambiente y Energía (INQUIMAE) y en el área de docencia es Profesora Asociada en el Departamento de Biotecnología y Tecnología Alimentaria de la Universidad Argentina de la Empresa (UADE).

Durante su tesis doctoral y en el período postdoctoral (más de diez años en conjunto) se dedicó al estudio de la estructura y biofísica de membranas biológicas y modelo, empleando sondas moleculares ópticas y fluorescentes. Entre 1991 y 1994 se desempeñó en la Universidad Católica de Lovaina, Bélgica. Como investigadora reorientó su área de investigación al diseño y obtención de materiales biocompatibles para su aplicación en procesos de encapsulamiento y adsorción de moléculas y células de interés en farmacéutica, química analítica, biotecnología y tecnología de alimentos, área en la cual dirige al presente varias tesis de licenciatura y tesis doctorales. Ha dirigido proyectos de investigación nacionales y en el ámbito internacional proyectos bilaterales y multilaterales con varias universidades europeas.

Es investigadora responsable del Laboratorio de Arreglos Multisensoriales (LAMS), del Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física de la Universidad de Buenos Aires.



PROF. MIGUEL A. BLESA

Investigador Superior de la Comisión Nacional de Energía Atómica (Gerencia Química), Profesor Titular del Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (Universidad Nacional de San Martín), ex Investigador Superior CONICET. Miembro del Colegiado Directivo de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias y ex Presidente de la Asociación Argentina de Investigación Físicoquímica. Premio Houssay 1983 (CONICET), Diploma al Mérito Konex 2003, Premio Química de Academia de Ciencias del Mundo en Desarrollo (TWAS) 2004, y Premio Mercosur de Ciencia y Tecnología, Categoría Integración (2006). Dentro de varias líneas de investigación, ha estudiado especialmente las interfaces óxido metálico / agua, y se dedica a la Química Ambiental; ha publicado alrededor de 180 artículos en revistas internacionales, y varios libros. Ha formado numerosos discípulos: dirigió 23 Tesis Doctorales en diversas Universidades y es en la actualidad Director del Doctorado en Ciencia y Tecnología (mención Química), de UNSAM.



DR. PABLO M. BOTTA

Títulos obtenidos: Lic. en Química (FCEyN, UNMDP, 1999), Dr. en Ciencia de Materiales (Fac. de Ingeniería, UNMDP, 2004). Tema: Efectos mecanoquímicos sobre la reactividad de sistemas compuestos por Al ó Zn y óxidos de Ti ó Fe. Posdoctorado en la Universidad de Santiago de Compostela, Depto. Física Aplicada (2004-2007).

Tema: Óxidos mixtos con alta constante dieléctrica inducida por mecanismos electrónicos
Cargos actuales: Jefe de trabajos prácticos (Química Inorgánica y Química de los Materiales), Fac. de Ingeniería-UNMDP

Investigador Adjunto CONICET, División Cerámicos-INTEMA

Temas de interés académico: síntesis de óxidos de metales de transición por activación mecanoquímica de sólidos, cerámicos magnéticos y materiales multiferroicos.

Otros intereses: libros, música, tenis.



DRA. ANDREA BRUTTOMESSO

Doctora de la Universidad de Buenos Aires. Orientación Ciencias Químicas, 1999, FCEN-UBA.

Docente de dedicación exclusiva del Departamento de Química Orgánica, FCEN-UBA.

Profesor de la Maestría en Ciencias Ambientales de Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Materia Contaminación.

Profesora Adjunta Primera. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad de Belgrano (2004-2006).

Autora de 13 trabajos de investigación publicados en revistas internacionales con arbitraje y más de 30 trabajos presentados en Congresos nacionales o internacionales, del área de Investigación Química y del área de Educación en Ciencias Químicas. Conferencista en el Primer Encuentro Regional en Biocatálisis y Biotransformaciones (Montevideo, Uruguay, 2004)

Miembro de la Comisión de Carrera de la Licenciatura en Ciencias Químicas (desde el 2010 a la fecha).

Coordinadora del área Química Orgánica de las "Jornada Científicos por un Día" (2009 y 2010). Participación en la Semana de la Química (2003 a 2010) ambas en la FCEN, UBA. Participación como Investigador Formado y como Codirector en numerosos proyectos de Investigación.

Intereses en la Investigación:

Síntesis de nuevos compuestos esteroideos y no-esteroideos con potencial actividad moduladora de la biosíntesis de andrógenos.

Síntesis de compuestos orgánicos con propiedades de transferencia electrónica e intervalencia.



DRA. PILAR BUERA

Profesora Titular en el Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, en el área de Química de Alimentos e Investigadora Principal de CONICET, con lugar de trabajo en el Departamento de Industrias de la misma Facultad. Ha dirigido 10 tesis doctorales y publicado más de 100 trabajos científicos en medios de circulación internacional. Los temas de trabajo versan sobre los factores que influyen sobre la velocidad de las reacciones químicas en alimentos y su impacto sobre la calidad de los productos. En los últimos años comenzó una línea de trabajo sobre la obtención de agentes bioactivos provenientes de recursos vegetales autóctonos para sustituir aditivos sintéticos y/o importados, mejorando además su disponibilidad por técnicas de micro y nanoencapsulación. El grupo que dirige participa en acciones de cooperación internacional con varios países, principalmente Eslovenia, Cuba, México, Chile, Italia, España. Desde 2008 es miembro de la Academia de IUFOST (International Union of Food Science and Technology), y presidente de ISOPOW (International Symposium on the Properties of Water), dos organismos internacionales que impulsan la ciencia y tecnología de alimentos.



DR. GERARDO CASTRO

Obtuvo su Licenciatura en Ciencias Químicas (en 1984) y posteriormente su Doctorado (1990) en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Es Investigador clase IIB2 en CITEDEF e Investigador Independiente de la Carrera del Investigador, CONICET, desempeñándose en el Centro de Investigaciones Toxicológicas (CEITOX).

Es profesor asociado y coordinador de la Carrera de Especialización en "Evaluación de Contaminación Ambiental y su Riesgo Toxicológico", en el Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, de la Universidad Nacional de General San Martín.

Es miembro de la Sociedad Argentina de Investigación Bioquímica, de la Asociación Toxicológica Argentina, matriculado en el Consejo Profesional de Química y miembro de las siguientes sociedades científicas internacionales: Society for Free Radical Biology and Medicine (EE.UU.), Research Society on Alcoholism (EE.UU.), International Society for Biochemical Research on Alcoholism y Society of Environmental Toxicology and Chemistry.

Ha ocupado distintos cargos en comisiones directivas de la Asociación Toxicológica Argentina, y actualmente es su presidente.

Ha sido director de proyectos financiados por el CONICET y ANPCyT desde 1993 hasta la fecha.

La investigación cubierta por estos proyectos esta relacionada con mecanismos de daño celular inducido químicamente (en especial por radicales libres), muerte celular y su prevención, estadios tempranos de carcinogénesis química y efectos sobre la salud reproductiva por consumo excesivo de alcohol.

Los resultados de las investigaciones han sido publicados en revistas científicas con comité de evaluación de las disciplinas correspondientes. Hasta la fecha, ha publicado 61 trabajos.



DRA. PATRICIA CERRUTTI

Patricia Cerrutti es Licenciada en Ciencias Químicas por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - U.B.A., Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos por la Universidad Nacional de Mar del Plata, y Doctora en Ciencias Químicas con Orientación Industrial por la F.C.E.N., U.B.A.

Fue Docente Auxiliar en las Cátedras de Química Inorgánica y de Química Orgánica, en la F.C.E.N., U.B.A. y de la asignatura Microbiología Industrial en la Facultad de Ingeniería, U.B.A. Actualmente se desempeña como Profesora Adjunta con dedicación exclusiva en la Cátedra de Microbiología Industrial (F.I.U.B.A.).

Ha trabajado en varios proyectos de investigación (U.B.A.C.y T.), siendo su área de trabajo actual la Microbiología Industrial, enfocada hacia la utilización de microorganismos para la obtención de productos de alto valor agregado a partir de materias primas de bajo costo, tales como la producción de enzimas utilizando glicerol proveniente de la fabricación de biodiesel, producción de micro y nano celulosa a partir de glicerol y de orujo de uva, y la obtención de biocombustibles de segunda generación a partir de materias primas no comestibles. Los resultados obtenidos en sus investigaciones se encuentran resumidos en numerosos trabajos publicados en revistas y presentaciones a Congresos, nacionales e internacionales.

En el presente, es co-directora de un proyecto que estudia la producción de quimosina recombinante no convencional en la levadura *Pichia pastoris* mediante un bioproceso sostenible, y posterior producción de extracto de levadura.



DR. ISAAC MARCOS COHEN

Es Licenciado en Ciencias Químicas y Doctor en Ciencias Químicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Posee también el título de Psicólogo Social, de la Escuela de Psicología Social del Norte. Trabajó en la Comisión Nacional de Energía Atómica, donde se desempeñó en diversas funciones técnicas y de alta conducción. Ha sido consultor o experto en numerosos países y en el Organismo Internacional de Energía Atómica. Se ha desempeñado como profesor y organizador de varios cursos internacionales, conferenciante invitado y responsable de diferentes proyectos científicos en el país y en el exterior. Es director de becas, programas de capacitación especial y tesis de maestría y doctorado de numerosos profesionales argentinos y extranjeros, y autor o coautor de cerca de 200 trabajos publicados en revistas con arbitraje o presentados en congresos nacionales e internacionales. Ha sido jurado de tesis de maestría y doctorado. Es evaluador del Organismo Argentino de Acreditación, de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y del Instituto Nacional de Normalización de Chile. Posee la categoría I como docente – investigador del sistema del Ministerio de Educación. Fue Director-Editor de *Proyecciones*, *Publicación de Posgrado e Investigación*, y es actual Director de otra publicación científica, *Rumbos Tecnológicos*. Es Director de la Especialización en Radioquímica y Aplicaciones Nucleares del Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson, dependiente de la Universidad Nacional de General San Martín; Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Química de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional; Profesor Titular Regular de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas de la Universidad Favaloro, y Profesor Titular, Coordinador de Investigaciones y Director de Posgrado de la Facultad Regional Avellaneda de la Universidad Tecnológica Nacional.



DRA. CELIA E. COTO

Doctora en Química (Orientación Química Biológica). 20 de agosto 1964. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA. Especialista en Virología. Formación: Trabajó bajo la dirección del Prof. Armando S. Parodi en virus animales, realizando el trabajo de tesis bajo su dirección. Se perfeccionó en el exterior con el Virólogo Dr. Albert S. Kaplan (1964-1966) en el Albert Einstein Medical Center de Philadelphia. USA. Carrera del Investigador CONICET. Clase: investigador superior. Jubilada. 2004. Universidad de Buenos Aires. Profesora titular Consulta de la FCEN. Designada el 13 de marzo de 2002. Renovado en Marzo de 2010. Fue Directora del Departamento de Química Biológica 1993 a 1995. Actividad docente y de investigación: 1972. Creación de la materia Virología. 1974. Curso de Seminarios de Virología con puntaje para el Doctorado. 1983. Curso de post-gradó "Cultivos celulares", incorporado en 1994 a la Maestría de Biotecnología de la UBA. 1990. Co-Organizadora y creadora de Microbiología General e Industrial materia obligatoria de la Licenciatura en Química. 2001. Implementación de Virología molecular en lugar de Virología. Dictado de numerosos cursos de grado y pos-gradó en Uruguay, en la Facultad y en el interior del país. Publicaciones: 140 trabajos de investigación en revistas Nacionales e Internacionales. No se mencionan otro tipo de publicaciones. Tesistas. Dirección de 22 tesis doctorales y una codirección, una tesis de maestría y seis tesis de Licenciatura. Premios (De mayor jerarquía). Premio en Microbiología. "Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales" "Alfredo Sordelli". Año 2000. Edición científica: Cursos: Introducción a la Divulgación Científica. Centro de Divulgación Científica y Técnica. Fundación Campomar. 2003-2004. Curso virtual para Editores Científicos, Técnicos y Académicos. CAICYT.CONICET. 2004. Publicaciones de libros y capítulos de libros: Cinco capítulos en colaboración en series americanas dedicadas a virus. Libros para estudiantes: en español cuatro (como co-autora). D. Edición electrónica: Directora y editora de la revista *Química Viva* Publicación del Depto. de Química Biológica. ISSN 1666-7948. Desde 2002 a la fecha. Coautora de *Microbiología Biomédica* (segunda edición). En la actualidad dicta cursos a distancia sobre Química y Biología para profesores del secundario.



DRA. NORMA BEATRIZ D ACCORSO

Nació el 7 de diciembre de 1952 en Buenos Aires (Capital Federal). Finalizados sus estudios secundarios en la Escuela Nacional de Comercio N° 17 en 1970, comenzó su formación universitaria en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA) graduada de Licenciada en Ciencias Químicas en 1978, realizó su Doctorado en la misma Universidad bajo la dirección de la Dra. Inge M. E. Thiel, en la síntesis de aldobionitrilos benzoilados, estudios espectroscópicos y sus reacciones de degradación. Durante el período 1980-1982 realizó una estadía en el Centre Scientifique et Politechnique de la Universidad de Paris Norte que le permitió profundizar sus conocimientos en la síntesis y mecanismos de polimerización de monómeros vinílicos. A su regreso al país, realizó una extensa labor docente y científica en el Departamento de Química Orgánica de la FCEyN de la Universidad de Buenos Aires ocupando cargos de docente auxiliar y luego como Profesor Adjunto y Asociado, ingresó en la Carrera de Investigador de CONICET como Investigador Adjunto con Director en 1992. Actualmente revista en la Universidad de Buenos Aires como Profesor Titular y es Investigador Principal de CONICET en el Centro de Investigaciones en Hidratos de Carbono (CIHIDECAR), donde se desempeña como Vice-Directora. Sus áreas de investigación incluyen síntesis de compuestos heterocíclicos derivados de hidratos de carbono con posible actividad biológica, como así también en la síntesis y modificaciones de polímeros sintéticos de interés industrial.



DR. ALEJANDRO DREWES

Licenciado en Ciencias Químicas (UBA, FCEyN, 1993). Doctor en Química Analítica por la UAB (España, 1999). Profesor de Enseñanza Media y Superior en Química (UBA, FCEyN, CEFIEC).

Profesor Titular en cursos de grado y posgrado (UNSAM, Licenciatura en Enseñanza de las Ciencias). Especialización en Docencia para la Educación Superior (UNSAM).

Profesor Titular, Instituto del Profesorado, CONSUDEC.

Profesor Titular (Universidad Nacional de General San Martín (UNSAM), Investigador en el Centro de Estudios de Historia de la Ciencia y de la Técnica "José Babiní" (UNSAM).

Director y evaluador de Proyectos de investigación educativa (UNSAM/ME, 2001-2011). Director de tesis de Licenciatura y de Maestría en Didáctica de las Ciencias y de la Matemática.

Jurado de concursos docentes (UBA, FCEyN, CEFIEC)

Profesor Invitado (Universidad Católica de Valparaíso, Instituto de Biología, 2001 y 2003).

Ex especialista externo del ME, Programa Prodymes (2001).

Artículos, ponencias, conferencias y capítulos de libros en revistas especializadas en el área de la Físico-Química (1995-2004) y de Didáctica y la Historia de las Ciencias (1996-2011)

Textos de enseñanza para niveles inicial, EGB, Polimodal y de capacitación docente (autor/ coautor/capítulos de libros).



DRA. MARÍA DOS SANTOS AFONSO

Licenciada en Ciencias Químicas de la FCEN-UBA
Grado Académico de Doctor en Ciencias Químicas- Facultad de Ciencias Exactas- Universidad Nacional de La Plata – Argentina
Posdoctorado en EAWAG/ETH Zurich Suiza desde enero 1990 a abril 1992.
Profesor Adjunto Regular Dedicación Exclusiva del Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires
Desarrolla tareas de investigación en el INQUIMAE y el Depto de Qca Inorgánica, Analítica y Química Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Ciudad Universitaria, Pabellón II, 3er piso, C1428EHA Buenos Aires - Argentina
PUBLICACIONES: 50 publicaciones internacionales con referato, 12 capítulos de libros y 150 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales con referato
Ha dirigido y dirige Tesis de Doctorado, de Maestría y de Licenciatura
Es Miembro de jurado de Tesis Doctorales y Magíster en Univ. Nacionales.
Es miembro de Jurado de Concursos Docentes
Integrante de los Comité organizador y Científico de Congresos y reuniones Científicas
Profesor Responsable de diversos proyectos de capacitación docente.
Dirige/í o Participa/o de diversos proyectos de investigación financiados por el CONICET, la Agencia de Investigaciones Científicas y Técnicas (ANPCYP-FONCYT) y la UBA.
Dirige proyectos de extensión financiados por Ministerio de Educación, por la Universidad de Buenos Aires, por la Facultad de Ciencias Exactas y por la Fundación Williams
Evaluadora de proyectos para CONICYT (URUGUAY), ANPCYT-FONCYT (ARGENTINA), UNGS, UBA, CONICET, Univ. de la República (URUGUAY)
Integrante del Editorial Board of Asian J. of Chem and Environ Res, 2007-2010. Revisora de trabajos para diferentes revistas científicas internacionales. Editora invitada del Aquatic Geochemistry.



DRA. MARÍA INÉS ERREA

Nació el 5 de febrero de 1964 en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Finalizados sus estudios secundarios en el Instituto Inmaculada Concepción en 1982, comenzó su formación universitaria en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA). Graduada de Licenciada en Ciencias Químicas en 1989, realizó su Doctorado en la misma Universidad bajo la dirección de la Dra. María Cristina Matulewicz. El tema de su tesis doctoral fue el estudio de los galactanos del alga roja *Pterocladia capillacea*, que fue defendida con la calificación de sobresaliente en el año 2001. Su actividad docente comenzó en el año 1990, en el Departamento de Química Orgánica de la FCEyN de la Universidad de Buenos Aires, ocupando cargos de docente auxiliar hasta el año 2007. Actualmente se desempeña como Profesora Asociada en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires y como Profesora Adjunta en la Universidad Tecnológica Nacional (Facultad Regional de Avellaneda). Sus áreas de investigación incluyen síntesis de compuestos heterocíclicos derivados de hidratos de carbono con posible actividad biológica, como así también la síntesis resinas para el tratamiento de aguas.



DRA. MARÍA ALEJANDRA FANOVICH

Licenciada en Química (1993) y Dra. en Ciencia de Materiales (1999), Universidad Nacional de Mar del Plata. Su tesis doctoral se basó en la Síntesis y Caracterización de Materiales Bioactivos a Base de Hidroxiapatita. Desarrolló una estancia posdoctoral en el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (1999-2003) donde se especializó en la implementación de la tecnología de fluidos supercríticos al desarrollo de biomateriales funcionalizados. Además, realizó una estadía en la Universidad Técnica de Hamburgo, Alemania (2009) que le permitió profundizar los conocimientos sobre esta tecnología. Actualmente es Investigadora Adjunta de Conicet y Profesora Adjunta en el área Química General e Inorgánica de la Facultad de Ingeniería, UNMdP. Participó en proyectos de articulación Universidad-Escuela Media en apoyo a la promoción de la educación pública, como así también en numerosos proyectos de investigación científica nacionales e internacionales.

Los aportes realizados en investigación son: -Desarrollo de biomateriales nanoestructurados basados en hidroxiapatita y otros fosfatos de calcio. - Desarrollo de cementos óseos basados en fosfato tetracálcico y fosfato de calcio anhidro conteniendo micropartículas híbridas nanoestructuradas. -Aplicación de la tecnología de fluidos supercríticos al desarrollo y procesamiento de biomateriales: Diseño y construcción de un sistema que emplea dióxido de carbono en condiciones supercríticas como solvente limpio para la impregnación y procesamiento de biomateriales con fármacos.

Obtuvo el Premio Estímulo "Ernesto E. Galloni en Nanotecnología", otorgado por la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Sección Ingeniería, en el año 2008.

Lugar de trabajo: Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA), J.B. Justo 4302 - 7600 Mar del Plata. Tel: +54-2234816600 (Interno 199)-FAX:+54-2234810046.



DRA. MIRTA LILIANA FASCIO

Nació el 1 de enero de 1961 en Buenos Aires (Capital Federal). Finalizados sus estudios secundarios en 1978, comenzó su formación universitaria en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA) graduada de Licenciada en Ciencias Químicas en 1989. Realizó su Doctorado en la misma Universidad bajo la dirección de la Dra. Norma Beatriz D'Accorso, en síntesis de heterociclos nitrogenados a partir de hidratos de carbono vía cicloadiciones 1,3-dipolares. Actúa como docente e investigadora científica en el Departamento de Química Orgánica de la FCEyN de la Universidad de Buenos Aires ocupando cargos de ayudante de segunda, ayudante de primera y actualmente jefe de trabajos prácticos. Su área de investigación actual es en síntesis de compuestos heterocíclicos derivados de hidratos de carbono con posible actividad antiviral y/o antitumoral.



DR. HÉCTOR FASOLI

Doctor en Ciencias Químicas (Facultad de Ciencia Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 1986). Realizó investigación postdoctoral en los EE.UU. de N.A., en Alemania y en España.

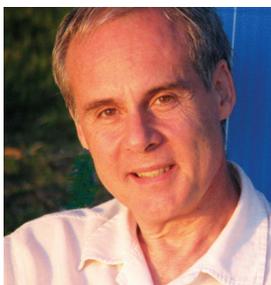
Co-dirigió el equipo de Química del "Paquete Argentino de Experimentos" sobre estudios en microgravedad a bordo de un trasbordador espacial de la NASA. Es autor de numerosos trabajos de investigación presentados en revistas y en congresos tanto nacionales como internacionales.

Especializado en temas de investigación ambiental, su interés se centra en el desarrollo de pilas de combustión a hidrógeno, métodos de descontaminación biológica, química y electroquímica y problemas ambientales asociados con explotaciones mineras. Dirige con el Dr. Juan Franco el equipo de investigación que desarrolla sistemas autónomos de energía basados en baterías a combustible hidrógeno. Uno de estos sistemas funciona desde 2007 en la Base Esperanza de la Antártida Argentina.

Colabora desde 2001 con el Programa de Investigación Geográfico Político Patagónico, dirigiendo trabajos sobre la problemática ambiental de la región.

Ocupó todas las jerarquías de la carrera docente, desde ayudante alumno hasta Profesor Titular por concurso. Es investigador principal del Régimen de Investigación y Desarrollo del Ministerio de Defensa, Profesor Titular y Director del Laboratorio de Química y Ciencia Ambiental de la Facultad de Ciencias Fisicomatemática e Ingeniería de la Universidad Católica Argentina y Profesor por concurso del Departamento de Química de la Facultad de Ingeniería de la UBA. Recientemente fue designado Profesor Titular Visitante de la Universidad Nacional de Catamarca. Ha dictado conferencias y cursos de postgrado, tanto en temas ambientales como sobre enseñanza y creatividad.

Tanto él como sus trabajos han sido reconocidos con menciones y distinciones. En 2003 recibió el Premio Kónex de Platino al científico más destacado de la década en el área Ingeniería Industrial, Química y Ambiental.



DR. JUAN CARLOS FURNARI

Es Licenciado en Ciencias Químicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, con formación de posgrado en radioquímica y química nuclear, técnicas analíticas nucleares, metrología de radioisótopos, gestión de la calidad, gestión de proyectos y dirección de personal. Recibió capacitación especial en el Physikalish-Technische Bundesanstalt de Alemania, en temas de preparación de patrones radiactivos, mediciones absolutas y relativas de actividad y espectrometría gamma. Desde 1981 trabaja en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) institución donde ocupó diversas funciones de responsabilidad. Ha sido docente en varias instituciones universitarias: Universidad de Buenos Aires, Universidad del Salvador, Universidad Favaloro y Universidad Maimónides. Es docente y miembro del Consejo Académico del Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson, que funciona por convenio entre CNEA y la Universidad Nacional de General San Martín, y docente invitado del Instituto Balseiro, de la Universidad Nacional de Cuyo. Es actualmente Gerente de Área de Aplicaciones de la Tecnología Nuclear, a cargo del Centro Atómico Ezeiza, en la Comisión Nacional de Energía Atómica. Es miembro del Consejo Académico de CNEA y también miembro representante por Argentina en el International Committee for Radionuclide Metrology. Integra la Subcomisión de Radiofarmacia de la Administración Nacional de Medicamentos y Tecnología Médica (ANMAT). Ha publicado y presentado en congresos más de 80 trabajos originales, 30 de los cuales publicados en revistas internacionales con arbitraje.



DR. ALBERTO A. GHINI

Realizó sus estudios universitarios en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires: Licenciado en Ciencias Químicas (1979) y Doctor en Ciencias Químicas (1987) realizando su tesis doctoral sobre el catabolismo de la gramina en plantas de *Hordeum Vulgare* (Departamento de Química Orgánica, FCEN-UBA) bajo la dirección del Dr Gerardo Burton (Jurado: Dres. J.Z. Comín, A.B. Pomilio y M. González Sierra; Calificación Sobresaliente). Hizo una estadía postdoctoral de cuatro años en el Institute de Chimie des Substances Naturelles (CNRS) de Gif-sur Yvette, Francia, bajo la dirección del Dr G. Lukacs, primero con una Beca del Conicet (Tema: Síntesis de análogos de adriamicina a partir de hidratos de carbono) y luego con un contrato industrial con la empresa Farmacéutica Servier, France, (Tema: Síntesis de posibles inhibidores de la biosíntesis de colesterol).

Hizo pasantías breves en laboratorios de España (Universidad Santiago de Compostela) y Francia (ICSN-CNRS). Dictó conferencias en Argentina, Brasil, España y Francia.

Fue docente del Departamento de Química Orgánica desde 1979 hasta 2005 (ayudante de segunda, ayudante de primera, Jefe de Trabajos Prácticos y Profesor Adjunto). Es actualmente Profesor Adjunto en la Cátedra de Química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires, e Investigador Adjunto del Conicet (UMYMFOR-FCEN.UBA), con sede de trabajo en el Departamento de Química Orgánica (FCEN-UBA). Publicó 39 trabajos científicos en revistas con referato, y 2 trabajos de divulgación.

Su área de investigación es la síntesis orgánica, en particular de análogos de hormonas esteroideas y de secoesteroides.

DRA. LYDIA R. GALAGOVSKY



Licenciada y Doctora en Ciencias Químicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires (UBA) (1983).

Investigadora en el área de Química Orgánica y de Enseñanza de las Ciencias, ha sido y es directora de proyectos de investigación y desarrollo (OEA, UBA, ANCyT); directora de tesis de grado y postgrado, co-autora de patentes, autora o co-autora de más de noventa publicaciones en revistas de investigación científica con referato y más de doscientas presentaciones a congresos nacionales e internacionales.

Entre sus libros se encuentran: *Hacia un nuevo rol docente* (Troquel, 1993); *Redes Conceptuales. Aprendizaje, comunicación y memoria* (Lugar, 1996). *Química Orgánica. Fundamentos teórico-prácticos del laboratorio* (EUDEBA, 1ª. Edición 1986, 7ma. edición, 2003); *¿Que tienen de naturales las ciencias naturales?* (Biblos, 2008). *Didáctica de las Ciencias Naturales: El caso de los modelos científicos* (Lugar Editorial, 2011). Es directora de los libros "La Química en la Argentina" y "Química y Civilización" generados para el 2012 Centenario de la Asociación Química Argentina.

Es Profesora de Didáctica Especial y Práctica de la Enseñanza en carreras de Profesorados de la FCEN (UBA), Profesora Invitada en numerosas universidades de Argentina, y disertante en universidades extranjeras.

Es presidenta de la División Educación de la Asociación Química Argentina desde 2005. Es miembro de Subcomisiones de Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la FCEN de la Universidad Nacional de Catamarca (desde 2007) y en la FCEN de la UBA (desde 2011). Es Directora de la Comisión de Carrera de los Profesorados de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) desde julio de 2011.

Recibió el Premio Educación, de la Asociación Química Argentina, en 2009; y en co-autoría un 2do Premio del Concurso Conectar-Igualdad 2011 (del Ministerio de Cultura y Educación de la Nación) y el 3er Premio "Formación y desarrollo profesional docente. La aplicación de las nuevas tecnologías en el aula" (de la Asociación de Bancos de Argentina 2010/11). También recibió el Premio Dr. Eduardo Braun Menendez, Bicentenario 2010, Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias, tema: Ciencia-Tecnología-Educación (Noviembre 2011).

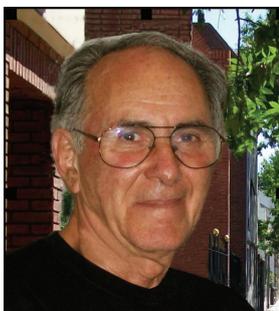


DRA. MARÍA JOSELEVICH

Es Doctora en Ciencias Químicas de la Universidad de Buenos Aires (2005). Dentro del campo de la investigación científica ha incursionado en la síntesis de hormonas esteroideas con estructuras novedosas como parte de su trabajo de tesis doctoral y en el estudio de nanoherramientas y sensores durante su posdoctorado. En el campo de la industria se ha desempeñado como investigadora en el Centro de Investigación Industrial de TenarisSiderca, en el desarrollo de recubrimientos nanoestructurados para acero. Tras un breve paso por la industria Farmoquímica, donde trabajó en el desarrollo de rutas de síntesis de principios activos, se adentró en el mundo de la enseñanza de la ciencia, actividad a la que se dedica actualmente.

Es coautora de una Patente de Invención Internacional y de varios trabajos de investigación en revistas internacionales.

Dentro de la actividad docente se desempeñó como Jefe de Trabajos Prácticos en el departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (U.B.A.) y actualmente es miembro de la Asociación Civil Expedición Ciencia en donde participa en el dictado de cursos de capacitación en la enseñanza de la ciencia para profesores de Escuelas Técnicas y estudiantes de profesorado en ciencia.



PROF. MIGUEL KATZ

Es Profesor en Química (INSP "Dr. J. V. González"), Lic. en Enseñanza de la Química (Universidad CAECE), Especialista en Epistemología, Magister en Epistemología e Historia de la Ciencia y Dr. en Epistemología e Historia de la Ciencia (UNTREF),

Ha sido Profesor Adjunto en la UTN (FRBA), Profesor Asociado en la Universidad de Morón, consultor (Cat. B-1) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y contenido de videos educativos en temas de Química en el Canal Encuentro.

Desde 1972 se desempeña como docente en el I.S.P "Dr. J.V.González" donde actualmente es Profesor Titular de Mecánica Cuántica en el Departamento de Física y de Fisicoquímica, Calor y Termodinámica Química y de Epistemología e Historia de la Química en el Departamento de Química.

Ha escrito varios libros sobre diversos temas de Química y publicado una veintena de trabajos sobre diversos temas de esa especialidad.



DR. TEODORO S. KAUFMAN

Nació el 24 de julio de 1958 en Sunchales (Santa Fe). Finalizados sus estudios secundarios en Moisés Ville, en 1976 comenzó su formación universitaria en Rosario, egresando de la Universidad Nacional de Rosario (UNR) graduado de Bioquímico en 1982 y de Farmacéutico en 1985. Recibió su Doctorado de la misma Universidad en 1987, realizando su Tesis bajo la dirección del Dr. Edmundo A. Rúveda, en la síntesis de terpenoides de interés geoquímico. Durante el período 1987-1989 completó su formación realizando una estadía post-doctoral en la Universidad de Mississippi, donde trabajó en el diseño y síntesis de análogos de un inhibidor natural del complemento. Al retornar al país en 1989 fue designado Profesor Adjunto de la UNR y poco más tarde Investigador Asistente de CONICET. Actualmente revista en la Universidad Nacional de Rosario como Profesor Titular y es Investigador Principal de CONICET en el Instituto de Química Rosario, donde se desempeña como Director. Sus áreas de investigación incluyen la síntesis y evaluación de productos naturales heterocíclicos estructural o biológicamente interesantes y sus derivados, y el estudio de nuevas metodologías de síntesis, como así también el desarrollo y optimización de nuevos métodos para el control de calidad de productos de interés farmacéutico.



DRA. RUTH LADENHEIM

Secretaria de Planeamiento y Políticas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación. Doctora en Química por la Universidad de Buenos Aires. En 1994, obtuvo un Master en Economía y Finanzas en el Institut D'Études Politiques de París, Francia. Se desempeñó como investigadora tanto en Argentina como en Francia, enfocándose en biotecnología y biología molecular. Fue coordinadora de la Unidad de Promoción Institucional en la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y Gerente de Unidad de Negocios de Cosmética y Dermatología en Johnson & Johnson de Argentina.



DRA. MELISA ELSA LAMANNA

Nació el 22 de abril de 1982 en Ramos Mejía (Provincia de Buenos Aires). Finalizó sus estudios secundarios en el Instituto Educacional Almafuerte en 1999, posteriormente se graduó en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA) como Licenciada en Ciencias Químicas en 2006, habiendo obtenido una beca estímulo otorgada por la UBA durante el último año. En este momento se encuentra realizando su Doctorado en la misma Universidad, siendo becaria de CONICET y bajo la dirección de la Dra. D'Accorso. Su trabajo de investigación tiene como objetivo la modificación de polímeros comerciales con el fin de obtener nuevos materiales capaces de interactuar con metales. Además, es docente en el Departamento de Química Orgánica de la FCEN de la Universidad de Buenos Aires ocupando el cargo de Ayudante de Primera.



DR. CARLOS PEDRO LANTOS

Realizó sus estudios secundarios en Francia y Argentina y los universitarios en la Universidad de Buenos Aires, Argentina: Farmacéutico, 1950; Bioquímico, 1953) y Doctor en Farmacia y Bioquímica, 1964, bajo la dirección del Dr J.H. Tramezzani (Jurado Dres. Rebeca Gershman, Agustín Marenzi y Carlos Gomez. Calificación sobresaliente). La tesis describe por primera vez el esteroide 18- OH- DOC, 2do. en importancia en la sangre suprarrenal de la rata. Realizó estudios de postgrado en la Clark University, Worcester, EE.UU en 1963. Tuvo una beca posdoctoral del NIH de los Estados Unidos para trabajar en bioquímica de hormonas esteroideas, en la Worcester Foundation for Experimental Biology (Shrewsbury, Mass.) bajo la dirección del Dr. Ralph Dorfman, 1963- 1964.

Mereció dos premios de la Sociedad Argentina de Medicina Interna: en 1973, por su trabajo en Aldosteronismo Primario; y en 1981, sobre Tumor Corticoidogénico del Riñón con Aspecto Histológico de un Hipernefroma. Es Profesor del Departamento de Química Biológica, FCEN, UBA, desde 1963 hasta el presente (Profesor Titular Consulto desde 1994). Ha dictado numerosos cursos de Química Biológica I y Química Biológica para Biólogos. Organizó y dictó en varias oportunidades la materia Química Fisiológica. Dictado de seminarios, cursillos y clases en Buenos Aires, Salta y en Méjico. Dictado de Conferencias en la UBA, Universidad de Paris Universidad Complutense de Madrid, Universidad Autónoma de Méjico, Universidad de Caen (Francia).

En 1964 fue Miembro de la Worcester Foundation for Experimental Biology. De 1964 a 1965, Asociado de Investigaciones de McGill University, Montreal. En 1967 fue Investigador visitante en el Allan Memorial Institute of Psychiatry, Montreal. En 1975, fue invitado por la Royal Society, con el cargo de Investigador Visitante en el Depto. de Química de la Universidad de Glasgow, Escocia. De 1965 a 1970 fue Jefe de Bioquímica en el Instituto de Neurobiología, Buenos Aires. Actualmente es Investigador Principal ad honorem del Conicet.. Publicó setenta y tres trabajos científicos en revistas con referato, 10 trabajos de divulgación y cuatro capítulos en libros .Dirigió siete Tesis de Doctorado (Medicina, Bioquímica, Química, Biología) de la UBA. Posee tres patentes de transferencia entre la empresa Serono (Suiza) – Conicet y UBA cuyos inventores son G. Burton , A. Veleiro y C. Lantos. Línea de trabajo principal: estructura 3D/acción de hormonas esteroideas. .Lugar: Departamento.de Química Biológica, FCEN, UBA.



DRA. MARTA S. MAIER

Licenciada y Doctora en Ciencias Químicas por la Universidad de Buenos Aires. Actualmente es Profesora Asociada e Investigadora Principal de CONICET en el Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA). Sus temas de investigación comprenden el estudio de productos naturales y el análisis de materiales y sus productos de degradación en bienes culturales.



DRA. LAURA MATKOVIC

Laura Matkovic' es Doctora en Ciencias Químicas de la Universidad de Buenos Aires, y docente-investigadora de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la misma institución. Sus investigaciones se centran en el estudio de las hormonas esteroideas. Su tesis doctoral se basó en el estudio de los aspectos cinéticos metabólicos y estructurales de los últimos pasos de la biosíntesis de aldosterona. Ha trabajado en numerosos estudios relacionados al stress en ratas y posee amplia experiencia en la determinación de gluco y mineralo corticoides en diferentes especies animales y bajo diferentes condiciones de stress. Forma parte del "Laboratorio de esteroides" junto al Dr. Carlos Lantos.

Actualmente trabaja junto a la Dra. Marta Mazzetti en un Proyecto UBACYT sobre "Modelos experimentales de porfiria y de estrés relacionado con el síndrome metabólico. Génesis de los disturbios y su regulación hormonal".

Además está trabajando en un proyecto multidisciplinario junto a la Dra. Nidia Basso y la Lic. Adriana Pietrelli relacionado con el estudio de los efectos del ejercicio en órganos blanco de animales longevos. También es asesora en el equipo del VICAN junto a la Dra. Gisella Ariana Marcoppido participa del grupo interdisciplinario de investigadores que convergen en sus intereses acerca de la biodiversidad andina, las culturas de los pueblos originarios, su historia y problemáticas actuales.

Conjuntamente con estas investigaciones ha publicado en numerosas revistas internacionales, ha participado en la Encyclopedia of Hormones junto al Dr. Eduardo Cozza (únicos representantes de Latinoamérica), ha sido Jurado de Concursos en el Área de Química Biología y ha formado parte de las Autoridades del mismo Departamento de la FCEN-UBA.

Trabajó en la industria farmacéutica confeccionando informes de validación para técnicas Analíticas en el área de la Química Biológica. Ha participado en las Jornadas de Química de la FCEN y colabora en el "Programa Experiencias Didácticas" organizado por la Dirección de Orientación Vocacional de la FCEyN de la UBA.



DRA. ALBERTINA MOGLIONI

Farmacéutica y Bioquímica (1987-1988, respectivamente)
 Doctorado. Realizado en: Química Orgánica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA (1996) Carrera de Especialización en Industrias Bioquímico-Farmacéuticas. Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA (1989)
 Formación Postdoctoral: cuatro años en la Universidad Autónoma de Barcelona (España) con Becas AECI y CONICET) y una estancia corta en la Universidad de Toulouse (Francia).
 Profesor Titular Química Medicinal, FFyB, UBA, asignatura del ciclo Superior de la Carrera de Farmacia.

CARRERA DEL INVESTIGADOR CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO CONICET: Investigador Independiente.

PUBLICACIONES: Total de 55 trabajos científicos y tecnológicos publicados. Últimos tres:
 1) "Synthesis and antifungal activity of some substituted phenothiazine compounds and related ones." Gabriela P. Sarmiento, Roxana G. Vitale, Javier Afeltra, Graciela Y. Moltrasio and Albertina G. Moglioni*. European Journal Medicinal Chemistry, 2011,46, 101-105
 2) "Bovine viral diarrhea virus RNA synthesis inhibition by the thiosemicarbazone derived from 5,6-dimethoxy-1-indanone" E. Castro, L. Fabian, M.E. Caputto, D. Gagey, L.M.Finkielsztejn, G.Y. Moltrasio, A.G. Moglioni, R. Campos and L.V. Cavallaro. Journal of Virology, 2011, 85, 5436-5445.

3) Synthesis, structural characterization and proapoptotic activity of 1-indanone thiosemicarbazones platinum (II) and palladium (II) complexes: Potential role as selective antileukemic agents. Natalia Gómez, Diego Santos, Ramiro Vázquez, Leopoldo Suescun, Álvaro Mombrú, Monica Vermeulen, Liliana Finkielsztejn, Carina Shayo, Albertina Moglioni*, Dinorah Gambino, Carlos Davio. ChemMedMed. 2011, 6, 1485-1494.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS:

Dirección de 10 becarios entre UBA, CONICET y ANPCYT. Cinco de ellos están en etapa de redacción de sus tesis doctorales, las cuales serán defendidas en el transcurso del presente año o primera mitad de 2012.

PRESENTACIONES A CONGRESOS NACIONALES E INTERNACIONALES:

Desde 1987 hasta la fecha 110 presentaciones a congresos y dictados de cinco conferencias en eventos científicos y otras universidades.

CARGOS DE GESTIÓN:

Vicedirectora del Depto. de Farmacología 2008-2014, FFyB, UBA.

Subsecretaria Académica, Área de Acreditación del Grado y Postgrado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA Período 2006-2014.

Miembro de la Comisión técnica asesora N°4 (Ciencias Básicas) de la Universidad de Buenos Aires.



DR. MARTÍN NEGRI

Licenciado en Física (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA) y Doctor de la UBA (área química). Realizó su tesis doctoral en el Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, en el área de fotoquímica. Entre 1991 y 1994 se desempeñó en la Universidad Católica de Lovaina, Bélgica. Es profesor adjunto de la UBA e investigador independiente de CONICET. Desarrolla su actividad de investigación en el Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE). Las líneas de investigación principales son desarrollo y aplicación de sensores químicos, Narices y Lenguas Electrónicas y síntesis de nanomateriales para dispositivos electrónicos.



DR. HÉCTOR SANTIAGO ODETTI

Títulos: 2005 Doctor en Ciencias Biológicas – UNL. 2001 Suficiencia investigativa – Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales – Universidad de Santiago de Compostela – España. 2000 Magíster Scientiae en Medio Ambiente – Centro de Investigaciones Ambientales de la Universidad Nacional de Mar del Plata. 1987 Especialización en Docencia Universitaria – Secretaría Académica de la UNL. 1983 Bioquímico – Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas – UNL.

A lo largo de su trayectoria editó doce libros, posee docencia de postgrado acreditada, numerosas publicaciones en relación a la Educación en Ciencias y a cuestiones disciplinares sobre adsorción en soluciones acuosas de compuestos biorefractarios. A sido conferencista y panelista en diferentes eventos tanto Nacionales como Internacionales. Es y ha sido Director o codirector en Proyectos de Investigación de la UNL y de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

Actualmente es el Profesor Titular dedicación Exclusiva A. Departamento de Química. General e Inorgánica. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Resolución CS 285/08, Director del Doctorado en Educación en Ciencias de la UNL y Secretario Académico de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral (2010-2014).



DR. OSCAR HÉCTOR PLIEGO

Bioquímico (U. N. del Litoral); Doctor (U. N. Rosario). Profesor titular ordinario, dedicación exclusiva, Asignatura Química, Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Profesor estable del Cuerpo Docente de las carreras de Maestría en Didáctica de las Ciencias Experimentales y del Doctorado en Ciencias Biológicas, de la Universidad Nacional del Litoral. Miembro del Comité Académico y Profesor de la Maestría en Didáctica con mención en Matemática, Física y Química. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (U. N. R.). Miembro del Comité Académico y Profesor de la Maestría en aceleradores de partículas. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (U.N.R.).

Autor de textos universitarios, entre otros: "Los radionucleídos y sus aplicaciones" (Pliego), "Química General" (Bottani, Odetti, Pliego, Villarreal), "Química para carreras de Ingeniería y Ciencias Exactas" (Pliego), "La argumentación de propiedades y de sustancias y materiales y de características de reacciones químicas (Pliego, Rodríguez).

Director: a) proyectos de investigación acreditados ante U. N. Rosario, b) tesis de posgrado. Registra: a) publicaciones en revistas nacionales y extranjeras sobre las disciplinas Química, Radioquímica y de Educación en Química, b) presentaciones en congresos, jornadas y reuniones de las mencionadas disciplinas. Desarrolló: a) evaluaciones de actividades académicas, científicas y tecnológicas, b) transferencias, c) gestión, d) formación de recursos humanos.



DRA. SILVIA PORRO

Licenciada y Doctora en Ciencias Bioquímicas (UNLP). Cursadas en su totalidad la Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad y la Especialización en Docencia en Entornos Virtuales (UNQ). Profesora Titular del Área Química del Departamento en Ciencia y Tecnología de la UNQ. Directora del Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias (GIECIEN), del Programa de Investigación "Escuela, diferencia e inclusión" y del Proyecto de Extensión "La ciencia va a la escuela: integración de dos mundos contrapuestos" (UNQ). Directora del Proyecto de Voluntariado Universitario en la Escuela Secundaria "Universidad y escuela secundaria: integración de dos mundos contrapuestos" (SPU, Ministerio de Educación). Integrante titular de la Comisión Asesora de Filosofía, Psicología y Ciencias de la Educación del CONICET. Miembro de la Comisión Directiva de la Asociación Iberoamericana CTS en Educación en Ciencias.

Cuenta con 33 años de experiencia docente universitaria en cursos de Química Analítica, Introducción a la Química, Cursos de Ingreso Universitario en Química (UNLP, 1977-1992), Química General, Química Inorgánica, Química I y Química II (UNQ, desde 1997). Ha dirigido y dirige 5 tesis doctorales en el tema Didáctica de las Ciencias Experimentales (una defendida en febrero de 2010 y 4 en desarrollo) del Doctorado de la UNQ, Mención Ciencias Sociales.

Ha sido coautora del libro "Introducción a la Química", Proyecto Cooperativo, Dirección Ejecutiva del Profesor Dr. Pascual H. Tedesco. Editorial de la UNLP (1999), y de dos libros de divulgación sobre química. Ha publicado 40 artículos en revistas científicas nacionales e internacionales, 21 de los cuales (en los últimos 5 años) en el tema de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Ha participado en numerosos Congresos Nacionales e Internacionales, presentando y evaluando trabajos, participando en mesas redondas y dictando talleres y conferencias.

Ha realizado una pasantía en el Reino Unido, como actividad incluida en el proyecto FOMEC "Adecuación del área química al proceso de reestructuración académica de la UNQ" (1999) y ha sido Coordinadora de Evaluación FOMEC de la UNQ (2002). Ha integrado el Proyecto Iberoamericano de Evaluación de Actitudes Relacionadas con la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (PIEARCTS), financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España (2007-2010). Ha realizado una estadía en Palma de Mallorca como Profesor Visitante (por concurso) de la Universitat de les Illes Balears (2009). Ha sido miembro de jurado de numerosos concursos docentes y de varias tesis doctorales. Ha sido Vicedirectora del Departamento de Ciencia y Tecnología (2002- 2003) y Consejera Superior de la UNQ (2004 - 2008).



DR. JOSÉ MANUEL PORTO LÓPEZ

Doctor en Ciencias Químicas, Orientación Tecnológica. (Univ. Nacional de La Plata, Argentina, 1975).

Profesor Titular Regular, dedicación exclusiva (UNMdP), desde 1991.

Departamento de Materiales y Posgrado en Ciencia de Materiales (Cat. A de CONEAU). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.

Miembro de la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico del CONICET, desde 1976.

Categoría actual: Investigador Principal.

Docente-Investigador Categoría I, desde 1994.

Temas de investigación: Materiales cerámicos. Activación mecanoquímica y reactividad. Estudios arqueométricos de pigmentos y cerámicas arqueológicas.

Otros intereses: fotografía, lectura, música, viajes.



BQCA. SILVIA SUSANA RAMIREZ

Bioquímica egresada de la Universidad Nacional de LaPlata. Cursa actualmente la Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales en la Universidad Nacional del Comahue. Se desempeña actualmente en el Departamento de Ciencia y Tecnología de la UNQ como Profesora Ordinaria del Área Química. Integra el grupo de investigación (UNQ) que estudia los factores que condicionan el acceso y permanencia de alumnos en carreras científico-tecnológicas. Ha dirigido, co-dirigido y participado en varios Proyectos de Extensión Universitaria con enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad y Medio Ambiente y en Proyectos de investigación sobre temas de Biotecnología aplicada al medio ambiente. Ha publicado trabajos de investigación en revistas nacionales e internacionales y escrito libros y capítulos de libros de divulgación científica.



ESP. LIC. FLORENCIA MABEL REMBADO

Licenciada en química egresada de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y Especialista en gestión de la calidad egresada del ITBA. Se desempeña en el Departamento de Ciencia y Tecnología de la UNQ como profesora regular asociada de Química de Alimentos en la carrera de Ingeniería en Alimentos del Departamento de Ciencia y Tecnología (UNQ) y de Higiene, calidad y manipulación de los alimentos en la Licenciatura en Hotelería y Turismo del Departamento de Economía y Administración (UNQ). Integra el grupo de investigación (UNQ) que estudia los factores que condicionan el acceso y permanencia de alumnos en carreras científico-tecnológicas. Ha dirigido, co-dirigido y participado en varios Proyectos de Extensión Universitaria y de articulación Universidad- Escuela Media, con enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad. Ha publicado trabajos de investigación en revistas nacionales e internacionales y escrito libros y capítulos de libros de divulgación científica. Se desempeñó como asesora del Director Nacional de Alimentación de la SAGPyA y con emprendimientos tipo PyMES para la aplicación de sistemas de calidad e inocuidad alimentaria. Ha alternado siempre su labor profesional en el campo de los alimentos con tareas de docencia, investigación, extensión, gestión y transferencia.



DRA. MARÍA VICTORIA ROSSETTI

Lic. En Ciencias Químicas, orientación Química Biológica, FCEyN-UBA
Dra en Ciencias Químicas – FCEyN-UBA
Profesora Adjunta, de, del Depto de Qca Biológica, FCEyN – UBA (Química Biológica II, Toxicología y Química Legal, Introducción a la Toxicología)
Investigadora Independiente del CONICET.
Directora del Centro de Investigaciones sobre Porfirinas y Porfirias (CIPYP)
Trabajos publicados: 60, 2 capítulos de libro y un artículo de divulgación sobre Porfirias.
Participación en más de 200 congresos nacionales e internacionales.
Ha dirigido 2 becarios de CONICET. Ha dirigido 3 Tesis de Doctorado. y 2 tesis de licenciatura (FCEyN-UBA)
Actualmente dirige el trabajo de Beca y Tesis de 3 becarios (UBA, CONICET y ANPCYT), Codirige la Tesis de Doctorado de un becario del CONICET (Directora: Dra V Parera)
Dirige una tesis de licenciatura (Lic. En Ciencias Biológicas- FCEyN- UBA) y una tesis de maestría para la Maestría en Biología Molecular Médica (FCEyN-UBA)
Es miembro de varias sociedades científicas (SAIB, SAIC, SAG, Tretrapyrrole Discusión Group)
Tema de Investigación Genética Molecular de las Porfirias, Patologías Asociadas y Farmacogenética



PROF. DR. LUIS FEDERICO SALA

Profesor Titular con dedicación exclusiva, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas (FCByF) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR). Provincia de Santa Fe. Argentina Investigador Principal Consejos de Investigaciones Científicas y Técnicas-CO-NICET Lugar de trabajo: Área Química General e Inorgánica-Departamento de Químico-Física. FCByF. UNR. Instituto de Química de Rosario- IQUIR-CONICET.

Perfil Académico. Título de grado: Licenciado en Química- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN) -Universidad de Buenos Aires (UBA). Fecha de egreso: 1975 Título de Posgrado: Doctor en Ciencias Químicas. FCEyN-UBA. Fecha de egreso: 1977.- Postdoctorado: Universidad de Texas A&M. College Station. Texas. Supervisor: Dr. Arthur E. Martell. Enero 1982-Diciembre 1984. Profesor Visitante de las siguientes Universidades: Imperial College- Reino Unido. 1995, Universidad de Granada. España. 1997, Universidad de Louvain-La Neuve Bélgica 1999, Universidad del Estado de Middle Tennessee- Estados Unidos de Norteamérica- 2001.Creación de Áreas Académicas: Fundador del Área Química Inorgánica en la FCByF-UNR en 1986. Formación de Recursos Humanos. 8 Tesis Doctorales defendidas con Sobresaliente. Dos en realización..Número de trabajos publicados en revistas nacionales e internacionales con referato: 100. Organizador de eventos: Coordinador Latinoamericano Red Alfa Crocon, auspiciante Comunidad Europea, Organizador del Primer Taller Argentino en Ciencia del Ambiente 2009, En organización del Segundo Taller Argentino en Ciencia del Ambiente a llevarse a cabo en Rosario del 15 al 18 de mayo del Año 2012.



PROF. ALBERTO OSCAR SANTIAGO

TÍTULOS: -Profesor en Disciplinas Industriales Especialidad: Química y Química Aplicada. INSTITUTO NACIONAL SUPERIOR DEL PROFESORADO TÉCNICO.

PUBLICACIONES: Autor y Coautor de varios artículos y obras científicas, entre las que se destacan libros para incentivar la investigación científica entre los niños y los jóvenes en la escuela (Editoriales Plus Ultra, Lumen, Novedades Educativas y Ministerio de Educación de la Nación).

PREMIOS: - PRIMER PREMIO: Concurso Nacional Experiencias Innovadoras en Cooperación Escolar. VIIª Jornadas Nacionales de Cooperativismo Escolar y Iª del MERCOSUR. 20 al 22 de octubre de 1995. Morteros. Córdoba. República Argentina.

POSTULANTE: al Premio Latinoamericano de Popularización de la Ciencia y la Tecnología 1996-1997 de la UNESCO. Reconocido como Especialista en Divulgación de la Ciencia y la Tecnología, por la Secretaría Ejecutiva de la Red Pop/UNESCO. La Plata, provincia de Buenos Aires. 26 de abril de 1997.

PREMIO BIENAL DE EDUCACIÓN 1996-1997: otorgado por la Fundación Navarro Viola, como el " Educador Directivo creador y realizador de un Proyecto educativo institucional que ha demostrado resultados de la implementación de un modelo pedagógico-didáctico y que logró organizar el estudio en torno a valores de solidaridad y responsabilidad ". Buenos Aires, Argentina. 12 de diciembre de 1997.

EXPEDICIONARIO cruce de los Andes a lomo de mula. Pasos: el Portillo, 2004.Los Patos 2006. Comecaballos, 2009.Guana 2010, Planchón, 2011.

CARGOS Y ASESORIAS: Entre diversos cargos y asesorías, se destacan:

Promotor de formación de Centros Multiplicadores del Proyecto Multinacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias en la OEA.

Seleccionador de trabajos con proyección productiva para participar en EE.UU. en la Feria de Ciencias y Tecnología del Cono Sur, Porto Alegre, Brasil.

Consultor de UNICEF-Argentina en programas de capacitación y trabajo.

Asesor del SERVICIO DE DIFUSIÓN CIENTÍFICA del CONICET en las Actividades Científicas y Tecnológicas Juveniles, desde marzo de 1994 hasta el 31 de diciembre de 1996.

Integrante del Equipo Técnico Regional para la Transformación Educativa en la Dirección de Educación Media, Técnica y Agraria de la Provincia de Buenos Aires. Desde el 1.4.97 hasta el 13 de diciembre de 1997.

Asesor en el Programa "Estudiar ¡Vale la Pena!" De la Secretaría de Desarrollo Social de la Nación, desde el 16 de septiembre de 1998.



DRA. NORMA SBARBATI NUDELMAN

Profesor Titular Plenario en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires y miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET, en la categoría de Investigador Superior. Desde el 2004 es Miembro Titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN). Miembro Titular de la Organic and Biomolecular Chem. Div. de la IUPAC, Miembro Asociado del Committee on Chemistry Education de la IUPAC, (1998-2005) Miembro Titular de CHEMRAWN (Chem. Research Applied to the World Needs) de la IUPAC (2006-) Miembro de la Comisión Directiva de la ASOCIACION QUIMICA ARGENTINA. Ex Directora de la Carrera de Especialización en "CIENCIAS QUIMICAS Y AMBIENTE" de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, y Miembro del Comité de Maestría en "CIENCIAS AMBIENTALES" de la misma Facultad.

Designado por la Cancillería argentina experto en el Comité de revisión de Prod. Químicos de la Convención de Rotterdam 2004-7, elegido presidente del GRULAC (Grupo de América Latina y el Caribe) 2005-7, y actual miembro del POPRC (UN, Conv. de Estocolmo). Miembro del Editorial Board of "ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY" y del PHYSICAL ORGANIC CHEMISTRY.

Ha realizado estudios post-doctorales en el M.I.T. (Cambridge, MA), en la Universidad de California (Santa Cruz, CA) y en la Universidad de East Anglia (Norwich, Inglaterra). Ha sido profesor visitante en universidades de Europa, América y Asia. Es autor de 5 libros y varios capítulos de libros, de más de 200 trabajos de investigación originales en publicaciones científicas de difusión internacional, más de 400 comunicaciones en congresos nacionales e internacionales y director de 25 tesis de Doctorado ya aprobadas y dirige 4 en la actualidad. La Academia Nacional de Ciencias Exactas y Naturales, le otorgó el premio "Enrique Carriquiriborde" en 1998 por sus contribuciones en "Química Organometálica". Recibió el premio de "Investigador Destacado" de la UNESCO y de "Químico del año, 2004" y de "Educación en Química" (2008) de la AQA por su trayectoria. Directora de la Olimpiada Argentina de Química, 1991-2000; organizadora de la Olimpiada Iberoamericana de Química (1995-1999) y de la Olimpiada "Jacarandá" para el nivel primario (1997-1999). Punto Focal por la Ac. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina en la Inter. American Network of Academies of Sciences (IANAS) desde el 2004- Vice-Coordinator of IANAS 2006 y actual Coordinator of IANAS SEP desde 2010. Punto Focal en el Programa "Women for Science" (WfS) de IANAS. Titular member of the Global Activities Committee (GAC) del IAP (Inter.-Academic Panel) desde 2010.

El Ministerio de Ciencia y Tecnología le otorgó el premio "Investigador Destacado de la Nación en Química "Rebeca Gerschman" (2011) y el Phys. Org. Chem (Am.Chem.Soc.) dedicó un número en su honor (dic. 2009).



DR. ROLANDO A. SPANEVELLO

Instituto de Química Rosario. CONICET. Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario. Suipacha 531 – S2002LRK Rosario. Argentina
Se graduó como Licenciado en Química Industrial en 1981 en la Pontificia Universidad Católica Argentina y obtuvo el grado de Doctor en el campo de la síntesis orgánica en 1986 en la Universidad Nacional de Rosario. A partir de 1987 realizó una estadía posdoctoral de cuatro años en el Departamento de química de la Universidad de Pennsylvania, EE.UU. trabajando en la síntesis de productos naturales y de péptidos en fase sólida. En 1991 fue investigador asociado en el Institute de Chimie des Substances Naturelles en Gif sur Yvette, Francia; desde julio de 1992 es miembro de la carrera del investigador de CONICET en el Instituto de Química Rosario y actualmente Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas de la Universidad Nacional de Rosario. En 2001 fue profesor visitante en el Departamento de Química de la Universidad de Michigan, se ha desempeñado como Secretario de Ciencia y Tecnología de la Facultad a la cual pertenece y durante los años 2003-09 fue designado miembro del Consejo Consultivo Científico de la Organización para la Prohibición de Armas Químicas en La Haya. Sus áreas de interés científico son la síntesis de productos naturales de interés biológico, la química de monosacáridos y de dendrímeros, todo enfocado hacia el desarrollo de la química verde.



PROF. ALEJANDRA G. SUÁREZ

Instituto de Química Rosario. CONICET. Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario. Suipacha 531 – S2002LRK Rosario. Argentina
 Se graduó de Licenciada en Química Orgánica y de Doctora en Ciencias Químicas bajo la dirección de la Profesora Angela R. Suárez, en la Universidad Nacional de Córdoba. Realizó una estadía postdoctoral en el Ecole Normale Supérieure de París en el laboratorio del Dr. Christian Amatore y en la Universidad de Oxford bajo la supervisión del Prof. Malcolm L. H. Green. Fue investigadora visitante en el Departamento de Química de la Universidad de Harvard, bajo el patrocinio de la American Chemical Society. Desde 1995 se desempeña como investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y como docente en el Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario. Desde el año 2009 es miembro del Consejo Consultivo Científico de la Organización para la Prohibición de Armas Químicas, La Haya, Holanda. Su área de investigación incluye el aprovechamiento de biomasa para la obtención de compuestos de alto valor agregado, en particular el desarrollo de inductores quirales para su aplicación en síntesis asimétrica.



DR. OSVALDO MIGUEL TEME CENTURIÓN

Nacido el 22 de junio de 1966 en la Ciudad de Buenos Aires. Esposo de Valeria y padre de Lucía y Rodrigo.

Doctor de la Universidad de Buenos Aires en la especialidad de las Ciencias Químicas por el trabajo "Síntesis de Análogos de Castasterona y Ensayo de su Actividad Biológica", realizado bajo la dirección del Dr. Eduardo G. Gros y la co-dirección de la Dra. Lydia R. Galagovsky.

Especialista en Higiene y Seguridad en el Trabajo de la Universidad de Buenos Aires.

Especialista en Farmacia y Bioquímica Legal de la Universidad Católica de Salta-Laboratorio de Toxicología Morgue del Poder Judicial de la Nación.

Actualmente Jefe de Analítica del Laboratorio de Control de Doping de la Secretaría de Deporte del Ministerio de Desarrollo Social.

Ex miembro de la Comisión Nacional Antidoping (CNA), como representante del Laboratorio de Control de Doping de la Secretaría de Deporte de la Nación.

Miembro de la Asociación de Latinoamericana Antidopaje (ALA), en calidad de Secretario.

Profesor Asociado del Departamento de Biología y Química de la Universidad John F. Kennedy, Jefe de TP en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

Ex docente de la Universidad de Quilmes y de la Universidad de Buenos Aires.

Perito del Poder Judicial de la Nación.



PROF. HÉCTOR RODOLFO TEVEZ

Títulos de Profesor de Química y Licenciado en Química otorgado por la Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Doctorado en Contaminación Ambiental: "Interacción química de herbicidas con fracciones de suelos típicos de la provincia de Santiago del Estero" bajo la dirección de María dos Santos Afonso (INQUIMAE-FCEN-UBA).

Profesor Adjunto en las cátedras de Química General e Inorgánica y Fisicoquímica de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Desarrolla investigación en área de Contaminación Ambiental en Suelos y Agua. Trabajos publicados: 30 presentaciones a congresos, 6 trabajos expandidos publicados en libros, 4 publicaciones de trabajos científicos, coautor de un libro publicado y coautor de un libro a publicar. Tres direcciones de Trabajo Final para finalización de carrera de Licenciatura en Química. Evaluador de trabajos en Congresos y Jornadas. Integrante de Tribunales de concurso en la Universidad y en el medio local.

Funciones de Gestión: Consejero Directivo, Director de Departamento, integrante de Comisiones Curriculares y Junta Electoral.



DR. ALFREDO WEISS

Doctor en Química (UBA) 1948

Gerente de Desarrollo de Compañía Química S. A.

Jefe de Trabajos Prácticos en la Cátedra de Química Industrial (UBA) de 1962 a 1964. Asesor en la Cancillería (en la Dirección de Seguridad Internacional de 1988 a 1989).

Experiencia en Química Industrial y Evaluación de Inversiones. Especialista en Plaguicidas, Pigmentos, Detergentes y Síntesis Orgánica.



DR. MARCELO J. WOLANSKY

1999: Dr. en Ciencias Biológicas (Área disciplinaria de la tesis: Neurotoxicología)

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires (UBA)

1992: Licenciado en Ciencias Biológicas. FCEN-UBA, Buenos Aires, Argentina.

Experiencia y Cargos: 2008- (continúa). Jefe de Grupo de Investigación, Laboratorio de Toxicología de Mezclas Químicas (LATOMEQ), FCEN, UBA.

Profesor Adjunto (Interino), Área Toxicología, Depto. Química Biológica, FCEN, UBA

Investigador Científico, Director de Proyecto de Investigación Acreditado, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica

Vice-Presidente (2008-2010), Presidente (2011-2012), Grupo Regional Latinoamérica de Society for Risk Analysis.

2003 - 2007: Investigador Asociado, Consejo Nacional de Investigaciones (USNRC) y Agencia de Protección Ambiental (USEPA), Estados Unidos de Norteamérica.

Publicaciones más relevantes (últimos 5 años)

Wolansky, M. (2011 [en prensa]). Plaguicidas y Salud Humana. Revista Ciencia Hoy.

Wolansky, M., Gennings, C., DeVito, M., Crofton, K. (2009). Evidence for Dose Additive Effects of Pyrethroids on Motor Activity in Rats. *Environmental Health Perspectives* 117: 1563-70.

Wolansky, M. & Harrill, J. (2008). Neurobehavioral toxicology of pyrethroid insecticides in adult animals: A critical review *Neurotoxicology and Teratology* 30 (2): 55-78.

Wolansky, M., Gennings, C., Crofton, K. (2006). Cumulative risk of pyrethroids: Relative potencies for acute effects on motor function in rats. *Toxicological Sciences*. 89 (1): 271-277.

Wolansky, M. & Azcurra, J. (2005). Permanent motor activity and learning disorders induced by exposure to phenytoin during gestation and early infancy in the rat. *Neurotoxicology and Teratology* 27 (2): 299-310.

GUILLERMO SPECTOR

Artista plástico

www.guillermospector.com.ar

Los seres humanos curiosos podemos preguntarnos:

¿De qué está hecha la materia de la Naturaleza que conocemos? ¿Qué diferencias existen entre la materia que forma parte de las rocas y la materia con que se generan los seres vivos? ¿Hay similitudes en la materia que forma la inmensa diversidad de los materiales que conocemos? ¿Cómo aprovechar las propiedades de los materiales existentes en la Naturaleza? ¿Cómo modificar esos materiales para cambiar sus propiedades? ¿Es posible crear materiales nuevos, a partir del ingenio de los seres humanos? ¿De qué están hechos el Sol, las estrellas, otros planetas y cuerpos del universo? ¿Cómo describir a los materiales, cómo saber cuándo están puros, qué componentes tienen y en qué proporción? ¿Por qué hay materiales que son inmutables y otros que se degradan? ¿Qué procesos sustentan la vida tal como la conocemos? ¿Qué es el color y qué se puede hacer con los colores? ¿Qué son los plásticos? ¿Qué propiedades hacen que los materiales puedan o no ser conductores de calor, de electricidad o de información? ¿Cuál es la importancia del agua, o de los materiales impermeables? ¿Porqué algunos compuestos funcionan como remedios y otros son venenos? ¿Qué ocurre en nuestras mentes que nos permite pensar y soñar? ¿Por qué olemos, vemos, percibimos con nuestros sentidos y nos movemos? ¿Qué sutilezas generan salud o enfermedad, progreso en la calidad de vida o contaminación?

Todas estas preguntas y miles más, pueden ser contestadas desde la Química.

Entonces, cabe preguntarse ¿cuándo surgió la Química? ¿Es la Química un conjunto de leyes, ecuaciones y entes abstractos que simplemente están allí, en la Naturaleza y que "han sido descubiertos" por algunos seres humanos geniales? Estas nuevas preguntas deben ser abordadas desde la filosofía y desde la epistemología, disciplinas que nos hacen reflexionar acerca de la Química y de otras actividades humanas.

Los capítulos de estos libros titulados "La Química en la Argentina" y "Química y Civilización" son piezas de un rompecabezas infinito: la Química, cuya historia comienza en un pasado remoto y se proyecta hacia un impredecible futuro. Los capítulos son también evidencias paradigmáticas de las interrelaciones entre los seres humanos y su pasión por desentrañar los misterios de la Naturaleza, y sobre cómo la naturaleza de los seres humanos crea, modifica y consolida sus lazos indisolubles con la sociedad que los contiene.

De esta forma, cada capítulo es un fragmento de las potentes respuestas que brinda la Química para aprovechar y modificar materiales, para estudiarlos de manera sistemática y rigurosa, para explicar sus propiedades mediante modelos científicos, para predecir comportamientos e inventar sustancias y materiales previamente inexistentes. Los capítulos de estos libros son sólo algunos ejemplos de un camino de trayectoria infinita.

Pero cada uno de estos libros, como conjunto de capítulos, es una invitación a la reflexión epistemológica sobre qué es esta ciencia llamada Química, y a un desafío filosófico al reconocer que la Química no es reducible a otras ciencias, sino todo lo contrario: generadora potente de algunas respuestas y, fundamentalmente, plataforma convocante desde donde comenzar a responder miles de nuevas preguntas.

Dra. Lydia R. Galagovsky

