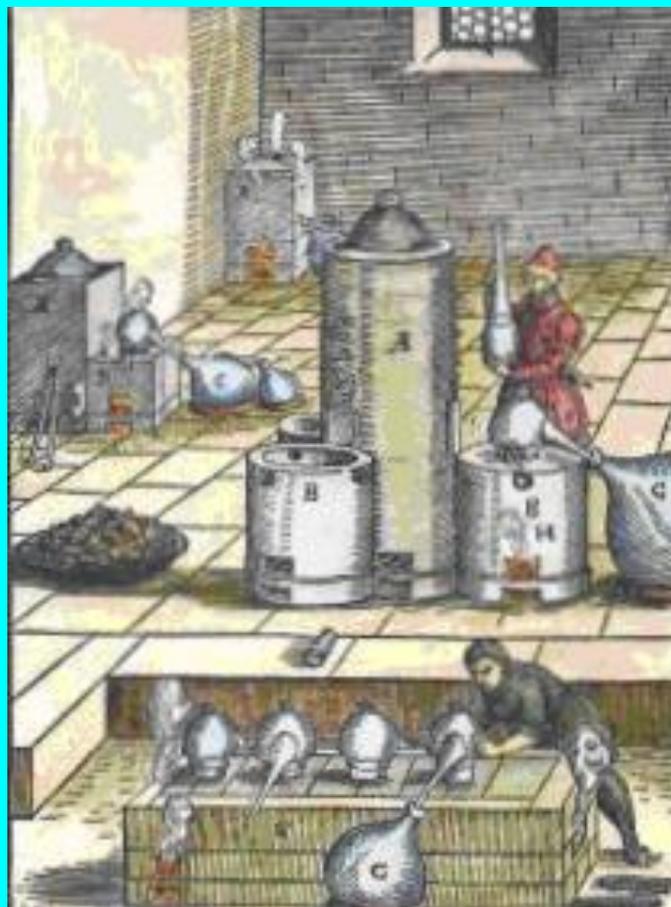


# TEMAS DE HISTORIA DE LA QUÍMICA



**MIGUEL KATZ**

**ASOCIACIÓN QUÍMICA ARGENTINA  
2016**







# **TEMAS DE HISTORIA DE LA QUÍMICA**



**Miguel Katz**

# **TEMAS DE HISTORIA DE LA QUÍMICA**



**Asociación Química Argentina  
2016**

© 2016 Asociación Química Argentina.  
Sánchez de Bustamante 1749 C1425DUI  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina.  
Tel/Fax (54 11) 4822 4886.

Libro de edición electrónica  
Hecho en la República Argentina  
Hecho el depósito de la Ley 11.723  
Derechos reservados

ISBN 978-987-99428-5-7

***Agradecimientos:***

*A la Asociación Química Argentina en las personas de  
su Presidente, Dr. Eduardo Castro,  
de su Vicepresidente, Dra. Noemí Walsöe de Reca  
y de su Responsable de la División Educación: Dra. Lydia Galagovsky.*



*A la memoria de mi hijo Pablo.*



# PRÓLOGO

Es para la División Educación de la Asociación Química Argentina un honor poder acercar a la comunidad de docentes y profesionales de la Química un libro que resulta de lectura fundamental para ubicar a la Química en el contexto del pensamiento humano.

Si bien el vertiginoso desarrollo científico y tecnológico que caracteriza a la civilización occidental actual es producto de las ideas y creaciones emprendidas por investigadores desde la segunda mitad del siglo XX en adelante, estas producciones tienen sus raíces en las voluntades y trabajos de miles de investigadores precedentes.

En este hermoso libro “Temas de Historia de la Química”, el Dr. Miguel Katz nos hace volar sobre más de dos mil años de esfuerzos filosóficos y experimentales de algunas decenas de importantes personajes cuyos nombres han logrado emerger de entre las tinieblas del tiempo, dentro del campo originariamente conocido como Alquimia, y más recientemente, como Química.

Los expertos en historia y filosofía de las ciencias señalan que el conocimiento científico se construye y configura en un proceso histórico complejo, sobre cimientos condicionados -o muchas veces determinados- por creencias, prejuicios, conflictos de poder, influencias religiosas, crisis políticas, disputas de valores, etc. En esta línea de reflexión histórica, el Dr. Katz nos propone a través de las páginas de este libro, conocer aspectos relevantes de la historia de la Química mediante narraciones donde se valoran las controversias, los contextos, las pasiones, las ideas, los métodos. Así, en cada capítulo se presentan marcos culturales donde han florecido ideas particulares acerca de los modelos interpretativos de la realidad, particularmente en relación a las preguntas sobre qué es la materia y qué es la vida, y sus posibilidades de transmutación o eternidad, respectivamente.

En el devenir histórico, la narración del Dr. Katz atraviesa un espectro muy amplio de descripciones sobre modelos alquímicos: desde posturas filosóficas como el Yin y el Yan chino, o el ayurveda de la India; desde las ideas atomistas de los antiguos griegos o las concepciones religiosas de la Edad Media; hasta las controversias sostenidas por químicos cuyos nombres han llegado hasta el presente.

La presentación de controversias entre modelos químicos sincrónicos o diacrónicos permite al lector de este libro reconstruir una historia de la Química inmersa en contextos culturales, sociales, políticos, y, fundamentalmente, humanos. Con maestría, el relato del Dr. Katz atraviesa las posibles visiones simplificados y reduccionistas acerca de la ciencia, que solemos tener los lectores.

En muchos capítulos el Dr. Katz nos hace reflexionar sobre la complejidad de las fuentes de información existentes actualmente, y sobre la dificultad que conlleva el trabajo de un historiador de las ciencias. Los detallados estudios de investigación histórica llevados adelante por el Dr. Katz durante años, y su capacidad de traducir de fuentes primarias de información escritas en unos 20 idiomas (incluidos el farsi y versiones antiguas de lenguas como el alemán y el francés) nos permite a los lectores disfrutar, confiados en su correcta, genuina y original propuesta.

Este libro “Temas de Historia de la Química” será muy apreciado por los lectores con formación química. Pero, también, está destinado a adultos que en algún momento de su vida se pregunten ¿de qué están hechas las sustancias y cuerpos que conocemos? ¿Por qué los materiales que conocemos

tienen determinadas características? ¿Podríamos cambiarles sus propiedades? ¿Cómo podríamos curar las dolencias que nos invaden a los seres vivos? ¿Podríamos los humanos ser eternos?... Porque estas preguntas -que son propias de los químicos- han desvelado a la civilización humana desde sus comienzos, cuando después del temor a la Naturaleza, se ha pensado en dominarla y desafiarla. Miles de seres humanos han intentado responder esas preguntas... pero sólo algunos han tenido la gloria de que sus nombres trascendieran por sobre el devenir aplanador del mundo de las ideas y de los hechos. Y podremos conocer algunas respuestas y a sus principales exponentes, a través de las páginas de este libro.

A lo largo de los primeros 10 capítulos, el Dr. Katz nos ilustra sobre las más importantes respuestas a esas preguntas, que se desarrollaron y trascendieron a lo largo de más de quince siglos, bajo el período de la Alquimia. Esas trascendencias pudieron deberse a leyendas que se perpetraron, a poderes que otorgaron jerarquías, a escrituras que fueron reencontradas, a discusiones amparadas bajo el manto de la fe instituida, o a recetas absolutamente empíricas que dificultosamente podían ser reproducidas, pero que generaban actitud de culto.

En los últimos 8 capítulos, el Dr. Katz nos introduce en la compleja trama de discusiones apasionadas de aquellos investigadores que lograron despegarse de la Alquimia para desarrollar la ciencia Química, plena de ideas modelizadoras finalmente consensuadas.

Esta visión de conjunto que nos brinda el Dr. Katz, es complementaria a la que suele implementarse en la formación académica de un químico. La complejidad de los modelos científicos actuales dentro de la variada gama de subáreas de la Química, y la escasez del tiempo institucionalizado para su enseñanza, hacen que se considere -generalmente- “perder tiempo valioso” el presentar conceptos y experimentos de la historia de la Química previa al siglo XVIII. El principal argumento es que esas ideas ya han sido superadas y ya no son imprescindibles para entender los conceptos que se manejan actualmente. Y esta argumentación es absolutamente válida. Sin embargo, en algún momento de la formación, un profesional químico puede sentirse curioso de pensar ¿Cómo se le ocurrió esto a alguien? ¿Cuándo fue? ¿Cómo fue?... Y, posiblemente, la vorágine de los compromisos establecidos haga que estas preguntas motivadoras no encuentren una fácil vía de satisfacción. Por suerte, tenemos ahora el valioso aporte del presente libro.

La lectura de “Temas de Historia de la Química” permitirá al lector concebir a la Química como una ciencia eminentemente humana, cuyas raíces penetran en la fragilidad de aquella experimentación pretendidamente sistemática, con materiales, nomenclaturas y modelos conceptuales variables, precarios, inconsistentes, idiosincrásicos. Se podrá, así, valorar el campo científico como una totalidad, para compensar la sesgada mirada actual que sólo reconoce a la Química como derivada de la Física del siglo XX.

El ameno relato del Dr. Miguel Katz nos permite descorrer los telones que ocultan las escenografías del pasado, sin las cuales no hubiera sido posible ver la excelente obra representada por la Química contemporánea. La lectura de los capítulos también nos lleva a comprender que los investigadores y sus propuestas son puntos en el entramado tridimensional de los modelos interpretativos de la realidad, y sus aportes generan tirantez en las encrucijadas; esta visión modifica otros enfoques que sostienen la existencia de un hilo de protagonistas exitosos y certeros, y una concepción triunfalista de una ciencia con pretendido progreso lineal.

Finalmente, es un inmenso placer personal poder acercar a los lectores la extensa y detallada obra de investigación histórica del Dr. Miguel Katz, quien combina una excelente capacidad narrativa, con un profundo conocimiento químico.

---

Este libro “Temas de Historia de la Química” resulta un reconocimiento al esfuerzo realizado durante años por el Dr. Katz para reunir información y generar un material original, y un soplo de reconfortante sabiduría para aquellos que por formación o por pasión nos sentimos “químicos”.

Dra. Lydia Galagovsky  
División Educación  
Asociación Química Argentina



## **PREFACIO**

El presente trabajo es una recopilación de los temas dictados en diversos cursos de Historia de la Química, de allí el nombre *Temas de Historia de la Química*. No tiene la pretensión de ser un tratado sobre la materia sino de hacer una reseña de los aspectos más relevantes que contribuyeron al desarrollo de esta disciplina desde la Antigüedad hasta principios del siglo XX.

En la medida de lo posible, hemos recurrido a las fuentes, algo que en los últimos años ha sido posible gracias a la apertura de los archivos de muchas instituciones así como la digitalización de textos antiguos.

Hemos agregado algunas traducciones al idioma castellano de trabajos que, en las épocas en que fueron publicados, tuvieron amplia repercusión en la comunidad científica. En el caso de publicar una segunda edición nos comprometemos a agregar, al menos, la traducción de un trabajo de este tipo por capítulo.

Siendo la Química una ciencia de la Naturaleza, el primer capítulo se ocupa de las concepciones de los filósofos griegos de la Antigüedad sobre la naturaleza de la materia y, en particular, de la materia primigenia. Estas ideas estuvieron bastante despojadas de connotaciones religiosas. Luego se resumen las actividades de algunos alquimistas griegos de la época helenística.

El segundo capítulo está dedicado a la Alquimia egipcia. Allí se describen someramente los usos y costumbres resultante de las aplicaciones de la Química a la vida cotidiana y la aurifacción descrita en los papiros que hoy en día se conservan. Se completa con la Alquimia en Alejandría.

El capítulo III, se ocupa de la Química en la Antigua China, donde más importante que la obtención del oro fue producir un elixir que prolongase la vida.

El Capítulo IV, trata de la Alquimia en la India, desde la época de los Vedas hasta el siglo XVI donde se recalca el uso de la Iatroquímica varios siglos antes que en Europa.

En el Capítulo V, se hace una reseña del surgimiento del Islam y de su propagación gracias a la tecnología de la “espada de Damasco”. Se describen las vidas y las contribuciones a la ciencia de los principales exponentes de la Alquimia islámica así como los textos filosóficos que serían utilizados por los alquimistas de la Edad Media.

En el Capítulo VI, se presenta un panorama de la Alquimia europea de la Edad Media, en particular el aporte de Roger Bacon al empirismo, los trabajos alquímicos de exponentes notables de la doctrina cristiana y se agrega la traducción de varios textos alquímicos de Albertus Magnus, Santo Tomás de Aquino y Arnaldo de Villanova.

En el Capítulo VII se reseña la vida y las concepciones de Paracelso y su influencia en la Medicina de los siglos siguientes; los trabajos de van Helmont y sus ideas sobre los elementos; la obra de Silvius; la contribución de Agrícola a la Metalurgia y el uso del antimonio en medicamentos propuesto por Basilius Valentinus.

El Capítulo VIII, trata el resurgimiento del atomismo y su expansión gracias a la imprenta. Aquí se contraponen las ideas atomistas de Gassendí, — quien logró conciliar en parte esta doctrina con los principios de la Iglesia — con el plenismo de Des Cartes. También se toma como modelo del empirismo inglés a Robert Boyle quien, a pesar de su corpuscularismo mecanicista, logró establecer los lineamientos de ese método como patrón para los trabajos que se presentaban en la Royal Society. En particular, se desmistifica que Boyle haya enunciado una definición de “elemento”,

El Capítulo IX, se ocupa del establecimiento del primer cuerpo teórico de la Química el que, a pesar de la falsedad de su principal postulado, tuvo vigencia durante más de un siglo: la Teoría del Flogisto. Desarrollado como un modelo kuhniano, se dan los motivos para su aceptación como ciencia normal, los enigmas y anomalías que fueron surgiendo a lo largo de su desarrollo, las hipótesis “ad hoc” propuestas para salvar su principio fundamental de la crisis, ocasionada por la comprobación del aumento de pesos al cabo de las combustiones, la comprobación de Priestley de que el aire no es un elemento, lo que impuso a Lavoisier a proponer una teoría alternativa y el triunfo de la teoría de la combustión de este último al comprobar Cavendish que el agua tampoco es un elemento.

Las ideas de Lavoisier establecieron nuevos patrones de investigación química y el Capítulo X se ocupa de las llamadas “leyes gravimétricas” resultados de la aplicación de esa metodología.

El Capítulo XI está dedicado a la obra de John Dalton y su Teoría Atómica, la posibilidad de utilizarla como fundamento para explicar las leyes gravimétricas, las “contradicciones” provocadas por las leyes volumétricas de Gay-Lussac y la hipótesis de Avogadro para eliminar dichas contradicciones.

En el capítulo siguiente, se sintetiza la obra de Humphry Davy quien, a través de sus investigaciones electroquímicas refutó las concepciones de la escuela de Lavoisier según las cuales todos los ácidos contienen oxígeno; los experimentos que le permitieron obtener nuevos elementos y generar las bases para la teoría dualista de la materia de Berzelius. El capítulo se complementa con la vida y obra de Michael Faraday.

En el Capítulo XIII se analizan las controversias acerca de si la Química Orgánica obedece o no a los mismos patrones de comportamiento que la Química Inorgánica; las concepciones de Berzelius acerca de la fuerza vital, la utilización de las ideas primitivas de Lavoisier sobre los radicales, para encontrar un método que sistematice la investigación sobre reacciones orgánicas, la síntesis de la urea realizada por Wöhler y los distintos radicales propuestos para agrupar compuestos orgánicos.

El capítulo siguiente trata acerca de la teoría de sustitución y la oposición a ellas de Berzelius, ya que refutaban su propia teoría dualista, los problemas para establecer pesos atómicos relativos y los inconvenientes derivados del uso de diversas escalas en la determinación de las fórmulas de las sustancias los que fueron resueltos gracias a la propuesta de Stanislao Cannizzaro de tomar como fundamento la hipótesis de Avogadro. El capítulo se complementa con las teorías de los tipos.

El Capítulo XV está dedicado a la teoría de la valencia. Comienza con los intentos para establecer escalas de equivalentes hasta llegar a la teoría de la tetravalencia del carbono de Kekulé y de Scott Couper, lo que le dio un impulso considerable a la investigación en Química Orgánica.

El Capítulo XVI se ocupa de los intentos de clasificar las propiedades de las sustancias simples, las regularidades que se fueron encontrando al ordenar sus pesos atómicos en grupos de tres, los intentos de Chancourtois y Newlands de establecer regularidades en las propiedades de las sustancias simples al ordenar los pesos atómicos de sus elementos en orden creciente, los trabajos de Lothar Meyer en el mismo sentido y el gran mérito de Mendelejeff de predecir la existencia de elementos

aún no descubiertos, y sus propiedades, sobre la base de que “las propiedades de las sustancias simples son una función periódicas de los pesos atómicos de los elementos que las constituyen”. Se describen tanto el modelo de tabla corta como el de la tabla extendida, con las dificultades que su ordenamiento presenta aún en nuestros días.

El modelo de estructura molecular es el tema central del Capítulo XVIII. En él se detalla el modelo de Kekulé para la molécula de benceno así como los trabajos de Le Bel y van't Hoff para el modelo tetraédrico de las uniones del carbono en los compuestos orgánicos. Por consierar que puede ser de interés, hemos anexado la traducción del trabajo de Le Bel sobre este tema.

El último capítulo, trata sobre los inicios de la Fisicoquímica. Aquí se han incluido reseñas de los trabajos de Gibbs sobre la Termodinámica aplicada a la Química, de Guldberg y Waage sobre la ley de las masas activas y la pseudo constante de equilibrio, su dependencia con la temperatura encontrada por van't Hoff, las distintas formulaciones de la ley del desplazamiento químico enunciadas por Le Chatêlier, las contribuciones de Hittorf, Kohlrausch y Arrhenius a la Fisicoquímica de las soluciones, las investigaciones de Raoult y van't Hoff sobre las propiedades coligativas de las soluciones, las propiedades de las soluciones de electrolitos realizadas por van't Hoff y por Ostwald, el Teorema de Nernst y el Tercer Principio de la Termodinámica.

Vaya mi reconocimiento especial a la Dra. Lydia Raquel Galagovsky, sin cuyas sugerencias, colaboraciones y correcciones este trabajo no habría sido posible y por el interés en acercar este texto a los profesionales químicos.

Apelando a la indulgencia del lector, le agradeceremos cualquier sugerencia y/o corrección que corresponda.

Miguel Katz  
Abril de 2016.



# ÍNDICE

	Página
I	Capítulo I. — Ciencia griega: 1
1 – 1.	Introducción 1
1 – 2.	El estudio de las culturas de la ciencia antigua 1
1 – 3.	La aparición de la escritura 2
1 – 4.	Mito y filosofía 5
1 – 5.	Características de de la cosmología antigua 6
1 – 6.	Los filósofos milesios y el problema de la realidad última 7
1 – 6.1.	Tales de Mileto 8
1 – 6.2.	Anaximandro de Mileto 9
1 – 6.3.	Anaxímenes de Mileto 11
1 – 7.	Pitágoras de Samos 12
1 – 8.	El problema del cambio y la solución atomista 14
1 – 8.1.	Heráclito de Éfeso 14
1 – 8.2.	Parménides de Elea 16
1 – 8.3.	Empédocles de Agrigento 18
1 – 8.4.	Anaxágoras de Clazomene 20
1 – 9.	Los filósofos atomistas 22
1 – 9.1.	Leucipo de Abdera 22
1 – 9.2.	Demócrito de Abdera 23
1 – 10.	Aristóteles de Estagira 27
1 – 10.1.	La metodología inductivo - deductiva 28
1 – 10.2.	La filosofía natural aristotélica 30
1 – 11.	La khemeia de Bolos de Mendes 33
1 – 12.	La Farmacopea de Pedacio Dioscórides Anazarbeo 36
1 – 13.	La Alquimia de Zósimo de Panópolis 37
1 – 14.	Otros alquimistas de nuestra era 39
1 – 14.1.	Africanus 39
1 – 14.2.	Sinesio 39
1 – 14.3.	Olimpiodoro 40
1 – 15.	Cerrando el Capítulo 42
	Bibliografía 43
	Capítulo II — Alquimia en el Antiguo Egipto 45
2 – 1.	Introducción 45
2 – 2.	Artesanías, técnicas, usos y costumbres 45
2 – 3.	Técnicas artesanales vinculadas con la alquimia 45
2 – 4.	Minería y metalurgia 46
2 – 5.	Extracción de minerales de cobre, de hierro y de plomo 47
2 – 6.	El oro en Egipto 48
2 – 7.	Mercurio y otros metales 49
2 – 8.	Los metales y el misticismo 49
2 – 9.	El arte de trabajar el vidrio 51
2 – 10.	Textiles y materiales colorantes 52
2 – 11.	La coquetería en Egipto: perfumes y ungüentos 53

2 – 12.	Cosméticos, desodorantes y cremas depilatorias	56
2 – 13.	Los primeros manuscritos acerca de la tecnología química usada en Egipto	56
2 – 14.	El descubrimiento del manuscrito químico más antiguo. El papiro de Leiden	57
2 – 15.	Comparación entre los papiros de Leiden y Estocolmo	61
2 – 16.	La Alquimia en Alejandría	64
2 – 17.	Los alquimistas místicos	65
2 – 18.	El destino de la Universidad de Alejandría	65
2 – 19.	Alejandría en tiempo de los musulmanes	66
2 – 20.	Los primeros escritores alquímicos de Alejandría	66
	Bibliografía	67
	 Capítulo III — Alquimia en la Antigua China	 69
3 – 1.	Los orígenes de la Alquimia china	69
3 – 2.	El fundamento de la Alquimia china	70
3 – 3.	La filosofía de los opuestos	72
	Bibliografía	73
	 Capítulo IV — La Alquimia en la India	 75
4 – 1.	Ideas alquímicas en la India	75
4 – 2.	La teoría atómica en la India antigua	79
4 – 3.	Química en el Charaka y en el Susruta	82
4 – 4.	La Química en el Manuscrito Bower	84
4 – 5.	La Química en el Vagbhata	84
4 – 6.	La química en el período transicional	85
4 – 7.	La Química en el Chakrapani	85
4 – 8.	La Química en el período tántrico	86
4 – 9.	Química en el período iatroquímico	87
	Bibliografía	91
	 Capítulo V — La Alquimia islámica	 93
5 – 1.	Mahoma	93
5 – 2.	La expansión árabe y la espada de Damasco	96
5 – 3.	Los principales exponentes de la alquimia islámica	98
5 – 3.1.	Khalid ibn Yazid	98
5 – 3.2.	Jabir ibn Hayyan (Geber)	99
5 – 4.	La Turba Philosophorum	102
5 – 5.	Razi (Rhazes)	103
5 – 6.	Abu Alí ibn Sina (Avicena)	105
5 – 7.	Sobre fraudes alquímicos	106
5 – 8.	La Tabla esmeralda	107
5 – 9.	Maslamah ibn Ahmad	108
5 – 10.	Muhammad ibn Umail al Tamini	110
	Bibliografía	111
	 Capítulo VI — La Alquimia en la Edad Media	 113
6 – 1.	Introducción	113
6 – 2.	Roger Bacon	113
6 – 3.	Albertus Magnus	121
6 – 4.	Tomás de Aquino	130
6 – 5.	Arnaldo de Villanova	134
6 – 6.	Ramón Llull	139
	ANEXO 1 . Traducción de parte de la obra de Alberto Magno	142

	ANEXO 2. Traducción de parte de la obra de Santo Tomás de Aquino: Tratado de la Piedra Filosofal	151
	ANEXO 3. Traducción de parte de la obra de Santo Tomás de Aquino: Tratado de Alquimia.	163
	Anexo 4. Traducción de un escrito de Arnaldo de Villanova: <i>Semita semitæ</i>	169
	Bibliografía	174
	 Capítulo VII — La Iatroquímica	175
7 – 1.	Paracelso	175
7 – 2.	La contribución a la Química de van Helmont	178
7 – 3.	Sylvius y la Escuela Iatroquímica de Medicina	181
7 – 4.	Agrícola entre la Medicina y la Metalurgia	182
7 – 5.	Basilius Valentinus, Medicina y antimonio	183
	Bibliografía	185
	 Capítulo VIII — El atomismo en el siglo XVIII	187
8 – 1.	Introducción	187
8 – 2.	El resurgimiento del atomismo	187
8 – 3.	Pierre Gassendi	191
8 – 4.	La concepción plenista de Des Cartes	192
8 – 5.	El empirismo en Inglaterra	192
8 – 6.	Robert Boyle	193
8 – 7.	El corpuscularismo de Boyle	196
8 – 8.	El mecanicismo de Boyle	198
8 – 9.	El escepticismo de Boyle y su supuesta definición de elemento	199
8 – 10.	Del escepticismo de Boyle a la definición de elemento de Lavoisier	203
	Bibliografía	204
	 Capítulo IX — La Teoría del flogisto y la Revolución química	205
9 – 1.	Introducción	205
9 – 2.	Johann Joachim Becher	206
9 – 3.	Georg Ernest Stahl y la Teoría del Flogisto	207
9 – 4.	La Teoría del Flogisto como ciencia normal	210
9 – 5.	Enigmas y anomalías en la teoría del flogisto	211
9 – 6.	Crisis y revolución en marcha	212
9 – 7.	Teoría del calórico	216
9 – 8.	¿El calórico es lo mismo que el flogisto?	216
9 – 9.	La composición del agua	217
9 – 10.	Kirwan y la resistencia a abandonar la teoría del flogisto	222
9 – 11.	El triunfo de la revolución	223
	Bibliografía	223
	 Capítulo X — La Química cuantitativa	225
10 – 1.	Introducción	225
10 – 2.	La Química cuantitativa	226
10 – 3.	Proporciones constantes	226
10 – 4.	Proporciones múltiples	228
10 – 5.	Equivalentes	230
	Bibliografía	232
	 Capítulo XI — John Dalton y la Teoría Atómica	233

11 – 1.	John Dalton	233
11 – 2.	Los postulados de la Teoría Atómica de Dalton	236
11 – 3.	El postulado de las proporciones numéricas sencillas	238
11 – 4.	Justificación de las leyes empíricas	239
11 – 5.	Leyes de la combinación en volumen	240
11 – 6.	Dificultades en la teoría atómica	241
11 – 7.	La hipótesis de Avogadro	243
11 – 8.	¿Cómo llegó Dalton a enunciar su teoría?	245
	Bibliografía	246
	Capítulo XII — Los albores de la Teoría electroquímica	247
12 – 1.	Introducción	247
12 – 2.	Humphry Davy	247
12 – 3.	Davy y la electroquímica	249
12 – 4.	El descubrimiento del cloro	251
12 – 5.	Las contribuciones de Gay – Lussac y Thenard a la electroquímica	253
12 – 6.	Jöns Jacob Berzelius	255
12 – 7.	La teoría dualista de la materia	256
12 – 8.	Pesos atómicos y fórmulas de las sustancias	258
12 – 9.	Michael Faraday	261
12 – 10.	Las leyes de la electrólisis de Faraday	262
	Bibliografía	264
	Capítulo XIII — Los comienzos de la Química Orgánica	265
13 – 1.	Las dificultades en obtener sustancias orgánicas puras	265
13 – 2.	La primitiva teoría de los radicales	266
13 – 3.	La teoría dualista de Berzelius para los compuestos orgánicos	269
13 – 4.	La contribución de Chevreul	271
13 – 5.	Las contribuciones de Gay Lussac y Thenard	272
13 – 6.	Los trabajos de Dumas	274
13 – 7.	La teoría del radical “eterino”	275
13 – 8.	Liebig y el análisis orgánico	276
13 – 9.	La contribución de Wöhler	277
13 – 10.	El radical benzoilo	277
13 – 11.	El radical etilo	279
13 – 12.	El radical metilo	279
13 – 13.	Robert Bunsen	280
13 – 14.	El radical cacodilo	281
	Bibliografía	282
	Capítulo XIV — La Teoría de la sustitución	283
14 – 1.	La teoría de sustitución de Dumas	283
14 – 2.	Graham y los ácidos fosfóricos	285
14 – 3.	Auguste Laurent	286
14 – 4.	Teoría de los tipos de Dumas	287
14 – 5.	Teoría de los residuos de Gerhardt	287
14 – 6.	Fórmulas de Gerhardt de los dos volúmenes y pesos atómicos	288
14 – 7.	Stanislao Cannizzaro	289
14 – 8.	Teoría unitaria de Gerhardt	291
14 – 9.	August von Hofmann	291
14 – 10.	El tipo amoníaco	292
14 – 11.	El tipo agua	293

14 – 12.	Alexander W. Williamson	293
14 – 13.	Teoría de los tipos de Gerhardt	296
	Bibliografía	297
	Capítulo XV — Teoría de la valencia	299
15 – 1.	Equivalente químico	299
15 – 2.	Antecedentes	299
15 – 3.	La escala de equivalentes de Wollaston	301
15 – 4.	La ley de la atomicidad de Frankland	302
15 – 5.	Las fórmulas de Odling	303
15 – 6.	Kekulé y Scott Couper: la tetravalencia del carbono	303
15 – 7.	Las “atomicidades” de los elementos según Cannizzaro	304
15 – 8.	Las valencias de los elementos según von Hofmann	305
15 – 9.	Las opiniones de Lothar Meyer sobre la valencia	306
	Bibliografía	308
	Capítulo XVI — Clasificación Periódica de los elementos	309
16 – 1.	Introducción	309
16 – 2.	Clasificación de las sustancias simples. Primeros intentos	309
16 – 3.	Las tríadas de Döbereiner	310
16 – 4.	Las “tríadas” de Gmelin	310
16 – 5.	El caracol telurico de Chancourtois	311
16 – 6.	La ley de las octavas de Newlands	312
16 – 7.	Los trabajos de Mendelejeff y Meyer	313
16 – 8.	La tabla corta	315
16 – 9.	La Tabla extendida	317
16 – 10.	Tabla Periódica y propiedades	317
16 – 11.	Inconvenientes en la Clasificación Periódica	321
	Bibliografía	321
	Capítulo XVII— La Química estructural	323
17 – 1.	Introducción	323
17 – 2.	La contribución de Kekulé al desarrollo de la Química Orgánica	323
17 – 3.	La tetravalencia del carbono	325
17 – 4.	La fórmula estructural del benceno	328
17 – 5.	Los trabajos de Pasteur sobre isomería óptica	333
17 – 6.	Los trabajos de van't Hoff y Le Bel sobre la estructura tetraédrica del carbono	334
	Bibliografía	336
	Sobre las relaciones que existen entre las fórmulas atómicas de los cuerpos orgánicos y el poder rotatorio de sus soluciones, por J. A. Le Bel.	337
	Capítulo XVIII — Los inicios de la Fisicoquímica.	345
18 – 1.	Gibbs, de la Termodinámica a la Fisicoquímica	345
18 – 2.	La “ley de las masas activas”	348
18 – 3.	La pseudo constante de equilibrio	352
18 – 4.	La ecuación de van't Hoff	352
18 – 5.	La contribución de Le Châtelier	353
18 – 6.	La ley del desplazamiento del equilibrio químico	355
18 – 7.	La fisicoquímica de las soluciones	358
18 – 8.	La contribución de Arrhenius	359
18 – 9.	Investigaciones sobre las propiedades coligativas de las soluciones	361

18 – 10.	Soluciones de electrolitos	365
18 – 11.	Los trabajos de Ostwald	367
18 – 12.	El teorema de Nernst	368
18 – 13.	El Tercer Principio de la Termodinámica	370
	Bibliografía	372

# ***I CIENCIA GRIEGA***

## **1 – 1. Introducción**

En la bibliografía científica, es bastante común considerar a la ciencia que se desarrolló durante la Antigüedad en el Cercano Oriente, Norte de África y Europa como ciencia griega. La mayoría de los autores concuerdan que el desarrollo de esta actividad comenzó con Tales de Mileto que vivió, aproximadamente, entre el 625 y el 546 a.C. Si bien muchos documentos referidos a las actividades científicas efectuadas en ese período se conocen desde hace siglos, recién en el siglo XIX se descubrieron los jeroglíficos egipcios y la escritura cuneiforme mesopotámica. De esta manera se pudo completar gran parte del conocimiento acerca de los logros científicos en Medio Oriente y Egipto. En el siglo XX fue fundamentalmente la obra de Otto Neugebauer<sup>1</sup> la que extendió este concepto de “ciencia antigua” a la matemática y astronomía tanto egipcia como babilónica. En cuanto a la ciencia china, el principal exponente fue Joseph Needham<sup>2</sup>.

Sin embargo, incluso luego de los trabajos de Neugebauer y Needham se mantuvo la tradición de asociar los orígenes de la ciencia a los filósofos presocráticos dejando de lado sus orígenes orientales.

## **1 – 2. El estudio de las culturas de la ciencia antigua**

El estudio de la evolución de la Ciencia durante la Antigüedad presupone la adopción de una posición que evite una discusión epistemológica sobre la “inconmensurabilidad” de las concepciones científicas. Si bien este concepto es importante para la discusión sobre el carácter no lineal del progreso científico, su utilización en sentido demasiado amplio llevaría a pensar que es imposible comprender el desarrollo de la ciencia del pasado a partir de nuestras teorías científicas del presente. Por otra parte, suponer que la ciencia ha experimentado un crecimiento lineal bajo criterios históricos objetivos, llevaría a pensar que es posible hacer predicciones sobre la evolución futuro de la Ciencia sobre la base del conocimiento del pasado. La tendencia contemporánea admite que el progreso es una característica no lineal de la ciencia y que se debe analizar el registro de los hechos históricos, tal como se ha dado a lo largo del tiempo. Es decir, se debe estudiar cómo el ser humano

---

<sup>1</sup> Otto Neugebauer. (1899 -1990) fue un matemático y astrónomo austríaco que hizo profundas investigaciones sobre historia de la Ciencia, en particular sobre la Matemática babilónica y la Astronomía antiguas. Es recomendable la lectura de su libro *The Exact Sciences in Antiquity*.

<sup>2</sup> Joseph Terence Montgomery Needham, (1900-1995). Fue un bioquímico británico, considerado el más prominente historiador de la Ciencia y la Tecnología de China. Fue el autor de una obra enciclopédica cuyo título es *Science and Civilization in China*.

ha hecho Ciencia en el transcurso del tiempo, teniendo en cuenta los métodos, las formas disponibles en cada época y región, así como los intereses dominantes y los factores económicos, sociales, políticos y religiosos condicionantes.

### 1 – 3. La aparición de la escritura

La aparición de la escritura implicó un enorme cambio cultural. El desarrollo de la escritura se dio en varias etapas. La primera es la de los pictogramas, donde el signo escrito representaba en sí mismo al objeto.



Figura 1.1. Ejemplo de pictograma

Luego —alrededor del año 3000 a.C.—, aparecieron los sistemas de signos (logogramas), como en los jeroglíficos egipcios. En ellos, la palabra no sólo representaba al objeto, sino que se asociaba a ciertos sonidos y sílabas. Los jeroglíficos egipcios son ejemplos característicos de los logogramas.



Figura 1.2. Ejemplo de logograma

Tuvieron que transcurrir 1500 años para el surgimiento de sistemas silábicos completos; es decir, aquellos en que se descartan los signos no silábicos. Esto hizo posible que se pudiese escribir todo lo que se podía decir oralmente.

ESCRITURA MINOICA (LINEAL A) Y CHIPRIOTA

M. m.	M. m.	M. m.	M. m.	M. m.
)( <sup>o</sup> a	†† e	×× i	≡ o	→ u
△△ ja	žž <sup>o</sup> je	)( <sup>o</sup> ji		
†† ka	×× ke	ψψ ki	∩∩ ko	×× ku
)( ksa	†† kse			
∨∨ <sup>o</sup> la	×× le	≤ li	++ lo	∩ lu
)( <sup>o</sup> ma	× me	∩∩ mi	⊕⊕ mo	)( <sup>o</sup> mu
†† na	†† ne	ž ž ni	†† no	)  nu
†† pa	∩∩ pe	ψ ψ pi	∩∩ po	ψ ψ pu
†† ra	∩∩ re	→ ri	∩∩ ro	)( <sup>o</sup> ru
∩∩ sa	∩∩ se	†† si	≡≡ so	)( <sup>o</sup> su
†† ta	∩∩ te	↑↑ ti	∩∩ to	∩∩ tu
)( wa	∩∩ we		†† wo	
)( za	)( ze		∩∩ zo	

Figura 1.3. Sistema silábico chipriota (900 – 800 a.C.)

Finalmente, se llegó a la escritura alfabética, en la cual hay un signo para cada sonido (tanto vocal como consonante) y que apareció en Grecia alrededor del año 800 a.C.



Figura 1.4. Escritura alfabética. (Odisea de Homero, probablemente siglo VII a.C.)

La función principal de la escritura fue la de fijar el contenido teórico de la tradición oral de cada pueblo, mediante la cual se transmitían los valores, las instituciones, las concepciones del mundo, del hombre y del más allá, y las reglas para la vida en comunidad. En el mundo griego antiguo, esa fue la función de *La Ilíada* y *La Odisea* de Homero (s. IX - s. VIII a. C.), que en conjunto constan de 15.000 versos. Luego, Hesíodo (s. VIII – s. VII a. C.) escribió *Los trabajos y los días* y *La Teogonía*. En esta segunda obra se realiza una genealogía de los dioses olímpicos.

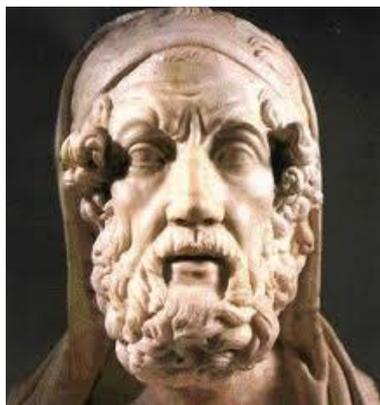


Figura 1.5. Homero



Figura 1.6. Modelo que reconstruye la visión del mundo a partir de Homero

Las obras de Hesíodo se consideran fundadoras de la poesía didáctica y moralista que rivalizaba con los valores heroicos y militares de la poesía de Homero.

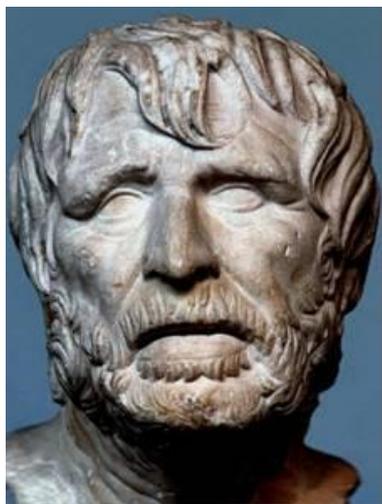


Figura 1.7. Hesíodo

Las diferencias entre ambos son representativas también de las diferencias culturales que se fueron produciendo entre el siglo VIII y el VII a. C. Tales diferencias se ponen en evidencia en el uso de tres términos griegos fundamentales:

*Dike*: en la mitología griega Dike, — hija de Zeus — representa a la justicia. Ella permitía la concordia entre nobles y campesinos. De modo general el término fue utilizado como “lo que debe

esperarse en el curso normal de los acontecimientos” o “lo que se espera de un hombre en circunstancias normales”, con lo que justo será “quien se ocupa de sus propios asuntos”.

*Areté*: ese término se refiere a virtud, excelencia o perfección. Mientras que en el texto de Homero la *areté* representa la excelencia, perfección o virtuosismo de las destrezas aristocráticas tradicionales (vinculadas a la destreza militar), en la concepción de Hesíodo se refieren al esfuerzo, la constancia y el trabajo. Además, es un término siempre relativo, incompleto si está solo: *areté* es “lo que es bueno para alguien o algo”. Por este motivo puede haber *areté* tanto de soldados, como de atletas o de músicos.

*Theos*: “dios”, entendido como aquello que por su fuerza supera a la persona y que la persona no puede dominar. *Theos* no se refería a la postulación de un Dios al que se atribuían todas las perfecciones, sino que mediante tal término se hacía referencia a todo lo que estaba fuera del control humano y que al hombre le provocaba asombro. A diferencia de la concepción judeo-cristiana, no se diría, por ejemplo, que Dios es bueno o que Dios es amor, sino que la amistad y el amor son dioses. En ese mismo sentido, la guerra, los cataclismos, etc., eran *Theos*.

Al extraer el contenido *teórico* de la poesía épica y didáctica griega, pueden señalarse las siguientes características:

Se personalizan o individualizan las causas de los hechos. En el acontecer natural hay siempre una intencionalidad.

La concepción del tiempo varía según la memoria colectiva. En algunos casos se interpreta que el tiempo transcurre en forma circular<sup>3</sup>.

Pero para el surgimiento de la filosofía natural griega, la escritura representa algo de mayor importancia que su contenido teórico. Una vez que la tradición oral quedaba fijada en el leguaje escrito surgió la posibilidad de comparar y criticar, de dudar y desconfiar y de esta manera comenzar a abandonar las explicaciones míticas. En la medida en que tales explicaciones fueron abandonadas se hizo necesario su reemplazo por nuevas concepciones sobre la naturaleza, los dioses y el hombre.

#### **1 – 4. Mito y filosofía.**

Se atribuye a Jenófanes de Colofón (ca. 570 - ¿?) el haber expresado una de las primeras críticas claras a la religión tradicional y a las formas sociales basadas en el mito. Expulsado por los medos en el año 546, peregrinó durante muchos años como recitador de poemas homéricos y cantor ambulante hasta establecerse en la ciudad de Elea, al sur de Italia. Quizá por la propia independencia de su vida y su conocimiento de diversas costumbres y creencias formuló sus primeras críticas frente al dogmatismo mítico:

“Los etíopes sostienen que sus dioses son chatos y negros y los tracios que tienen azules los ojos y son rubios como ellos” (DK 21B16)<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Concepción circular del tiempo que posteriormente sería analizada por Aristóteles al considerar que si el tiempo no tiene inicio ni fin, transcurre circularmente. (no contempló la posibilidad de que al cabo de un cierto número de años, Sócrates volvería a nacer).

<sup>4</sup> De los trabajos de los presocráticos sólo quedan citas en escritos de autores posteriores. Estas citas fueron compiladas por Hermann Diels (1848-1922) en *Die Fragmente der Vorsokratiker* con revisiones de Walther Kranz y sucesivos editores que se ha vuelto un estándar en filosofía presocrática en la que cada cita tiene un número *DK*.

“Pero es que si los bueyes, caballos y leones pudieran tener manos y pintar con ellas como los hombres, los caballos pintarían a sus dioses como caballos y como a bueyes los bueyes” (DK 21B15).

También se nota en Jenófanes que privilegiaba la racionalidad, la claridad y la comunicación intelectual por sobre la habilidad manual y destreza física. A ello se debe, tal vez, su crítica a los juegos deportivos, en los que veía la exaltación, sin sentido, del apasionamiento:

“Pues más valiosa que la fuerza de los hombres y corceles es nuestra sabiduría. [...] Pues si se contara entre los ciudadanos un buen púgil o uno excelente para competir en el pentatlón no por ello estaría la ciudad en mayor orden [...] ni se llenan con tales cosas sus graneros” (DK 21B2).

Jenófanes abordó también otras cuestiones filosóficas que luego fueron desarrolladas por otros filósofos de Elea:

“Jenófanes fue el primero que afirmó la unidad de todo y se dice que Parménides fue su discípulo” (DK 21A30).

Esa idea de unidad parece asomar en uno de sus propios fragmentos:

“De la tierra nacen todas las cosas y en la tierra terminan todas”. “Porfirio dice que Jenófanes consideraba como principios lo seco y lo húmedo, es decir, tierra y agua, y menciona un pasaje que muestra esto: tierra y agua son todas las cosas que nacen y crecen” (DK 21A29).

Este pensamiento, al parecer, unido a su crítica teológica, le aproximaba a una forma de panteísmo que Aristóteles le atribuyó:

“Jenófanes, con la vista puesta en el universo entero dijo que lo uno es la divinidad” (*Metafísica*, I, 986 b21).

Pero esa unidad, que para Jenófanes está llena de inteligencia y orden y que se manifiesta en la naturaleza, deja abierta a los hombres la esperanza de poco a poco ir entendiéndola y conociéndola:

“A los mortales, los dioses no les enseñaron todo desde el principio, sino que ellos, en su búsqueda a través del tiempo, van encontrando lo mejor.” (DK B18).

## 1 – 5. Características de de la cosmología antigua

Tanto Homero como Hesíodo concebían a la Tierra como un disco plano. Esta concepción, si bien no está plasmada con muchas palabras, se deduce de sus escritos. Alrededor de este disco plano, en el horizonte, corre el río Oceanus, rodeando a la Tierra y que fluye de nuevo sobre sí mismo (*ὠκεανός*). Todas las aguas del planeta surgen del Oceanus y pasan a través de canales subterráneos surgiendo como manantiales y fuentes de otros ríos. Sobre el disco de la Tierra se encuentra la bóveda del cielo, como una especie de cúpula semiesférica que cubre exactamente al planeta. Por debajo de la tierra se encuentra el Tártaro, cubierto por la Tierra y formando una especie de bóveda simétrica con el cielo; De los textos, se infiere que el Hades está por debajo de la superficie de la Tierra a una distancia hacia abajo igual a la altura del cielo. Las dimensiones del cielo y de la Tierra, sólo se indican indirectamente. Hefesto, arrojado del Olimpo, cayó durante todo el día hasta la puesta del Sol. Según Hesíodo, un yunque de hierro tomaría nueve días para caer del cielo a la Tie-

rra, y de nuevo nueve días para bajar desde la tierra al Tártaro. La bóveda del cielo permanece siempre en la misma posición, inmóvil; el Sol, la Luna y las estrellas se mueven alrededor del cielo, levantándose de Oceanus en el este y sumergiéndose otra vez en el oeste. No informan que sucede con los cuerpos celestes entre la aurora y el crepúsculo, No podrían pasar girando por debajo de la Tierra, porque el Tártaro nunca está iluminado por el Sol. Se supone que, posiblemente, deben flotar alrededor de Oceanus yendo por el Norte hacia los puntos en los que se levantan en el Este, pero sólo escritores posteriores representaron a Helios como llevado de vuelta sobre el agua, dormido y en una cama de oro, o en un cuenco de oro<sup>5</sup>.

Las ideas cosmológicas, relatadas de manera vaga por Homero y por Hesíodo, influyeron en el comportamiento humano de la época, a la vez que les permitieron establecer un criterio uniforme sobre las horas del día, las estaciones y aún las latitudes a las que se encontraban sus ciudades.<sup>6</sup>

### 1 – 6. Los filósofos milesios y el problema de la realidad última.

Las críticas e ironías de Jenófanes contra el mito son indicadoras de su obsesión por la racionalidad y el rechazo a la contradicción. Esto quedó expresado cuando dijo:

“Los dioses hacen leyes que ellos mismo violan” (DK 21B7).

Este rechazo manifiesto a la contradicción se convirtió en una de las características distintivas del pensamiento filosófico antiguo y, a partir de ese pensamiento, de toda la cultura occidental. Esto no significa que el mito careciera de cierta racionalidad, sino que el *tipo de explicación* que se utilizó para describir el mundo excluía la explicación mítica. En las concepciones filosóficas griegas, la regularidad en la producción de ciertos fenómenos naturales no era el producto del capricho arbitrario de los dioses.

Cuando los cambios en la naturaleza dejaron de adjudicarse a la intención de tal o cual dios, la búsqueda de la explicación de su ocurrencia comenzó a ser una forma rudimentaria de *método científico*. Las explicaciones *naturales* propuestas debían hacer referencia a aspectos constantes de la naturaleza y de sus procesos de transformación. Por eso, a los primeros filósofos del mundo griego se los llamó *filósofos de la physis* o *filósofos de la naturaleza*. Tales filósofos surgieron en Jonia, en particular en la ciudad de Mileto, por eso se los conoce también como filósofos jónicos o la escuela milesia.

El rechazo de las explicaciones de base mítica obligó a buscar nuevas explicaciones que cumplieren con el deseo de evitar las contradicciones. Para ello, los filósofos milesios comenzaron por formularse la pregunta más general de todas: *¿Qué es la naturaleza?* Dejando de lado sus creencias primitivas, trataron de encontrar la respuesta mediante la observación y la reflexión.

<sup>5</sup> Athenaeus, Deipnosoph. xi. 38 – 9.

<sup>6</sup> Hesíodo fue mucho más explícito que Homero en la relación entre los fenómenos celestes, los tiempos y las estaciones del año. Por ejemplo, marcó el momento de la siembra en el comienzo del invierno por el ajuste de las Pléyades a principios del crepúsculo, estableció el tiempo óptimo para la cosecha con el levantamiento temprano de las Pléyades — el 19 de mayo en el calendario juliano — marcó el tiempo de trilla a principios del levantamiento de Orión (9 de julio en el calendario juliano), pudo establecer con buena aproximación los solsticios de verano e invierno, la fecha del inicio de la primavera, etc. En la parte final de “Los trabajos y los días” estimó el período lunar en 30 días y dividió al mes en tres partes de 10 días cada una. La diferencia horaria en que se registra el solsticio de verano en dos localidades, permite establecer las diferencias relativc

Obviamente, la complejidad de los fenómenos naturales obligó a modificar la pregunta y a inquirir más bien por los *orígenes* de la naturaleza y por cuáles son los *elementos fundamentales* a partir de los cuales se origina.

Al respecto, Aristóteles señaló:

“Los primeros filósofos creyeron que los principios de la naturaleza de la materia fueron los principios de todas las cosas, aquello de lo que todas están hechas” (*Metafísica*, 943 b).

Un poco más adelante, Aristóteles señaló:

“Los primeros filósofos creyeron que los principios de la naturaleza de la materia fueron los principios de todas las cosas, aquello de lo que todas están hechas” (*Metafísica*, 943 b).



Figura 1.8. Imágenes de las ruinas de Mileto.

Pero términos tales como “materia” y “elemento” fueron introducidos en el siglo IV a. C., lo que hace dudar que fueron efectivamente utilizados por los milesios en el siglo VI a. C. Por este motivo a veces se piensa que la pregunta de los primeros filósofos puede haberse referido al *orden de surgimiento* de los elementos naturales, más que al *elemento último* a partir de lo cual todo está constituido.

Los tres grandes representantes de la filosofía jónica en su primer período son:

### 1 – 6.1. Tales de Mileto (625? – 546? a.C.)

Para Tales, en vez del “vacío abismal” de Hesíodo, lo primero debe haber sido una sustancia común: *el agua*. La mera observación de la “creación” de insectos en el agua podría haber dado fundamento a esa hipótesis.

Esta idea del agua como sustancia común de la cual surgen todas las entidades individuales, se asocia con la idea de que el origen material de todas las cosas es el mismo y al cual todas las cosas retornan.



Figura 1.9. Tales de Mileto

La sustancia material persiste, pero cambian sus cualidades: lo *húmedo*, lo *seco*, lo *frío* y lo *caliente*.

Dado que la sustancia fundamental en sí misma no cambia, sólo hay transformación y no cambio en un *sentido absoluto*.

El agua sería el elemento primordial cuyas transformaciones van más allá de lo que el hombre puede dominar. Las transformaciones del agua — las lluvias, las corrientes fluviales, las olas, etc., — convencieron a Tales que el agua es *theos*. De allí que haya afirmado “Todo está lleno de dioses”. Sin embargo, a diferencia del pensamiento mítico, si bien el agua es *theos*, su comportamiento no obedece a caprichos divinos, sino que responde a ciertas *regularidades*.

En la concepción de Tales, el universo es concebido como un universo *vivo* y la Tierra como un disco chato que flota sobre el agua.

## 1 – 6.2. Anaximandro de Mileto

Presumiblemente, Anaximandro fue discípulo de Tales. Elaboró aún más la idea de que las cosas se resuelven en lo mismo de lo cual provienen reparando las injusticias según el orden del tiempo. Dado que las cosas adquieren sus características propias y sus límites a lo largo del tiempo, aquello de lo cual todo se origina no puede tener límite o característica alguna. Dicho de otra manera, aquello a partir de lo cual todo se origina carece de las características de cualquiera de las cosas individuales que de allí surgen, pero es al mismo tiempo el fundamento común para todas. A este fundamento común carente de características específicas Anaximandro lo llamó *Apeiron*: lo ilimitado (e infinito en tanto toda finitud implica límite).

Desde el punto de vista epistemológico, se podría considerar al *apeirón* como un *término teórico* (no observacional).

En el *apeirón* se encuentran entremezclados lo caliente, lo frío, lo húmedo y lo seco y, al separarse, dan lugar al fuego, al aire, al agua y a la tierra lo cuales, a su vez, generan la naturaleza.



Figura 1.10. Anaximandro de Mileto (c. 611 – c. 542 a. C.)

Anaximandro desarrolló el primer modelo astronómico mecánico conocido. Los cuerpos celestes fueron concebidos como anillos fuego o, más precisamente, de porciones de aire comprimido rellenas de fuego. Tal presión del aire hace que los anillos expulsen llamaradas. De los anillos sólo se observan porciones porque están rodeados por una capa de niebla que los oculta, aunque no de modo completo.

Los eclipses también se explican como el *cierre* de uno de tales orificios por esa niebla. Esta “explicación” es de carácter *mecánico*.

Hay tres anillos: Sol, Luna y estrellas fijas con diámetros de veintisiete, dieciocho y nueve veces el de la tierra. Las estrellas fijas están suspendidas por debajo del Sol y de la Luna, y el Sol es el más distante de los cuerpos celestes.

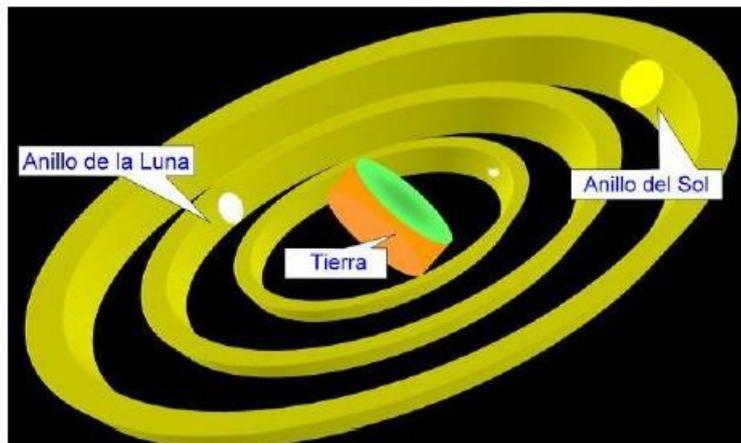


Figura 1.11. Esquema del modelo de Universo de Anaximandro

La tierra es un cilindro aplanado con un ancho tres veces mayor al de su altura. Como la cosmología es *esférica* y la Tierra está en el centro de los anillos, — equidistante de todos los puntos exteriores de la esfera — se concluye que no es necesario preguntarse sobre qué está *apoyada*. Dado que en una esfera todo cae hacia el centro, el centro es el *fondo* y el punto de mayor apoyo. De esta manera se asocia el *geocentrismo* con el *geostaticismo*. Mover la tierra implicaría alejarla del centro y, por ende, de su punto de apoyo.

Anaximandro esbozó una teoría sobre el origen de la vida. Según esta teoría, los seres vivos surgieron a partir de lo húmedo por la acción del Sol (aquí tomó en cuenta su observación acerca del surgimiento de seres vivos en el agua estancada). La generación es espontánea. Dada la invalidez inicial del ser humano, de ello se concluye que debe haber nacido de otra especie (aparentemente cierto tipo de pez).

### 1. – 6.3. Anaxímenes de Mileto

Elaboró una teoría sobre el origen de la materia menos abstracta que la de Anaximandro: sus afirmaciones se relacionan con procesos observables en la naturaleza.

Consideró al *aire* como elemento fundamental (*anterior* al agua). El aire es al mismo tiempo *a*) un principio infinito de los cuerpos simples y *b*) un principio vivo y dinámico (*pneuma*) que se opone a la pasividad de la materia.

Anaxímenes desarrolló ideas más elaboradas de los mecanismos mediante los cuales las entidades adquieren sus características individuales. Además de observar el carácter fundamental del aire para todos los seres vivos, observó también que las plantas transpiran. Los mecanismos serían concebidos como *condensación* y *rarifacción*.

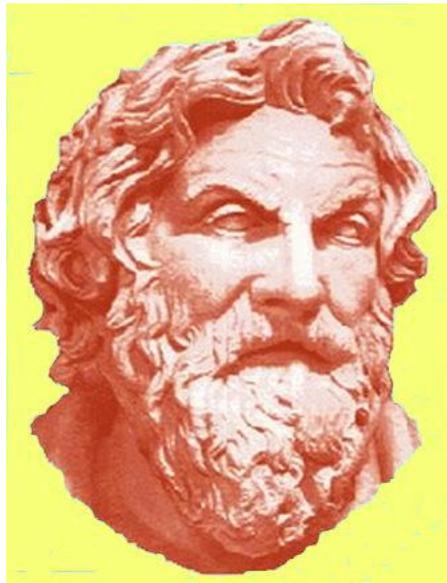


Figura 1.12. Anaxímenes de Mileto (588 a.C. – 524 a. C.)

De la escuela milesia puede decirse de modo general que contribuyeron a la tradición de escritura en prosa, justamente porque reaccionaron contra los cantos homéricos que utilizaban la rima para asegurar la transmisión fiel dentro de la cultura oral.

La sustancia última del mundo la consideraron como la sustancia misma de la vida, contribuyendo con ello a la imagen del universo como un *ser viviente*. Tal vez por este mismo motivo, ninguno de ellos hizo de la tierra el elemento fundamental (a pesar de su solidez), sino que la tierra fue concebida como condensación de elementos más *etéreos* y cambiantes.

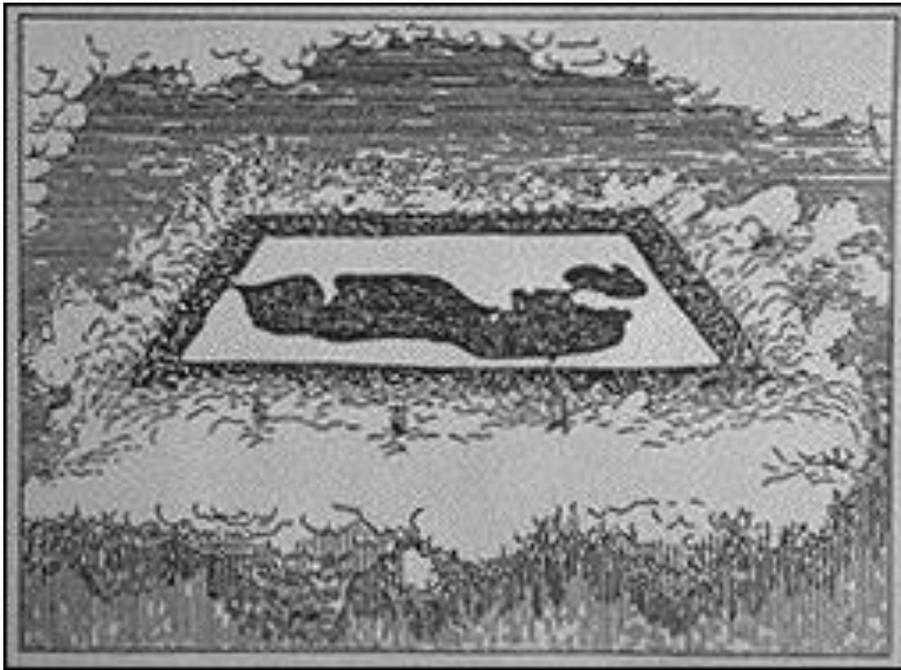


Figura 1.1.13. Mundo flotando en el aire según Anaxímenes

### 1 – 7. Pitágoras de Samos

Si bien hay quienes a partir del hecho de que tanto la vida como las doctrinas de Pitágoras están cubiertas de un espeso velo legendario, llegan a dudar incluso de su existencia, se admite en general que nació en la isla de Samos y que fue discípulo de Anaximandro y Anaxímenes. Tales doctrinas fueron ampliadas a partir de haber viajado a Egipto y entrado en contacto con las doctrinas sacerdotales. Se dice que fundó en Crotona — al sur de Italia — una comunidad de índole político religiosa que terminó despertado hostilidades que lo obligaron a huir y establecerse en Metaponto.

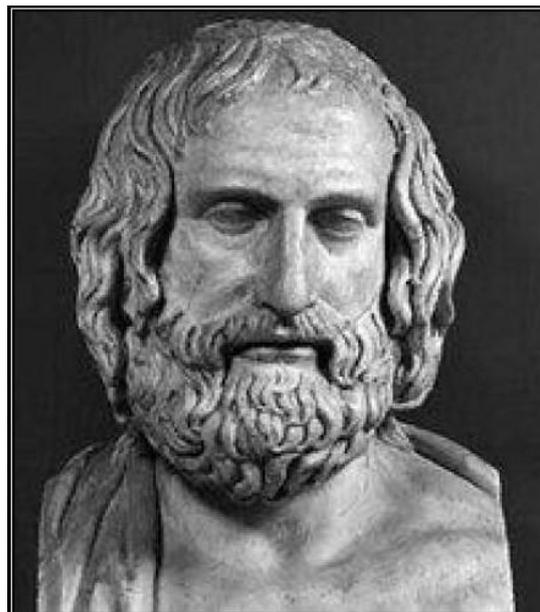


Figura. 1.14. Pitágoras de Samos (c. 582- c. 500 a.C.)

De la observación de la relación existente entre la altura de los sonidos y las longitudes de las cuerdas de la lira dedujo la proporcionalidad numérica que rige la armonía tonal: 4, 6, 8, 9, 12, 16.

Al comienzo, esta idea de armonía se aplicó sólo a la octava o a una escala musical, y luego se la extendió a todas las esferas de la realidad. De su aplicación al cuerpo humano resultaba un concepto de “salud” como el *restablecimiento de la armonía*. En medicina, lo caliente y lo frío, lo húmedo y lo seco serían considerados como *opuestos armónicos*. La *armonía* fue considerada el “catecismo de todas las virtudes”, y lo más bello que existe. La armonía regula el derecho a la existencia por formar parte de un todo. En este sentido, la música puede ser utilizada con el fin de purificar el alma.

Pitágoras realizó ciertos *experimentos* acústicos simples (relación de los pesos de los martillos o recipientes con diferentes niveles de agua y las diferentes notas musicales). En este punto es necesario tener en cuenta el problema de los fragmentos y relatos: muchos de los experimentos aludidos no conducen a los resultados mencionados.

Los pitagóricos aceptaron una cosmología que, en parte, se basaba en la de Anaximandro. Sugirieron que los cuerpos celestes mantenían una disposición armónica y estaban distanciados de un fuego central según intervalos que correspondían con intervalos de la octava musical. Los movimientos circulares de los cuerpos celestes producían una música armónica: la *música de las esferas*. Esta música era imperceptible para el ser humano porque al escucharla desde el nacimiento estaba incorporada a su cotidianeidad.

La armonía del Universo y de la naturaleza no sólo era musical, sino también numérica. Posteriormente, Aristóteles escribiría:

“... los llamados pitagóricos, que fueron los primeros en cultivar las Matemáticas, no sólo hicieron avanzar a éstas, sino que, nutridos de ellas, creyeron que sus principios eran los principios de todos los entes...” (*Metafísica*, A 5, 985B)

Las propiedades de los números, especialmente al combinarlos, resultaron tan sorprendentes que los pitagóricos buscaron constantemente analogías entre los números y las cosas, y llegaron a fundar una especie de mística numérica que tuvo enorme influencia en todo el mundo antiguo. Fórmulas como:  $1 + 3 + 5 + \dots + (2n - 1) = n^2$ , que muestra que los cuadrados pueden formarse como sumas de los números impares sucesivos, aparecían a los pitagóricos como maravillosas. Otras fueron, por ejemplo, la divisiones de los números: pares, impares, perfectos (iguales a la suma de sus divisores), lineales y planos.

Los números fueron considerados, además como principios. Dentro de la escuela pitagórica algunos afirmaron la existencia de 10 principios u posiciones fundamentales:

1	Limitado	Ilimitado
2	Impar	Par
3	Uno	Muchos
4	Derecho	Izquierdo
5	Masculino	Femenino
6	En reposo	En movimiento
7	Recto	Curvo
8	Luz	Oscuridad
9	Bueno	Malo
10	Cuadrado	Oblongo

La tabla tenía una significación *moral*, la primera columna representan algo *perfecto* y la segunda algo *imperfecto*. Este *dualismo* (entre lo perfecto y lo imperfecto) puede ser *superado* cuando se considera lo perfecto como algo *limitante* de toda posible imperfección. Así, por ejemplo, lo recto

es limitado mientras que lo curvo es ilimitado ya que puede tomar cualquier dirección<sup>7</sup>. Los pitagóricos consideraron que la armonía numérica rige no sólo para el mundo terrenal, sino en la relación entre el orden cósmico y el orden moral.

La cosmología pitagórica es la primera conocida que desplaza la Tierra del centro y la concibe como girando en torno a un núcleo ardiente (Hestia). Ellos no consideraban que la Tierra era lo suficientemente noble para ocupar el lugar central. En el siglo V a.C., un discípulo de Pitágoras, Filolao de Crotona postularía que, además de la Tierra girando alrededor de la Hestia, existía una anti-Tierra girando también alrededor de ese núcleo ardiente.

Tratando de solucionar uno de los tres grandes problemas de la matemática antigua, el de la *duplicación del cubo*, Pitágoras encontró la “demostración” del teorema del cuadrado de la hipotenusa<sup>8</sup>.

En la formulación antigua, el Teorema de Pitágoras se enunciaba como: “El área del cuadrado construido sobre la hipotenusa, de un triángulo rectángulo es igual a la suma de las áreas de los cuadrados construidos sobre los catetos”<sup>9</sup>.

En la formulación moderna el teorema se enuncia como: “En *todo* triángulo rectángulo, el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los catetos”

Además del desarrollo de métodos matemáticos *deductivos*, entre los pitagóricos existían algunos aspectos religiosos, el más importante era la inmortalidad del alma. El cuerpo era la prisión del alma y por su calidad material menos puro que ella.

Pitágoras sostuvo una *jerarquía* entre los hombres — que es un antecedente de la teoría platónica del alma *tripartita* — los que compran y venden (amantes de la ganancia), los que compiten (amantes del honor), los que contemplan (amantes de la sabiduría.)

El universo era concebido como una criatura viviente pero, además, como Uno, eterno e indiviso. Por el contrario, los hombres eran concebidos como Múltiples, mortales y divididos.

## 1 – 8. El problema del cambio y la solución atomista.

### 1 – 8.1. Heráclito de Éfeso

Pocas son las cosas que se saben de la vida de Heráclito. Nació en Éfeso, ciudad al norte de Mileto. Pertenecía a una familia aristocrática y, — si nos atenemos a alguno de los fragmentos que se conservan de su libro, y a los testimonios de sus contemporáneos — no se llevó muy bien con sus conciudadanos. Escribió una obra llamada “*Sobre la naturaleza*” que era un título común de libros escritos por otros filósofos anteriores. Es probable que se tratara de un conjunto de sentencias reco-

<sup>7</sup> Por supuesto, hoy generaría una gran polémica afirmar que lo masculino es perfecto y lo femenino no.

<sup>8</sup> Existen evidencias de que en otras culturas también se conocía el teorema. Por ejemplo, los hindúes explícitamente enuncian una regla equivalente a este teorema en el documento *Sulva – Sutra* que data del siglo VII AC. Por otra parte, los Babilonios aplicaban el teorema 2000 años a. C., pero tampoco se conoce de la existencia de una demostración, ya que la geometría no era para ellos una teoría formal sino un cierto tipo de aritmética aplicada, en la cual las figuras venían representadas en forma de números. A su vez, los egipcios conocían que el triángulo de lados 3, 4 y 5 es rectángulo pero no se conoce de la existencia de alguna regla que sustentase el conocimiento del teorema.

<sup>9</sup> En las escuelas se suele “demostrar” el teorema de Pitágoras, dibujando tres cuadrados cada uno de lado igual a uno de los lados del triángulo rectángulo y comparando los cuadrados de las áreas de sus superficies. En rigor, esa no es una “demostración” ya que implica que la superficie de *todo* triángulo rectángulo, cualquiera sea su área, es plana.

piladas en forma de libro, hipótesis que se apoya en el carácter enigmático y oracular de los fragmentos que hoy en día se conservan, carácter que ya en su época le valió el sobrenombre de “El oscuro”.

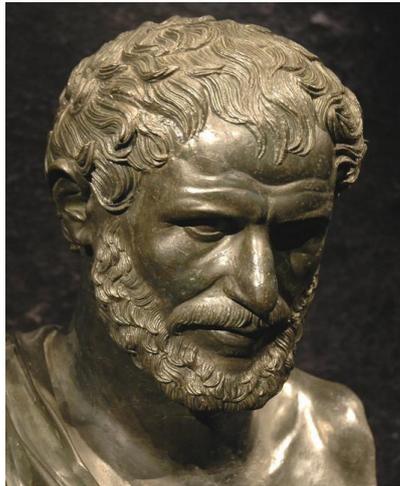


Figura 1.15. Heráclito de Éfeso (540 a.C. - 475 a.C.)

Contra la teoría de la existencia de un único elemento fundamental estable escribió:

“El fuego vive por la muerte del aire, y el aire por la del fuego; el agua vive por la muerte de la tierra y la tierra por la del agua”

Su pensamiento muestra una evolución respecto de los primeros filósofos jónicos: ya no se encasilla en el problema de la *sustancia material originaria*.

Según Teofrasto<sup>10</sup>, Heráclito sostenía que el fuego era el elemento primordial de todas las cosas (en el mismo sentido en que Tales había postulado el agua, Anaximandro el apeirón y Anaxímenes el aire). Sin embargo, el fuego proporciona una especie de símbolo del mundo en constante evolución, de metáfora del cambio constante. Esto está claramente expresado en sus dos principios centrales:

*todo nace de la lucha*

*todo está en constante flujo ... (teoría del fluir universal).*

Según Copleston<sup>11</sup>:

“Heráclito decía que el cambio sigue dos vías, una hacia abajo y hacia arriba la otra, y que en virtud de este cambio es como se hace el cosmos. El fuego, al condensarse, se humedece y comprimido se convierte en agua; el agua, al congelarse se transforma en tierra. Y a esto lo llama él la vía hacia abajo. Viceversa, la tierra se licua y de ella sale el agua, y del agua todo lo demás, pues él lo atribuye casi todo a la evaporación del mar. Y esta es la vía hacia arriba.”

Heráclito sostuvo que:

<sup>10</sup> Teofrasto de Lesbos (371 – 287 a.C) Filósofo y botánico griego, discípulo y sucesor de Aristóteles en la dirección del Liceo en el 323 a. C.

<sup>11</sup> Copleston F., (1984): *Historia de la Filosofía*, Vol. I. Ariel Filosofía. Teruel, p. 245.

“El orden del mundo nada tiene que ver ni con los dioses ni con el hombre: siempre fue, es y será así: un fuego eterno que llega a ser según ciertas proporciones y que deja de ser según ciertas proporciones”

Es importante destacar que si bien todo está en constante transformación - es decir, dejando de ser lo que es y llegando a ser lo que no es - tal transformación y cambio no es azaroso, sino que está regulado por ciertas proporciones.

De esta manera, Heráclito incorpora a la noción de ser de sus predecesores, la noción de devenir o flujo, al que consideró una realidad básica subyacente a todas las cosas, incluso a las que aparentan ser las más estables.

Heráclito fue el primero en utilizar el término *logos* en una dimensión metafísica. La palabra *logos* se interpreta como *discurso* o *razón*. En la concepción de Heráclito sería la razón superior que actúa como principio ordenador del Universo, que establece las proporciones de los cambios y que la razón humana es capaz de captar.

“Mira dentro de ti y verás el *logos* que es lo común a todas las cosas”

Ese *logos*, que el hombre busca en su interior es algo tan primigenio como el fuego lo es en el mundo exterior.

La idea de que todo cambio está regulado por proporciones subyacentes, es de origen pitagórico. En la concepción de Heráclito, el *logos* implica proporciones inmutables, de carácter matemático, que regulan todas las tensiones entre los elementos que generan el cambio.

En los cambios, el énfasis deja de estar puesto en las *características individuales* (límites, determinaciones esenciales) y pasa a estar puesto en las *características relacionales* (los límites y determinaciones de las cosas son *interdependientes* de las límites y determinaciones de las cosas con las que están relacionadas). Estas características relacionales están en constante tensión y transformación mutua.

El orden se logra cuando se *equilibran* fuerzas opuestas. El reposo es siempre aparente y surge solamente como *equilibrio dinámico*.

## 1 – 8.2. Parménides de Elea

Se dice que fue pitagórico y que abandonó dicha escuela para fundar la suya propia, — con claros elementos anti-pitagóricos — en la ciudad de Elea, al sur de Italia. Se discute si fue o no discípulo de Jenófanes de Colofón. Los argumentos de Parménides establecerían, además, una influencia de la concepción del cosmos de los primeros filósofos de Mileto, sobre todo en la concepción de la legalidad de la naturaleza y la tendencia monoteísta que subyace a la búsqueda de un elemento originario único. También habría recibido, en este caso, la idea de la cultura no como un *don de los dioses*, sino como logro del *esfuerzo inquisitivo* del hombre.

Si bien hay mucha discusión sobre si Parménides reaccionó contra afirmaciones de Heráclito o viceversa, lo cierto es que ambos responden de un modo completamente diferente la pregunta ¿qué es lo que es?

De sus escritos sólo se han conservado 160 versos, pertenecientes a 19 fragmentos de un poema didáctico, titulado *Sobre la naturaleza*.



Figura 1.16. Parménides de Elea (c. 515 – c. 440 a.C.)

En este tratado, considerado el primero sobre el ser, abogaba por la existencia del “Ser absoluto”, cuya no existencia declaraba inconcebible, pero cuya naturaleza admitía ser también inconcebible, ya que el “Ser absoluto” está disociado de toda limitación bajo la cual piensa el hombre. Sostenía que los fenómenos de la naturaleza son sólo aparentes y debidos, en esencia, al error humano; parecen existir, pero no tienen entidad real. Postulaba también que la realidad, “Ser verdadero”, no es conocida por los sentidos, sino que sólo se puede encontrar en la razón. Esta creencia le convirtió en un precursor de la Teoría de las Ideas de Platón. La teoría de Parménides de que el ser no puede originarse del no ser, y que el ser ni surge ni desaparece, fue aplicada a la materia por sus sucesores Empédocles y Demócrito, que a su vez la convirtieron en el fundamento de su explicación materialista del Universo.

Entre sus afirmaciones más famosas se cuenta: “*El ser es y el no-ser no es*”; es decir, que el ser existe y la nada no existe. El fundamento de todo es el ente inmutable, único y permanente, el ente “es”, simplemente, sin cambio ni transformación alguna.

Parménides escribió un poema filosófico en hexámetros del que se conservan la mayoría de los versos a través de Simplicio.

En dicho poema, luego de un proemio de carácter religioso, — en el que el autor realiza una serie de invocaciones para conseguir el favor de una diosa no identificada con el objeto de poder acceder al verdadero conocimiento, — Parménides expone su doctrina: la afirmación del ser y el rechazo del devenir, del cambio. El ser es uno, y la afirmación de la multiplicidad que implica el devenir, y el devenir mismo, no pasan de ser meras ilusiones.

El poema expone su doctrina a partir del reconocimiento de dos caminos para acceder al conocimiento: la vía de la *verdad* y la vía de la *opinión*. Sólo el primero de ellos es un camino transitable, siendo el segundo objeto de continuas contradicciones y apariencia de conocimiento.

Parménides escribió que la vía de la *opinión* parte de la aceptación del *no ser*, lo cual resulta inaceptable, pues el no ser no es. Y no se puede concebir cómo la nada podría ser el punto de partida de algún conocimiento. (“*Es necesario que sea lo que cabe que se diga y se conciba. Pues hay ser, pero nada, no la hay*”). Por lo demás, lo que no es, no puede ser pensado, ni siquiera “nombrado”. Ni el conocimiento, ni el lenguaje permiten referirse al no ser, ya que no se puede pensar ni nom-

brar lo que no es. (“*Y es que nunca se violará tal cosa, de forma que algo, sin ser, sea*”). Para alcanzar el conocimiento sólo nos queda pues, la vía de la verdad. Esta vía está basada en la afirmación del ser: el ser es, y en la consecuente negación del no ser: *el no ser no es*.

En esas líneas Parménides afirma la *unidad* e identidad del ser. El ser es, lo uno es. La afirmación del ser se opone al cambio, al devenir, y a la multiplicidad. Frente al devenir, al cambio de la realidad que habían afirmado los filósofos jonios y los pitagóricos, Parménides sostuvo que, si algo cambia esto supone el reconocimiento de que ahora “es” algo que “no era” antes, lo que resultaría contradictorio y, por lo tanto, inaceptable. La afirmación del cambio supone la aceptación de este paso del “ser” “al “no ser” o viceversa, pero este paso es imposible, dice Parménides, puesto que el “no ser” no es.

La nada es imposible pensarla, pues no existe, por lo tanto, no existe el vacío, argumento que más tarde sería usado contra los atomistas.

El ser al que se refiere Parménides es *material*, por lo que difícilmente él puede ser considerado el padre del idealismo. El hecho de que Platón, posteriormente, aceptando los postulados parmenídeos, identificara a ese ser con la Idea, no debe ser extrapolado históricamente hasta el punto de llegar a afirmar que Parménides interpretaba el ser como algo no material. La afirmación de que el ser es Uno, finito, parece indicar claramente su concepción material.

### 1 – 8.3. Empédocles de Agrigento

Empédocles, fue filósofo, político y poeta. Nació en la ciudad siciliana de Acraga (actual Agrigento, Sicilia) y fue discípulo de Pitágoras y Parménides y maestro del sofista Gorgias de Leontini, atribuyéndosele también la creación de la retórica. Su personalidad está envuelta en la leyenda ya que, además de filósofo, fue conocido por sus habilidades como médico y sus actividades relacionadas con la magia o con el chamanismo.

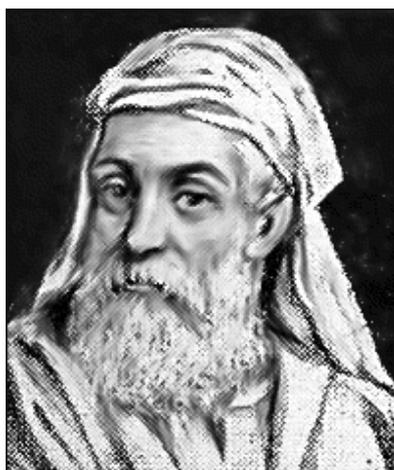


Figura 1.17. Empédocles de Acraga (c. 493 a.C.-433 a.C.)

Una de las concepciones más conocidas de Empédocles fue su “Teoría de los cuatro elementos”: Esta teoría de cuatro elementos fundamentales (agua, aire, tierra y fuego) y eternos surge como una reacción contra la negación del conocimiento sensible por parte de los eleatas (Parménides, Zenón<sup>12</sup>, Meliso<sup>13</sup>). Por otro lado va a ser adoptada por Aristóteles (384 – 322 a. C.) y va a consti-

<sup>12</sup> Zenón de Elea, (490 – 430 a.C) fue discípulo dilecto de Parménides.

<sup>13</sup> Meliso de Samos (470 a.C - ¿?) filósofo y comandante naval, fue también discípulo de Parménides.

tuir la base de su física cualitativa. A diferencia de los pensadores de la escuela milesia, no tratará de reducir la naturaleza a un elemento originario único, sino que afirma la eternidad de los cuatro elementos fundamentales. El cambio, la generación y la corrupción, no son más que la reunión o separación de tales elementos *eternos e inmutables*.



Figura 1.18. Acraga. Templo de la concordia

*“Te diré otra cosa más: no hay nacimiento para ninguna de las cosas mortales; y no hay fin para la muerte funesta; hay solamente mezcla y separación de los componentes del conjunto. Nacimiento, no es más que el nombre que le dan los hombres a ese hecho”* (fr. 8).

*“Cuando los elementos mezclados vienen a la luz del día bajo la forma de hombre, o de bestia salvaje, o de una planta, o de un pájaro, entonces decimos que hay nacimiento; cuando se separan, empleamos la palabra muerte dolorosa. Pero ese nombre no se justifica, aunque también yo siga al respecto la costumbre”* (fr. 9).

Con esta teoría Empédocles combinó aspectos eleáticos — como la afirmación de que a nivel de los elementos fundamentales no hay verdadero cambio (*Monismo estructural*) — y anti-eleáticos, por la afirmación de que no hay un único Ente, sino cuatro elementos fundamentales (*pluralismo materialista*).

Por influencia de Pitágoras, la combinación de tales elementos para dar lugar a las entidades materiales sigue una determinada *proporción*. Esta proporción características de cada tipo de entidad, será considerada su *esencia*.

Por influencia de Heráclito, Empédocles postula una teoría del cambio basada en contrarios. Los elementos (agua, aire, tierra y fuego) se modifican por la acción de cualidades (calor, frío, húmedo y seco).

El principio general de individuación y cambio estará dado por la *simpatía* y la *antipatía*, lo cual puede entenderse como amor y odio o, de modo más físico, como *condensación* y *rarificación*.

*“Pues todos estos elementos: Sol, tierra, cielo y mar, están adaptados en sus diferentes partes para todo lo que anda por el mundo mortal. Y si todo lo que se muestra más propio de la mezcla se atrae recíprocamente, por la acción de la semejanza y del Amor, por el contrario lo que es enemigo de ella se mantiene a gran distancia; naturaleza, composición, formas que revisten, todo contribuye absolutamente a oponerse a la reunión, bajo el imperio del Odio que le ha dado nacimiento”* (fr. 22).

*“Los elementos predominan alternativamente en el curso de un ciclo y desaparecen los unos en los otros o aumentan, según el signo fatal que les es asignado. Son siempre los mismos, pero circu-*

*lan los unos a través de los otros, tomando la forma de hombres y de diferentes especies de animales. Tanto, por efecto de la Amistad, se reúnen para no formar más que un solo organismo, tanto por el contrario, por efecto del Odio que les opone, se separan hasta el momento en que la Unidad, realizada anteriormente, ha desaparecido por completo. Así en la medida en que lo Uno y lo Múltiple se constituye, en esta medida aparecen y no duran eternamente. Pero, en la medida en que ese cambio perpetuo no se detiene subsisten siempre en un ciclo inmutable” (fr. 26)*

Es decir, son dos las fuerzas activas y opuestas, amor y odio, o afinidad y antipatía, que actúan sobre los elementos, combinándolos y separándolos dentro de una variedad infinita de formas. La realidad es cíclica. Al comenzar un ciclo, los cuatro elementos se encuentran unidos por el principio del amor. Cuando el odio penetra en el círculo, los elementos empiezan a separarse. El amor funde todas las cosas; entonces el odio reemprende el proceso. No es posible ningún cambio que implique la creación de nueva materia; sólo puede ocurrir un cambio en las combinaciones de los cuatro elementos ya existentes.

#### 1 – 8.4. Anaxágoras de Clazomene

Anaxágoras nació en Clazomene, cerca de la actual Izmir (Turquía), viviendo su juventud en una época, en la que Clazomene había sido sometida al imperio persa tras la represión de la revuelta Jonia. Posteriormente se trasladó a Atenas, ciudad en la que residiría la mayor parte de su vida, siendo maestro, y posteriormente amigo, de Pericles, entre otros atenienses ilustres. Precisamente esa amistad le supuso ser acusado de impiedad por los enemigos de Pericles y verse obligado a abandonar Atenas, refugiándose en Lámpsaco, una de las colonias de Mileto en Jonia.

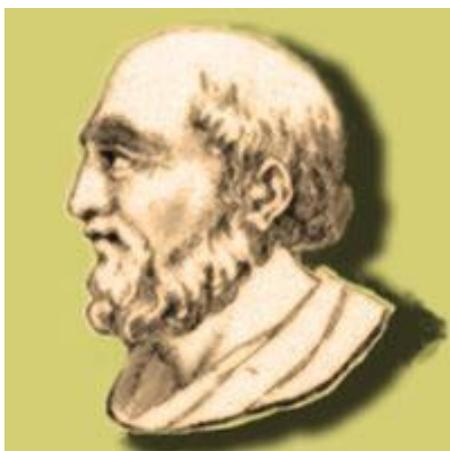


Figura 1.19. Anaxágoras de Clazomene (c. 500 – c.428 a.C.)

Anaxágoras nació en Clazomene, cerca de la actual Izmir (Turquía), viviendo su juventud en una época, en la que Clazomene había sido sometida al imperio persa tras la represión de la revuelta Jonia. Posteriormente se trasladó a Atenas, ciudad en la que residiría la mayor parte de su vida, siendo maestro, y posteriormente amigo, de Pericles, entre otros atenienses ilustres. Precisamente esa amistad le supuso ser acusado de impiedad por los enemigos de Pericles y verse obligado a abandonar Atenas, refugiándose en Lámpsaco, una de las colonias de Mileto en Jonia.

Anaxágoras profundizó las ideas de Empédocles. Al reflexionar sobre los procesos digestivos se preguntó: “¿Cómo puede ser que los alimentos que ingerimos (carnes, frutas, cereales) hagan crecer nuestro cuerpo constituido de carne, sangre y huesos?” “Debe haber partes de carne, sangre y huesos en los alimentos ingeridos y que luego el proceso digestivo separa”, se respondió.

*Teoría de todo en todo:* Anaxágoras generalizó este resultado y afirmó que en todas las cosas de nuestra experiencia hay partes de todas las demás. Las diferencias entre las cosas se explican por la diferente proporción en que están combinados. De acuerdo con esta teoría, para Anaxágoras en vez de los cuatro elementos fundamentales y eternos existen *infinitos* elementos originarios, o semillas, que se diferencian unos de otros *cualitativamente*.

*“Todas las cosas estaban juntas infinitas en número y en pequeñez. Pues lo infinitamente pequeño existía también. Y en tanto las cosas estaban juntas, ninguna podía ser distinguida a causa de su pequeñez. El aire y el éter lo ocupaban todo, siendo ambos infinitos; pues, en todas las cosas, son éstas las que predominan por el número y el volumen.”* (fr. 1)

Esta teoría supone la *divisibilidad infinita* de la materia, para que pueda haber aunque sea un elemento de cada una de las *infinitas* semillas.

*“Ya que, en lo que es pequeño, no hay un último grado de pequeñez, sino que siempre hay algo más pequeño. En efecto, no es posible que lo que es deje de ser, (en cuanto a la división). Igualmente, en relación con lo grande, siempre hay algo más grande y es igual a lo pequeño en cantidad y, por relación a ella misma, cada cosa es a la vez pequeña y grande.”* (fr. 3)

*“Y puesto que hay, en la pluralidad, igualdad en la división de lo grande y lo pequeño, puede haber también de todo en todo. Pero no es posible que algo sea aislado y todas las cosas tienen su parte de todo. Tercer momento en que no puede haber un último grado de pequeñez, las cosas no pueden estar separadas ni venir a la existencia. Es necesario que sean ahora como eran al principio, cuando estaban todas juntas. En todas las cosas hay, pues, pluralidad y, a la vez en la más grande y la más pequeña, igualdad en la pluralidad de cosas separados”* (fr. 6)

Para evitar la confusión entre “*cualidad*” y “*elemento*” pasa del modelo de la mezcla bajo *proporciones* (Empédocles) al de *yuxtaposición* (de partes idénticas) bajo proporciones.

¿Cómo se produce esa agregación y esa separación de las semillas? Para explicarlo, Anaxágoras hace intervenir un elemento novedoso en la especulación filosófica: el *Nous* o inteligencia. El movimiento de las partículas o semillas estaría sometido a la inteligencia; sin embargo, el papel de la inteligencia queda reducido al de causa inicial del movimiento que, una vez producido, sigue actuando por sí mismo sometido a causas exclusivamente mecánicas. Las partículas son sometidas por el *Nous* a un movimiento de torbellino que será la causa de la constitución de todas las cosas tal como nosotros los conocemos.

Este *Nous*, *Mente* o *inteligencia*, es concebido por Anaxágoras como algo infinito, autónomo, autorregulado, y separado de las semillas y de todas las demás cosas que existen. Por otro lado es de naturaleza *material*, pero es la sustancia más sutil y etérea de todas

*“la más fina y pura de todas las cosas, poseedor de todo el saber sobre cualquier asunto y del mayor poder”*.

*“Las otras cosas tienen una parte de todo; pero el *Nous* es infinito, autónomo y no se mezcla con nada; sólo él es sí mismo y por sí mismo, pues, si no fuera por sí mismo y si estuviera mezclado con cualquier otra cosa, participaría de todas las cosas en la medida en que estuviera mezclado con una de ellas. Pues, en todo, hay una parte de todo, como hemos dicho anteriormente. Y lo que estuviera mezclado al *Nous* le impediría tener poder sobre cada cosa, como lo tiene ahora estando sólo por sí mismo. De todas las cosas es la más ligera y la más pura; posee todo tipo de conocimiento y la fuerza más grande...”* (fr. 12)

Refiriéndose al Nous, Aristóteles escribió:

*“Según Anaxágoras, todo está mezclado, excepto la inteligencia; la inteligencia sólo existe pura y sin mezcla. Resulta de aquí, que Anaxágoras admite como principios: primero, la unidad, porque es lo que aparece puro y sin mezcla; y después otro elemento, lo indeterminado antes de toda determinación, antes que haya recibido forma alguna.”* (Aristóteles, *Metafísica*, 1,7).

## 1 – 9. Los filósofos atomistas.

### 1 – 9.1. Leucipo de Abdera.

Según Aristóteles Leucipo fue el fundador de la escuela atomista. Los filósofos atomistas, afirmaron que la materia está constituida por atomoi (indivisibles).

La doctrina de Leucipo buscó conciliar la pluralidad de las cosas y la unidad y permanencia del ser. Según él, todos los cambios se reducen a la unión y separación de los átomos, partículas primitivas e indestructibles. El devenir se explica por su combinación y descomposición.

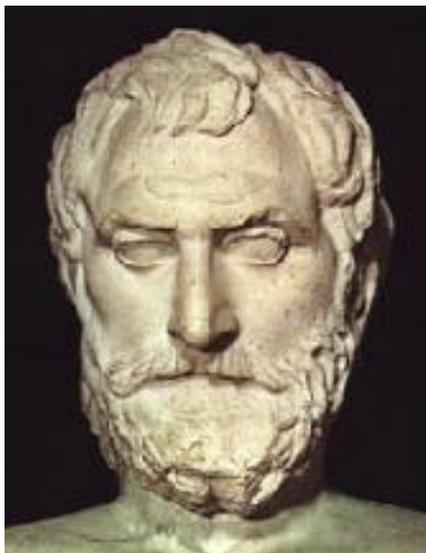


Figura 1.20. Leucipo de Abdera (c. 450 – c. 370 a.C.)

En la concepción de Leucipo sólo existen los átomos y el vacío. La existencia del vacío se prueba por la posibilidad del movimiento, por la compresibilidad y porosidad de los cuerpos, y por el fenómeno fisiológico de la nutrición. La idea del vacío no era fácil de aceptar por los filósofos griegos, — especialmente, a partir de las ideas de Parménides — pero era necesario para entender el movimiento de los átomos y, por ende, el movimiento de los cuerpos. Al respecto, Aristóteles escribió:

*“Algunos filósofos antiguos creyeron que lo que es debe ser necesariamente uno e inmóvil, ya que siendo el vacío no-ente no podría existir el movimiento sin un vacío separado (de la materia) ni existir una pluralidad de cosas sin algo que las separe. [...] Pero Leucipo creyó tener una teoría que concordando con la percepción de los sentidos no hacía desaparecer el nacimiento, la corrupción, el movimiento ni la pluralidad de seres”.* (Aristóteles, *Sobre la generación y la corrupción*, I,8,325a)

Leucipo se manifestó en contra de la doctrina de las cuatro cualidades (caliente, frío, húmedo y seco) Por el contrario sostuvo que la explicación del cambio y de las entidades contingentes se debe a sus formas y velocidades. Esta idea sería recuperada en el siglo XVII.

### 1 – 9.2. Demócrito de Abdera

Demócrito nació en Abdera. Se le atribuyen numerosos viajes, a Egipto y a la India, entre otros, habiendo adquirido en el curso de ellos conocimientos de teología, astrología, geometría, etc. También se le sitúa en Atenas escuchando las lecciones de Sócrates o de Anaxágoras, según recogió Diógenes Laercio. Se dice también que fue discípulo de Leucipo, de quien tomó y difundió la teoría del atomismo.

Al igual que Empédocles y Anaxágoras la filosofía de Demócrito estará inspirada por la necesidad de conjugar la permanencia del ser con la explicación del cambio, adoptando una solución basada en la postulación de infinitos *atomoi* que poseen las características de inmutabilidad y eternidad del ser parmenídeo.

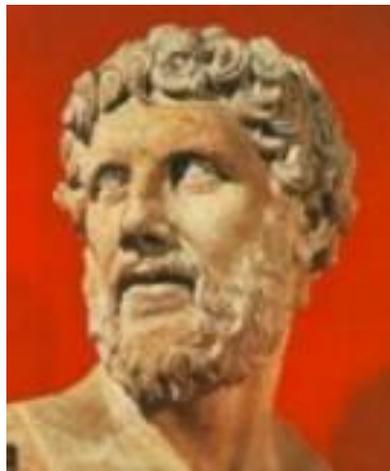


Figura 1.21. Demócrito de Abdera (460 - 370 a.C.)

Estos átomos existen desde siempre en el vacío, sometidos a un movimiento que les es consustancial. Por lo tanto, todo lo que existe son los átomos y el vacío.

El espacio es identificado con el vacío infinito y su postulación junto a Leucipo constituye una excepción a la *tesis plenista* que era generalmente aceptada en esa época.

Los cuerpos macroscópicos resultan del agregado de Infinita cantidad de *formas atómicas*. Los átomos se mueven en línea recta en el vacío y, por causas estrictamente mecánicas, algunos de ellos chocan contra otros, desviando sus trayectorias. Muchos de esos choques provocan la agregación en conjuntos de átomos cada vez mayores y eso da lugar a la constitución de los objetos tal como nosotros los conocemos. Aunque los átomos no poseen diferencias cualitativas sí poseen diferencias en cuanto a su forma, configuración, posición y orden.

Simplicio transmite este fragmento (de coelo 242,21):

*“... 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 mutua-*

mente en consonancia con la congruencia de sus figuras, tamaños, posiciones y ordenamientos, se mantienen unidos y así originan el nacimiento de los cuerpos compuestos.” (fr. 582)

El movimiento inicial de los átomos inicialmente es el rectilíneo de caída libre, dado que todos los átomos son pesados y caen en el vacío (se mueven hacia arriba sólo al ser empujados por otros).

El pensamiento de Demócrito ejerció cierta influencia en la antigüedad, a través de la escuela de Epicuro, entre otros; pero fue retomado, sobre todo en el Renacimiento, como base de la constitución de la ciencia moderna.

Puede decirse que la característica del atomismo de Leucipo y Demócrito, a diferencia del pluralismo de Empédocles y Anaxágoras, consiste en que no buscaron una *causa eficiente* para el movimiento de los átomos. Del mismo modo que Empédocles afirmó la *eternidad* de los cuatro elementos, los atomistas afirmaron también la *eternidad del movimiento*. Por este motivo no les parecía necesario tener que postular una causa. A lo largo del tiempo esta doctrina muchas veces ha sido condenada como materialismo ateo ya que si sólo existen átomos y vacío ¿Dónde está el alma?

Sin duda hay una gran influencia del concepto de Anaxágoras de *cuerpo como yuxtaposición de partes* (es decir, sin mezcla), pero al mismo tiempo, los atomistas negaron la divisibilidad infinita. La divisibilidad es infinita en sentido matemático, pero no en *sentido físico*. En este caso nos encontramos con algo que no es ya divisible. A esto se denomina justamente *átomo*. Por este camino se solucionan las paradojas de Zenón. A nivel atómico no hay cambio (solución del problema de Parménides). El cambio es *superficial* (a nivel de observación).

Las ideas de Demócrito juegan un papel importantísimo en la historia de los orígenes de la alquimia. Entre los textos que se disponen actualmente y que contienen recetas y fórmulas prácticas, la obra más antigua, que los autores que tuvieron alguna autoridad histórica citaron, pero que su autor no citó a ninguno, es la que se atribuye a Demócrito, titulada *Física y Mística*. Si bien quien escribió esta obra usó como seudónimo Demócrito, su contenido se relaciona con la obra auténtica de Demócrito por lazos fáciles de entrever.

Demócrito había viajado por Egipto, por Caldea y por diversas regiones de Oriente y había sido iniciado en los conocimientos teóricos y en las artes prácticas de estas comarcas.

Estos viajes eran una tradición entre los antiguos filósofos griegos, quienes tenían esa costumbre para completar así su educación. Los viajes de Heródoto son ciertos y están contados por él mismo. La tradición nos ha transmitido los de Platón, de Pitágoras y los de Demócrito. Los de este último, en particular, fueron atestiguados por varias fuentes. Diógenes Laercio lo señaló, y también Antístenes, autor casi contemporáneo de Demócrito; quien escribió que éste había aprendido la geometría de los sacerdotes y había visitado Egipto, Persia y el mar Rojo. Cicerón y Strabo, también hablaron de estos viajes. Según Diodoro, Demócrito permaneció cinco años en Egipto. Clemente de Alejandría, en un pasaje de su obra, que según Friedrich Wilhelm Auguste Mullach<sup>14</sup>, habría sido tomado de Demócrito mismo, dijo también que fue a Babilonia, a Persia, a Egipto y que estudió bajo los magos y los sacerdotes. También se le atribuía ciertas obras sobre las escrituras sagradas de los caldeos y sobre las del reino de Meroé.

Estas narraciones, que parecen auténticas, cambian de fisonomía en Plinio el viejo. Plinio es el primer autor que transformó el carácter del filósofo racionalista de Demócrito, y le atribuyó la calidad de mago, afirmando que había sido iniciado en la magia y en la Alquimia por Ostanés el mago

<sup>14</sup> Mullach, F. W. A. *Democriti Abderitæ operum fragmenta*. Berlin, 1843.

y por los sacerdotes egipcios. Esta imagen permaneció desde entonces ligada al nombre de Demócrito durante toda la Edad Media.

Las obras de Demócrito y de sus seguidores, formaron una suerte de enciclopedia filosófica, técnica y gnóstica. En tiempos del emperador Tiberio, fue reunida y clasificada en tetralogías por el gramático y astrólogo Trasilio de Alejandría. Desgraciadamente estos libros hoy están perdidos, a excepción de diversos fragmentos encontrados aquí y allá y reunidos primero por Adolphe Franck, en 1836<sup>15</sup>, luego por Mullach.

En su colección, Mullach hizo una crítica severa y analizó las partes auténticas de las obras de Demócrito apartando cuidadosamente todo lo que le pareció seudónimo o apócrifo. No obstante, una separación absoluta entre ambos órdenes de escritos puestos bajo el nombre de Demócrito sea tal vez imposible, a causa de imitaciones e interpolaciones sucesivas; sobre todo en lo que toca las obras de historia natural y de agricultura, tan a menudo citadas por Plinio y sus contemporáneos, entre las que se han conservado extensos fragmentos de la *Geopónica*<sup>16</sup>.

Diógenes Laercio atribuyó a Demócrito tratados sobre el jugo de las plantas (citado también por Petronio), sobre las rocas, los minerales, los colores, los metales, la tintura del vidrio, etc. Séneca<sup>17</sup> dijo también que Demócrito descubrió los procedimientos usados en su tiempo para ablandar el marfil, preparar la esmeralda artificial, colorear las materias vitrificadas: *quemadmodum decoctus calculus in smaragdum converteretur. Quâ hodiè que coctura inventi lapidas in hoc útiles colorantur*. Esto recuerda los cuatro libros sobre la tintura del oro, plata, piedras preciosas y la púrpura, asignados más tarde por Sinesio de Cirene y por Georgius Syncellus en su *Ecloga crhono-graphica* a Demócrito<sup>18</sup>. Olimpiodoro, autor alquimista del siglo IV, mencionó también de cuatro libros de Demócrito sobre los elementos: el fuego y lo que a él se vincula; el aire, los animales y lo que a ellos se relacionan; el agua, los peces y todo lo relacionado; la tierra, las sales, los metales, las plantas y todo lo que se vincula, etc.<sup>19</sup> Todo esto parece remitirse a tratados antiguos.

La distinción rigurosa entre las obras auténticas, las obras de los discípulos y de los imitadores de Demócrito, que se sucedieron durante cinco o seis siglos, es hoy difícil; sobre todo por la ausencia de obras completas y absolutamente seguras. Sin embargo, estas obras, hasta las de seudónimos, a veces parecen incluir fragmentos de libros más antiguos. Por otra parte, como conjunto es interesante, ya que llevan el sello del tiempo en que han sido escritas, tanto desde el punto de vista de las doctrinas místicas o filosóficas como de los conocimientos prácticos.

En lo que respecta a su *Física y Mística*. Es una reunión incoherente de varios fragmentos de diferente origen. Se inicia, sin preámbulo, con un procedimiento técnico para teñir de púrpura. Este fragmento, cuyo carácter es puramente técnico, no tiene ningún lazo con el resto. Los manuscritos incluyen a continuación una evocación de los infiernos del maestro de Demócrito (Ostanés), más las recetas alquímicas.

En cambio, el segundo fragmento (*evocación mágica*) dice que el maestro (Ostanés) ha muerto, sin haber tenido tiempo de iniciar a Demócrito en los misterios de la ciencia y se le aparece desde los infiernos. "He aquí la recompensa por lo que hice por ti", exclama la aparición. A las preguntas de Demócrito, la aparición responde: "Los libros están en el templo". Sin embargo, Demócrito no consiguió encontrarlos. Un tiempo, Demócrito vio que se entreabría una de las columnas del templo

<sup>15</sup> Franck, A. "Fragments qui subsistent de Démocrite," en *Mémoires de la Société royale de Nancy*, 1836.

<sup>16</sup> En griego, Γεωπονικά. Es el nombre de una colección de veinte libros sobre agronomía y agricultura escrita en griego y compilada durante el siglo X en Constantinopla por el emperador bizantino Constantino VII.

<sup>17</sup> *Épistola*. XC.

<sup>18</sup> También en el Manuscrito de la B.N.F 2.327, fol. 31 de la *Bibliothèque Nationale de France*

<sup>19</sup> Manuscrito de la B.N.F 2.327, fol. 201; Manuscrito de San Marcos, folio. 166 reverso .

y percibió que allí estaban los libros del maestro, los cuales contenían solamente los tres axiomas místicos: “La naturaleza gusta de la naturaleza; la naturaleza triunfa sobre la naturaleza; la naturaleza domina a la naturaleza” axiomas que reaparecen luego como un estribillo, al fin de cada uno de los párrafos del opúsculo alquímico propiamente dicho<sup>20</sup>.

Si bien Demócrito es considerado un filósofo y naturalista, y como tal un libre pensador, algunos autores, como Eduard Zeller<sup>21</sup>, han encontrado una similitud entre sus ideas sobre fantasmas y sueños y las de Epicuro y Lucrecio<sup>22</sup> quienes les asignaban una cierta realidad sustancial.

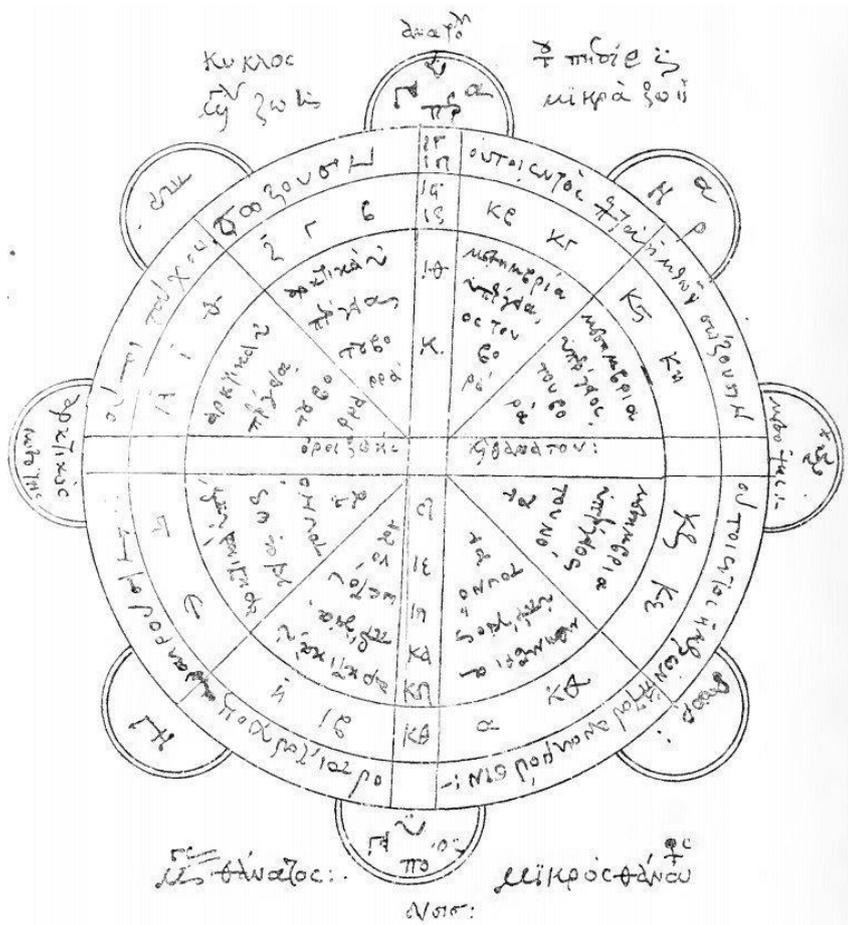


Figura 1.22 Esfera de Demócrito

La actividad de Demócrito como mago no solamente fue resaltada por Plinio. Su nombre se menciona dos veces en el ritual mágico de los papiros de Leiden<sup>23</sup>, papiros que contienen tanto recetas mágicas como recetas alquímicas. Encontramos también en estos papiros<sup>24</sup>, bajo el título de *La esfera de Demócrito*, una tabla de números destinada a pronosticar la vida o la muerte de un enfermo; tabla totalmente igual a las tablas de Hermes Trismegistus y de Petosiris que existen en los manuscritos de la Biblioteca Nacional de Francia. A partir, del día del mes en que el enfermo guardó cama, el día de su nacimiento se calculaba un número. Si este número caía en la parte superior de la tabla el enfermo se curaría, si caía en la parte inferior, el enfermo moriría.

<sup>20</sup> Este cuento fantástico ha sido reproducido más de una vez en la Edad Media, bajo diferentes nombres, y atribuido a diversos maestros célebres.

<sup>21</sup> Zeller, E. (1882): *La Philosophie des Grecs*, de Zeller, t. II, p. 351, 353. Trad. Boutroux.

<sup>22</sup> *De rerum natura*. IV. 333.

<sup>23</sup> Reuvs, C. J. C. (2011) : *Lettres à M. Letronne*, Nabu Press, Paris. p. 163.

<sup>24</sup> Reuvs, loc. cit. p. 148.

Los diversos procedimientos alquímicos y mágicos se leen también en un opúsculo atribuido a Bolos de Mendes, conocido como Pseudo-Demócrito. Este opúsculo fue traducido, con licencias, al latín y publicado en Padua por Doménico Pizzimenti, en 1573, bajo el título de *Democriti Abderitæ de Arte magnâ*, que incluyen los comentarios de alquimistas posteriores como Sinesio de Cirene, de Pelagio el heresiarca y de Stefanus de Alejandría. Este texto es similar a *Física y Mística*, excepto que faltan algunos fragmentos.

Marcelin Berthelot, menciona una carta de Demócrito a Philarete<sup>25</sup> que comienza con una lista de cuerpos. “He aquí el catálogo de las especies: el mercurio extraído del huevo filosófico<sup>26</sup>, la magnesia, el antimonio, el litargirio de Calcedonia y de Italia, el plomo, el estaño, el hierro, el cobre, la soldadura del oro, etc.”. Luego viene el misterioso arte de las tinturas metálicas.

Según un escrito de Sinesio, reproducido por Georgius Syncellus, Demócrito había escrito cuatro libros de tinturas sobre el oro, la plata, las piedras y la púrpura<sup>27</sup>: lo que recuerda, a la vez, la carta precedente.

Sinesio dijo que Demócrito había confeccionado un catálogo de los objetos blancos y otro de los amarillos. Al primero lo llamó Argiropea, o el arte de hacer plata y al segundo, Crisopea, o el arte de hacer oro.

## 1 – 10. Aristóteles de Estagira



Figura 1.23. Aristóteles de Estagira (384-322 a. C.)

Aristóteles nació en Estagira (Tracia), el año 384-3 a. C. Era hijo de Nicómaco y Efestiada, y su padre ejerció la medicina en la corte del rey Amintas (II) de Macedonia, “por causa de la medicina y por amistad”, lo que se ha tratado de asociar con el posterior interés naturalista de Aristóteles. (Diógenes Laercio, *Vidas de filósofos ilustres*, libro V, 1).

A los diecisiete años se trasladó a Atenas donde se incorporó a la Academia de Platón en la que permanecería durante veinte años. A la muerte de Platón, en el 348, Espeusipo, sobrino de Platón, se hizo cargo de la dirección de la Academia, bien por designación directa de éste o bien por deci-

<sup>25</sup> Manuscrito 2.327 de la *B.N.F.* folio 31 reverso.

<sup>26</sup> Llamada “piedra de Egipto”, o “piedra de cobre” era una aleación de cobre y plomo o cobre amalgamado con mercurio.

<sup>27</sup> Manuscrito. 2.327, folio 118.

sión de sus discípulos, imprimiendo una orientación de carácter más especulativo y místico-religioso a las actividades de la Academia, lo que no fue del agrado de Aristóteles quien la abandonó, (ya fuera por esta razón, ya por sentirse frustrado al no haber sido designado él mismo como director, como sostienen otros.)

En el 345-4, se trasladó a Mitilene, en la isla de Lesbos, entrando allí en relación con Teofrasto, que sería posteriormente el más destacado discípulo y continuador de la obra de Aristóteles. Allí continuó con su actividad filosófica hasta que en el año 343-2 fue llamado por Filipo de Macedonia para hacerse cargo de la educación de su hijo Alejandro, el futuro Alejandro Magno, que tenía entonces trece años. Allí permaneció siete u ocho años, hasta el 336-5, cuando Alejandro subió al trono, regresando entonces Aristóteles a Atenas.



Figura 1.24. Restos de lo que se considera el Liceo de Aristóteles.

Una vez en Atenas, en el 335, fundó su propia escuela, el Liceo, una comunidad filosófica al estilo de la platónica, llamada así por estar situada dentro de un recinto dedicado a Apolo Likeios. Además del propio edificio contaba con un jardín y un paseo (perípatos) del que los aristotélicos recibirán el nombre de peripatéticos, ya sea porque Aristóteles impartiera sus enseñanzas paseando, como recoge Diógenes Laercio, o porque, simplemente, se impartieran dichas enseñanzas en el paseo. (Excavaciones realizadas a mediados de la década de 1990 en Atenas, cerca de la Plaza Sintagma, dejaron al descubierto los cimientos de varios edificios, como se puede observar en la imagen, que los arqueólogos consideran pueden ser los restos del Liceo de Aristóteles).

Según la tradición el orden de las actividades en el Liceo estaba fuertemente establecido, dedicándose las mañanas a las cuestiones más difíciles de carácter filosófico, reservadas para los discípulos, y las tardes a las lecciones de retórica y de dialéctica, entre las que se podía encontrar un público más amplio.

### 1 – 10.1. La metodología inductivo - deductiva

Para Aristóteles, toda ciencia es ciencia de *lo universal*, y toda ciencia implica demostración *necesaria*. Este ideal de conocimiento es en parte una herencia platónica y en parte, de modo más general, una herencia del ideal de conocimiento axiomático de la geometría. La ciencia estaba caracterizada por su *infallibilidad*, como un grupo de enunciados organizado *deductivamente* y donde se partía de axiomas necesarios e *indemostrables*.

El problema que se planteó Aristóteles fue el de encontrar el instrumento apropiado para alcanzar este ideal de conocimiento. Para ello, desarrolló la teoría del silogismo. El silogismo trata de encontrar relaciones *formales* entre dos premisas que tienen un término común, sea en los sujetos o en

los predicados. A este término común lo llamó *término medio* y consideró dos aspectos formales de las premisas, uno cuantitativo (es particular o es universal) y otro cualitativo (es afirmación o es negación). Del examen de todas las combinaciones posibles, separó aquellos en los que es *formalmente imposible* que si las premisas son verdaderas, la conclusión sea falsa, estableciendo lo que hoy se conoce como argumentos *válidos*. Cuando las premisas son *necesariamente verdaderas* el silogismo es *científico*. Con la teoría del silogismo Aristóteles logró axiomatizar la lógica.

Para evitar los problemas que surgen de todo esquema *deductivo* (regreso al infinito y círculo vicioso), Aristóteles afirmó la necesidad de postular premisas indemostrables *inmediatas* (axiomas en sentido amplio). Tales premisas debían:

Ser verdaderas

Ser necesarias

Ser causa de la conclusión (con relación a la doctrina de las cuatro causas)<sup>28</sup>

Ser generales

A su vez, los “axiomas en sentido amplio” podían ser:

*Axiomas* en sentido estricto: se imponen a todo sujeto por el sólo hecho de considerarlas, y no se restringen a una ciencia única.

*Principios*: son propios de cada ciencia, y surge a partir de las verdades aceptadas y no cuestionadas.

*Definiciones*: primitivos semánticos. Puntos de partida *necesarios* para el conocimiento de algo. Su existencia se *supone* (por *hipótesis*).

El carácter necesario de los axiomas generó el problema de cómo definir los términos cuando se sale del aspecto formal.

Cuando el número de entes a definir es infinito o, al menos, indeterminado, caben dos tipos de definiciones; operacionales y esenciales. En las definiciones operacionales, la cualidad distintiva de todos los entes a definir resulta de efectuar una operación física o matemática. En cambio, en una definición esencial se deben establecer el género próximo y, al menos, una diferencia específica. Para captar la esencia de un ente se debe reconocer cuál es la clase más próxima (género próximo) a la que pertenece lo que se quiere definir, y luego se debe especificar la característica distintiva por la que se reconocen tales entes dentro de dicha clase (diferencia específica).

Un ejemplo de definición esencial es el dado por Sócrates para el hombre: “El hombre es un animal racional”. El género próximo es “animal” y la diferencia específica con los demás animales es que posee razón<sup>29</sup>.

<sup>28</sup> Aristóteles reconoció que ciertos hechos tienen una causa *material* —referida a aquello de lo que algo está hecho— o una causa *formal* —aquello a lo que algo llega a ser— o una causa *eficiente* —la que origina el movimiento— y lo que llamó *causa final*, que es el fin al que se dirigen todas las cosas y que también forma parte de la explicación del *por qué* algo es como es, o cambia del modo en que lo hace. La *causa final* es igual a la *causa formal* en *potencia* que llega a ser forma en *acto* gracias a la *causa agente*. Con ello Aristóteles inauguró las explicaciones *teleológicas*, explicaciones a través de su fin (*telos*). Este tipo de explicaciones le permitiría una concepción global del cambio natural, como *actualización de la forma* hacia su punto máximo de *perfección* (el fin entendido, al igual que la idea de bien de Platón, como *areté* pura).

La ventaja de la organización deductiva es fundamentalmente la de poder obtener *nuevo* conocimiento a partir del conocimiento verdadero disponible.

En cuanto a la metodología inductiva, Aristóteles partió de aceptar que el ser humano experimenta sensaciones. La sensación permite un contacto con lo particular. Ese contacto con la realidad hace posible proposiciones del tipo: *S es P*.

Los animales con *memoria*, como el hombre, pueden comparar diferentes sensaciones que se *re-piten* y reconocer elementos comunes. Esta generalización que se remite a los objetos de los que se tuvo sensación constituye la *experiencia* de tales objetos (a esto se hace referencia cuando se habla del *empirismo* aristotélico) La experiencia permite encontrar características comunes a varios objetos y formular enunciados que incluyen cuantificadores existenciales del tipo “Algunos *S* son *P*”. Sensación: contacto infalible con lo particular (por este apoyo en la sensación se habla de sensualismo de la propuesta aristotélica). Ese contacto con la realidad hace posible proposiciones del tipo: *S es P*.

Las sensaciones y la experiencia llevan a establecer inductivamente una regularidad de hecho, afirmando que esta experiencia es común para todos los miembros de esta misma clase (*S*). Esto permite la generalización empírica “Todos los *S* son *P*”, (que tendrá validez en tanto no se encuentre un contraejemplo). Esta inducción es enumerativa y se basa en la experiencia pasada. Tal experiencia dice que de hecho se cumple que cierta clase de individuos comparten cierta característica. Sin embargo, en una afirmación del tipo “Todos los *S* son *P*” no se sabe por qué, no se conoce la causa de esa regularidad.

## 1 – 10.2.- La filosofía natural aristotélica

Para Aristóteles, la Naturaleza estaría formada por el conjunto de las sustancias naturales uno de cuyos rasgos fundamentales es su tendencia al cambio. Pero existen otros entes que carecen de esa tendencia natural a transformarse. Al respecto escribió:

“Entre los seres, unos son por naturaleza, otros por otras causas. Por naturaleza son los animales y sus partes, las plantas y los cuerpos simples, como la tierra, el fuego, el agua, el aire. De estas cosas y de otras semejantes, se dice que son por naturaleza. Ahora bien, todas las cosas de las que acabamos de hablar se diferencian claramente de las que no existen por naturaleza; cada ser natural tiene en sí mismo un principio de movimiento y de reposo, unos en cuanto al lugar, otros en cuanto al aumento y la disminución, otros en cuanto a la alteración. Por el contrario, una cama, una capa y cualquier otro objeto de ese tipo, si bien cada uno tiene derecho a ese nombre, es decir, en la medida en que es un producto del arte, no poseen ninguna tendencia natural al cambio, sino solamente tienen el accidente de ser de piedra o de madera...” (*Física*, libro II, 1)

<sup>29</sup> Esta definición le acarreó un problema social grave a Sócrates. El vivió en una sociedad estratificada en la que había ciudadanos, extranjeros y esclavos. Si el esclavo es tan “animal racional” como el ciudadano, ¿por qué es esclavo? La justificación de la esclavitud la produjo Aristóteles agregando a la definición de Sócrates, otra diferencia específica: “que busca la felicidad”. En la concepción aristotélica, la felicidad sólo se logra a través de la virtud, pero de la “virtud griega”. Un utensilio es virtuoso si cumple a la perfección con el objetivo para el que fue creado, un instrumento musical es virtuoso si sus sonidos son perfectos. De modo que un esclavo es un animal racional que busca la felicidad y sólo la encuentra a través de la virtud, o sea, siendo un buen esclavo. Quince siglos después de la muerte de Aristóteles, Santo Tomás aplicaría esta definición pero dándole a la virtud el carácter teológico, (fe, caridad, esperanza, prudencia, fortaleza, templanza, justicia, etc.). En el mundo terrenal, el hombre sólo puede tener momentos felices, pero la felicidad plena sólo la alcanzará en el reino de los cielos mediante el ejercicio, en la Tierra, de las virtudes teológicas y cardinales. Esta adaptación, convirtió a un filósofo pagano en el filósofo oficial de la Iglesia cristiana.

Aristóteles distinguió diversos tipos de cambios, según afecten a la sustancia o a los accidentes, o según se produzcan de manera natural o artificial. El cambio puede ser producido espontáneamente por la sustancia, y en ese caso es un cambio natural; o puede ser producido artificial o violentamente, por la intervención de un agente externo a la sustancia misma y a esta clase la llamó cambio artificial.

El cambio sustancial supone la modificación radical de una sustancia, es decir, que algo deje de ser lo que es y pase a ser otra cosa: que una sustancia se “convierta” en otra. Las dos formas propias de este tipo de cambio son la generación y la corrupción. La generación supone el nacimiento, o el surgimiento de una nueva sustancia; la corrupción supone la muerte o la desaparición, la destrucción de una sustancia. La germinación de una semilla y el paso de ser semilla a ser planta supone un cambio sustancial: la semilla desaparece, deja de ser semilla, y surge la planta.

El cambio accidental supone la modificación de algún accidente de la sustancia, la pérdida o la adquisición de una característica, es decir, la sustitución de una forma accidental por otra. Este tipo de cambio puede ser local, cuantitativo, o cualitativo. El cambio local supone la traslación de la sustancia de un lugar a otro; que puede producirse de una forma natural, como ocurre con el movimiento de las aguas de un río, o de una forma artificial, por ejemplo, al cambiar de lugar la mesa de trabajo. El cambio cuantitativo consiste en el aumento o de la disminución de la cantidad en una sustancia: el aumento o la disminución del peso de un individuo es un ejemplo típico de cambio cuantitativo. El cambio cualitativo supone la sustitución de una cualidad de una sustancia por otra; una fruta que madura y cambia de color experimenta un cambio cualitativo, por ejemplo; una mesa que es pintada de un color diferente también experimenta un cambio cualitativo. Todas las formas de cambio accidental pueden, a su vez, ser un tipo de cambio natural o artificial.

La filosofía natural de Aristóteles se basa en una cosmología esférica y en la teoría de los cuatro elementos de Empédocles a los que agregó el éter.

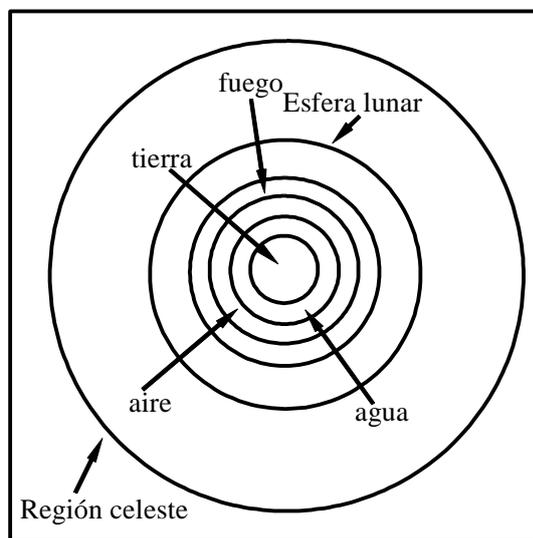


Figura 1.25. Ubicación de los elementos en el mundo sublunar

El marco cosmológico aristotélico determina los movimientos *naturales* (no *forzados*) de los cuerpos, según la proporción de los elementos naturales que los constituyan. En los que domine la *tierra*, si dirigirán naturalmente hacia el *centro de la tierra*, cayendo a través del fuego, el aire y el agua. Del mismo modo, el agua lo hará a través del fuego y el aire, pero no a través de la tierra. Esto es plenamente compatible con la observación. Al mismo tiempo se observa que el aire asciende (se aleja del centro de la tierra) en el agua y el fuego en el aire. Por esto Aristóteles hizo una diferencia *cualitativa* fundamental entre los cuerpos en los que predominan la tierra y el agua lo que hace que

naturalmente se dirigen hacia el centro de la Tierra (*cuerpos graves*) y los cuerpos en los que predominan el aire y el fuego los que naturalmente se alejan del centro de la Tierra (*cuerpos leves*).

Al utilizar esta teoría para explicar los movimientos naturales, en la Física de Aristóteles no se puede explicar ni siquiera por qué cae una hoja, sin suponer que la Tierra se encuentra en el centro de la esfera del cosmos. Este nexo entre Física y cosmología es una de las dificultades más difíciles de sortear si se trata de afirmar el movimiento terrestre.

Según Aristóteles, las transformaciones se producen por la acción de las cualidades según el siguiente cuadro de oposiciones

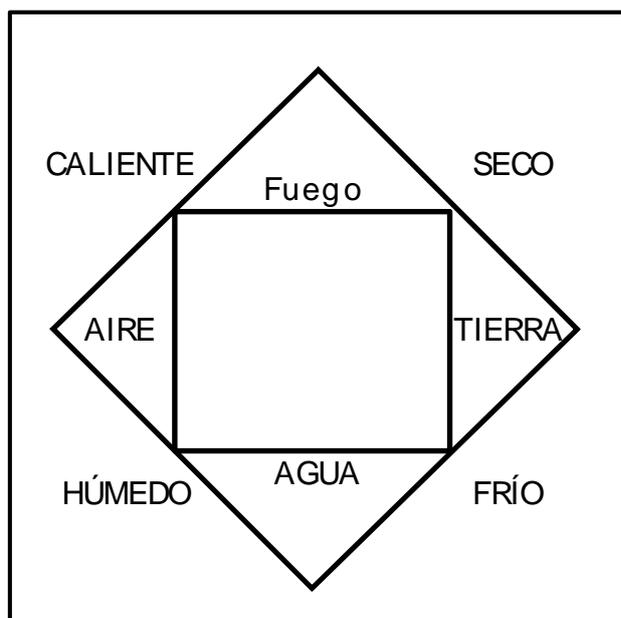


Figura 1.26. Los elementos y sus cualidades

La utilización de este cuadro para explicar las transformaciones físicas se basa fundamentalmente en la acción de cualidades como causas *eficientes*. Por este motivo es que se habla del carácter *cualitativo* de la Física de Aristóteles.

Esta explicación no podía aplicarse al *movimiento de los astros*. El Sol, los planetas, las estrellas son cuerpos graves pero se mueven de modo perfectamente circular sin acercarse ni alejarse del centro terrestre. Por este motivo, Aristóteles hizo una división fundamental entre el movimiento de la Luna, el Sol, los planetas y todo el resto del Universo, zona a la que llamó *esfera celeste o supralunar*, o de la Luna para abajo, llamada *esfera terrestre o sublunar*. Al resultado de esta división se lo conoce como la *teoría de las dos esferas*.

El movimiento circular y perfecto en la esfera supralunar no puede explicarse mediante el cuadro de oposiciones de cualidades y elementos. Por ello, Aristóteles postuló la existencia de un *quinto elemento*, el *éter*, del que está constituida la esfera celeste. El éter es el elemento más sutil de todos, es perfectamente traslúcido y tiene la cualidad natural de moverse de modo circular a velocidad constante arrastrando en su movimiento a todos los cuerpos de esa esfera.

La imposibilidad fáctica de obtener el vacío, llevó a Aristóteles a negarlo. “La Naturaleza tiene horror al vacío”. Esa concepción *plenista* le impedía a Aristóteles concebir a los planetas moviéndose por sí mismos describiendo órbitas circulares. Por ello concibió a las esferas celestes como encajadas en una esfera de éter y arrastradas por esta última en su movimiento circular.

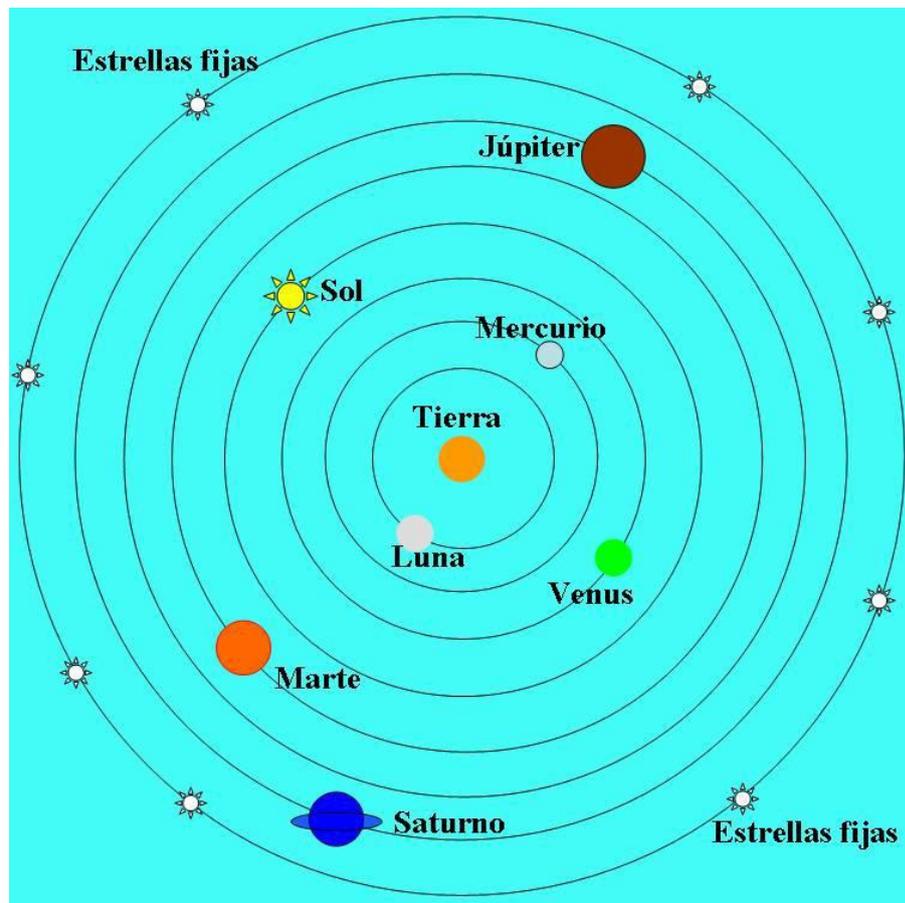


Figura 1.27. Cosmología aristotélica.

Para responder a la pregunta acerca de qué es lo que provoca el movimiento de las esferas celestes Aristóteles recurrió a la idea del “motor inmóvil”. El giro de las esferas está provocado por una esfera celeste inmóvil en la que se encuentran engarzadas las llamadas “estrellas fijas” más allá de la cual no hay nada. La esfera de las estrellas fijas provoca el movimiento tanto en el mundo supralunar como en el sublunar. Movimiento se rige bajo el principio que *lo superior siempre gobierna lo inferior*. Este motor inmóvil es considerado por Aristóteles como una forma pura, como un ser perfecto que es la causa final de todos los cambios en el Universo. Para poder explicar la acción del motor inmóvil como causa final Aristóteles se vio obligado a dotar de *alma* a las esferas intermedias: dichas esferas aspiran a ser perfectas como el motor inmóvil, y es esa aspiración la que mueve el universo; pero, para poder aspirar a esa perfección, han de tener alma.

## 1 – 11. La khemeia de Bolos de Mendes

El primer practicante de la “khemeia” greco-egipcia que se conoce por su nombre fue Bolos (aproximadamente 200 a. de C), nacido en Mendes, una población del delta del Nilo. En sus escritos utilizó continuas referencias a Demócrito, por lo que autores como Lucius Iunius Moderato Columella<sup>30</sup> lo llamaron “Pseudo-Demócrito” o Falso Demócrito. La obra más importante que Bolos le atribuye a Demócrito lleva por título *Física y Mística*. Es muy probable que Bolos haya compilado escritos de Demócrito y les haya agregado trabajos de autores posteriores, anotaciones hechas por artesanos e informaciones recogidas por él que provenían de Egipto, Persia, Babilonia y Siria. Estas

<sup>30</sup> **Columella L.I.M., (2010):** Res rustica, Oxford University Press. New York, 1. VII, Capítulo, V. — Sed Ægyptiæ gentis auctor memorabilis Bolus Mendesijs, cujus commenta quas appellatur græcè ὑπομνήματα, sub nomine Democriti falso producuntur.

memorias fueron llamadas *chirocmeta*<sup>31</sup>, nombre que también ha sido dado a los escritos de Zósimo. Plinio, creyó que eran memorias auténticas de Demócrito y escribió que están llenas de narraciones de cosas prodigiosas. Puede ser que Demócrito haya escrito trabajos de ese género, a los cuales luego se le adicionaron los de sus imitadores. Otra obra sobre “las simpatías y las antipatías” le fue asignada a Demócrito por Columella<sup>32</sup> y a Bolos por Suidas.

Bolos no fue el único autor de la escuela democritana o pseudo democritana. También se encontraron manuscritos alquímicos, como las Memorias democritanas de Pétesis.

El libro de la verdad de Sophé el egipcio, (se supone el viejo rey Keops), es atribuido unas veces a Zósimo, y otras a Demócrito.

Esto muestra que, hacia el comienzo de la era cristiana, en Egipto existía toda una serie de tratados naturalistas, agrupados alrededor del nombre y de la tradición de Demócrito.

*Física y Mística* está dividida en cuatro partes que tratan, respectivamente de la obtención de oro por transmutación, la obtención de la plata, la fabricación de gemas y la obtención de la púrpura real. En esta obra hay recetas técnicas y evocaciones mágicas. En particular, son de interés aquellas que versan sobre la transmutación de la materia, que el autor (o los autores) consideraban que estaba indicada por los cambios de color de los metales cuando se los sometían a diversos tratamientos (como la aleación).

De hacer que un metal parezca oro a creer que el producto artificial era realmente verdadero oro no había una diferencia muy grande para los alquimistas de esa época. Si un metal tenía el brillo del oro, creían que debía ser oro. Y si ese “oro” artificial se empañaba al cabo de un tiempo, la causa era que la transmutación no había sido del todo completa. Por eso se encuentra en toda la literatura alquímica griega una insistencia en observar los cambios de color y en seguir la secuencia de los cambios de color. Esto dejaría su marca en los alquimistas posteriores. La idea subyacente parece haber sido que, siendo la material primigenia la misma para todas las sustancias, la aproximación a esta materia primigenia debería ser la búsqueda central de la alquimia. Cuando tal sustancia primigenia se hubiera obtenido, estaría impregnada de “cualidades puras”, a diferencia de las sustancias impurificadas que se encuentran en la Naturaleza y que le pueden llegar a dar un color negro. La tarea del alquimista era la de efectuar los tratamientos adecuados para que esa materia prima se fuera purificando. Esto conduciría gradualmente al valor máximo de la virtud de los metales: la perfección del oro. Si una piedra rojiza, como la hematita, podía convertirse en hierro gris ¿Por qué ese hierro gris no podría convertirse en oro amarillo mediante alguna técnica novedosa?

Pero las recetas alquímicas de *Física y Mística* no sólo se ocupaban de la purificación de la materia. También hay recetas para aumentar la masa de un material valioso. Por ejemplo, la tercera receta muestra como aumentar la masa de un metal noble. Para ello hay que tostar piritita de cobre, triturar y digerir con una solución de sal gema para luego evaporar el líquido y fundir el residuo con plata o con oro. Otro método que figura en la obra, consiste en hacer una aleación de cobre, estaño, plomo y cinc, calentar con azufre y fundir con un poco de oro. Los antiguos alquimistas no sabían cómo determinar la densidad del metal obtenido o atacar ese metal con ácidos, por lo que la obtención de un metal dorado era la confirmación que se había obtenido oro.

El lenguaje mismo prestado a Demócrito el alquimista, que es a veces el de un charlatán y a veces el de un filósofo: puede deberse a la mezcla de obras auténticas y apócrifas. En efecto, Tantôt

<sup>31</sup> **Plinio**, Historia natural. 1. XXIV, Cap. CII. — **Vitruvio**, De Architectura. I. IX, Cap. II. — **Saumaïse**, Plinianoe Exercitationes, 775 a, tradujo esta palabra como “Marca de su año”. Esto se remonta a una tradición citada por Vitruvio, según la cual Demócrito marcaba con su año las experiencias que él mismo había verificado.

<sup>32</sup> **Columella**, loc. cit. I. XI, Cap. III.

declara: “no es que la atracción del imán hacia el hierro se debe a una simpatía natural, sino que esto resulta de las propiedades físicas de los cuerpos”<sup>33</sup>. Al contrario<sup>34</sup>, afirma Tantôt, cuando Demócrito se dirigió al Rey, le dijo: “Oh Rey, hay que saber esto: somos los jefes, los sacerdotes y los profetas. El que no conoció las sustancias, no las combinó y no comprendió las especies y junta los géneros con los géneros, trabajará en vano y sus esfuerzos serán inútiles; porque las naturalezas se gustan entre ellas, se regocijan entre ellas, se corrompen entre ellas, se transforman entre ellas y se regeneran entre ellas”.

En cuanto a las recetas propias de Bolos de Mendes, se encuentran algunas experiencias que al verificarlas muestran que están asociadas con resultados quiméricos.

Tal el texto siguiente:

“Tome mercurio, fíjelo a los cuerpos<sup>35</sup> de la magnesia<sup>36</sup>, o con el cuerpo del antimonio de Italia, o con el azufre que no pasó por el fuego, o con el afroselinum<sup>37</sup>, o la cal viva, o alumbre de Melos, o el arsénico, o como usted guste, y eche el polvo blanco al cobre; entonces usted tendrá cobre que habrá perdido su color sombrío. Vierta el polvo rojo sobre la plata y, tendrá oro; si lo echa sobre el oro tendrá corporizado un coral de oro. El sandaraque produce este polvo amarillo, lo mismo que el arsénico bien preparado, así como el cinabrio, después de que hubiera sido cambiado completamente. El mercurio solo, puede quitarle al cobre su color sombrío. La naturaleza triunfa sobre la naturaleza”.

Hoy, ese texto es casi imposible de interpretar con precisión. Fundamentalmente porque las palabras mercurio, arsénico, azufre, magnesia, no presentaban para los alquimistas el sentido preciso que tienen para nosotros. Cada uno de ellas designaba en realidad diversas materias que, en la opinión de los autores de esa época, tenían una esencia común.

El interés que puede despertar un estudio de las recetas alquímicas antiguas está limitado a investigar las técnicas usadas en operaciones como disoluciones, calcinaciones, destilaciones, copelaciones, etc., ya que sabemos que la transmutación tan deseada nunca se produjo. Es pues inútil buscar la fórmula exacta en las recetas de Demócrito, de Bolos, de Zósimo o de sus sucesores. Por otra parte, parece que estos autores siempre dejaban una porción oscura, destinada a ser comunicada solamente de viva voz. Es lo que Bolos indica al final de una receta: “He aquí todo lo que hace falta para obtener el oro y la plata; nada se ha olvidado, nada falta allí, excepto el vapor y la evaporación del agua, que los omití a propósito, habiéndolos expuesto plenamente en mis otros escritos”<sup>38</sup> También en las descripciones de *Física y Mística* el autor deja entrever las fórmulas dos polvos de proyección<sup>39</sup>, apropiados para producir oro y plata, aunque las recetas son incompletas.

## 1 – 12. La Farmacopea de Pedacio Dioscórides Anazarbeo

<sup>33</sup> Manuscrito 2.327, *B.N.F.* folio 166.

<sup>34</sup> Manuscrito. 2.327, folios 215 y 216.

<sup>35</sup> Aquí cuerpos, significa metal.

<sup>36</sup> La palabra nagnesia, se aplicaba a diversos materiales blancos. Aquí parece referirse a una sal de plomo.

<sup>37</sup> Selenita, nombre aplicado a una roca que contiene cal, mica y feldespato transparente.

<sup>38</sup> Manuscrito 2.327, folio 31.

<sup>39</sup> Proyección era el nombre que se le daba a ciertos polvos quiméricos con los cuales los alquimistas pretendían convertir los metales inferiores en oro.



Figura 1.28. Pedacio Dioscórides Anazarbeo (c.40 – c.90 d.C.)

Nacido en Anazarbus, Sicilia, en Asia Menor, fue un médico, farmacólogo y botánico cuya obra *De Materia Medica* alcanzó una amplia difusión y se convirtió en el principal manual de farmacopea durante toda la Edad Media y el Renacimiento.

Dioscórides practicó la medicina en Roma en la época del emperador Nerón. Según propio testimonio que figura en la carta que sirve de prólogo a su obra, fue cirujano militar en el ejército romano, con lo que tuvo la oportunidad de viajar en busca de sustancias medicinales por todo el mundo conocido.

En *De Materia Medica*, que consta de 5 volúmenes, describe unas 600 plantas medicinales, unos 90 minerales y alrededor de 30 sustancias de origen animal. A diferencia de otras obras clásicas, esta obra tuvo una enorme difusión en la Edad Media tanto en su original griego como en otras lenguas, tales como el latín y el árabe.

El más antiguo ejemplar que se conserva de la obra data de comienzos del siglo VI, y fue copiado para uso de la patricia romana Anicia Juliana, hija del emperador Anicio Olibrio. Este manuscrito tiene un total de 491 folios, y casi 400 ilustraciones a página completa. En 1569 fue adquirido por el emperador Maximiliano I, y se conserva en la Biblioteca Nacional de Austria (Österreichische Nationalbibliothek). Es conocido como *Codex Vindobonensis Med. Gr. 1.* (Vindobona es el nombre latino de Viena) o, simplemente, como el "Dioscórides de Viena".

Se imprimió por primera vez en 1478, en Toscana y fue traducido al español, en 1566, por Andrés de Laguna.

Existe una edición digitalizada en la Biblioteca digital hispánica.

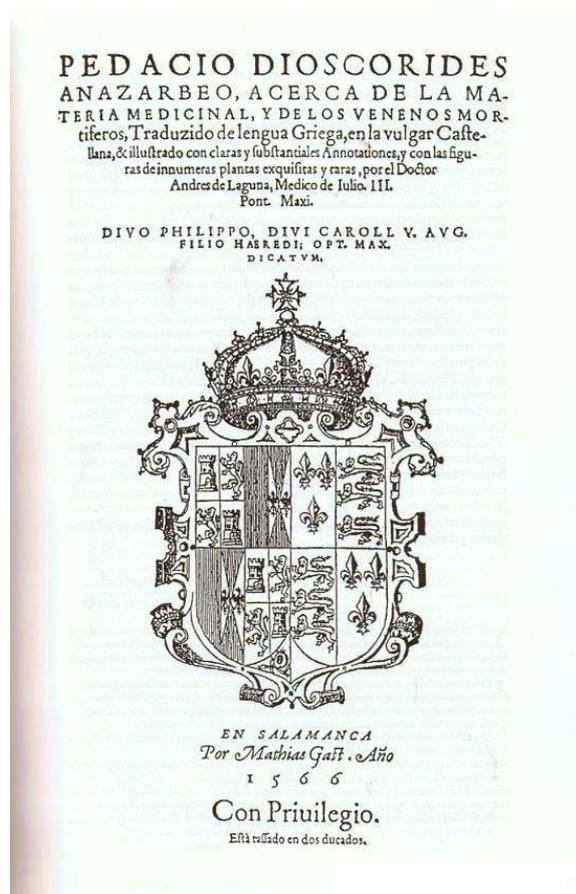


Figura 1.29. Materia Médica. Traducida al castellano. (Salamanca, 1566)

### 1 – 13. La Alquimia de Zósimo de Panópolis

Zósimo vivió en Panopolis (Akhmim) una ciudad de Egipto durante el siglo III de nuestra era.

Escribió una enciclopedia sobre el arte de la alquimia en 28 libros que llevaban el título *chirocmeta* igual que algunas obras de Demócrito y de Bolos de Mendes.. Si bien algunos de los pasajes parecen ser originales, gran parte de la obra es una compilación de textos antiguos hoy perdidos. Sin embargo, en el Manuscrito 2.327 de la Biblioteca Nacional de Francia se encuentran algunos de estos escritos. Entre ellos:

*Las memorias auténticas de Zósimo de Panópolis* (folio 80, reproducido en el folio 220) que presenta una sorprendente analogía con ciertas páginas del Timeo y que proporciona la clave de cuáles eran las ideas de los alquimistas sobre el mercurio de los filósofos.

*Sobre el Tribicus* (alambique de tres cuernos) y sobre su tubo (folio. 81; reproducido en el folio 221). Es la descripción de un aparato, con una serie de figuras que lo representa, una es un alambique, su capitel, sus tubos, su receptor; otras representa unos frascos de digestión sobre un horno. Más abajo (folio 81, reverso), están escritos los axiomas místicos: “Arriba las cosas celestes, abajo las cosas terrestres; por el macho y la hembra, la obra está cumplida.”

*Sobre la evaporación del agua divina que fija el mercurio* (folio 82), Agua divina era uno de los tantos nombres que se le daba al mercurio líquido cuando se aplicaba sobre un metal para amalgamarlos y dar la imagen de plata.

*Libro de la Virtud*. Sobre la composición de las aguas<sup>40</sup>. Donde describe la manera de preparar algunas soluciones.

De los escritos de Zósimo se concluye que en el intervalo de tiempo transcurrido desde la aparición de *Física y Mística* hasta su época, las especulaciones alquímicas se entremezclaron con magia egipcia, filosofía griega, gnosticismo, neo-platonismo, astrología babilónica, teología cristiana y mitología pagana, todo ello expresado con un lenguaje enigmático y alusivo que hacen que la literatura alquímica sea difícil de entender. Por ejemplo, el mercurio se conocía con diversos nombres: agua plateada, siempre fugitivo, agua divina, masculino-femenina, semilla de dragón, bilis de dragón, divino rocío, agua de Escitia (Mar Negro), agua de mar, agua de la Luna y leche de una vaca negra (¡en serio!). Para dar una muestra de su autoridad a sus doctrinas nebulosas, los alquimistas se empeñaban en escribir tratados que atribuían a otros filósofos o celebridades más antiguos. De esta manera se le atribuían trabajos de alquimia a Hermes (personaje mitológico al que consideraban el creador de la Alquimia), Platón, Moisés, Miriam la judía (hermana de Moisés) Teofrasto, Cleopatra e, inclusive, a la diosa Isis. De esta manera consideraban que sus ideas estaban apoyadas en opiniones de personas respetadas por sus conocimientos.

Leyendas como la de Crisomalo, el carnero alado cuyo vellocino era de oro, el cual fue rescatado del Helosponto por Jason y los Argonautas, fueron usadas para hablar de un pergamino que enseñaba la manera de hacer oro mediante el arte alquímico o que las minas del rey Salomón a que se refiere la Biblia eran en rigor fábricas de oro que el Libro de los Reyes, narraba con lenguaje figurado.

Las obras de Zósimo fueron publicadas con traducción al francés por Berthelot y Ruelle en 1887 e incluyen sus “Memorias auténticas”, “Sobre la evaporación del agua divina que fija mercurio” y un tratado sobre “Instrumentos y hornos”. Zósimo escribió que el arte de la Alquimia se practicaba en Egipto bajo el patrocinio y control de reyes y sacerdotes y que era ilegal publicar recetas que detallasen las operaciones de modo que cualquier no iniciado pudiera repetirla. Según Zósimo, sólo Bolos se atrevió a infringir la prohibición de dar detalles. Que los sacerdotes grababan sus secretos en las paredes de los templos y las pirámides usando caracteres jeroglíficos de modo que aunque algún buscador de conocimientos prohibidos se animase y aventurase a entrar en la oscuridad de los santuarios encontrarían inscripciones ininteligibles. Los únicos que estaban iniciados en los misterios de la alquimia eran los judíos, quienes le transmitieron los secretos a otros (y a él).

En su obra, Zósimo demuestra una vasta experiencia en operaciones químicas con metales y minerales. Así, comenta que el “segundo mercurio” (arsénico) puede obtenerse del sandaraque (sulfuro de arsénico) primero por tostación con lo cual se “expulsa” el azufre y queda la “nube de arsénico” (óxido de arsénico III). Cuando se calienta esta nube de arsénico con varias sustancias (reductoras) se obtiene el “segundo mercurio”, que puede usarse para convertir cobre en plata. Por supuesto, el producto de esta última operación no es plata como él imaginaba, sino arseniuro de cobre un sólido blanco de aspecto metálico cuya apariencia semeja bastante a la plata.

Zósimo también describió de manera bastante inteligible la preparación de “plomo blanco” a partir del litargirio usando vinagre; al primer producto de esta reacción, azúcar de plomo o acetato de plomo, lo describe correctamente como una sal de sabor dulce que a medida que transcurre el tiempo se va convirtiendo en plomo blanco. Otros productos químicos que trata en su obra son el rejalgar, el ocre, la hematina, y el natrón (nitrato de sodio). También describe el método para obtener mercurio a partir del cinabrio.

---

<sup>40</sup> Manuscrito 2.327, folio 84, reverso, hasta el folio 89.

Christian Gottfried Grüner publicó en 1814, cuatro pequeños tratados atribuidos a Zósimo<sup>41</sup>: uno sobre la cerveza<sup>42</sup>, otro sobre el templado persa del bronce<sup>43</sup>, sobre el templado del hierro<sup>44</sup> y finalmente otro sobre la fabricación del vidrio<sup>45</sup>. Los tres últimos artículos figuran en los Manuscritos de la Biblioteca Nacional de Francia, pero no son dados allí como de Zósimo; algunos de ellos contienen interpolaciones árabes.

## 1 – 14. Otros alquimistas de principios de nuestra era

### 1 – 14.1. Africanus.

Sextus Julius Africanus, fue un escritor sirio que vivió en la época de los Emperadores romanos Heliogábalo y Alejandro Severo. Fue un compilador enciclopedista<sup>46</sup>. Georgius Syncellus, en su *Chronographía*<sup>47</sup>, expresó que Africanus había escrito sobre materias médicas, naturales, agrícolas y alquímicas. Había compuesto también obras geográficas, así como una historia de Armenia, extraída de los tabularia<sup>48</sup> de Edessa, y obras militares, cuyos fragmentos se conocen. Su libro titulado: *Kestoi* (alusión al cinturón de Venus) trataba toda clase de temas. En la enciclopedia lexicográfica de Suidas se afirma que los remedios propuestos por Africanus, consistían en caracteres escritos, encantamientos y palabras mágicas, precisamente como los de los papiros de Leiden. La *Geopónica* contiene diversos fragmentos de este autor, relativos, por ejemplo a recetas agrícolas o la conservación del vino. El carácter de los escritos de Africanus recuerda a los de Zósimo y a los de los gnósticos.

El nombre de Africanus figura en la lista inicial del manuscrito de San Marcos y está mencionado en el manuscrito 2327<sup>49</sup> al lado de los autores más autorizados.

### 1 – 14.2. Sinesio

Los estudios alquímicos parecen alcanzar su grado más alto de la cultura hacia finales del IV y principios del siglo V, durante el reinado de Teodosio 1º y sus sucesores. En efecto, en esta época el desarrollo de las ciencias de la Naturaleza entró cada vez más en el terreno de la historia; y los nombres de quienes se ocuparon de esa actividad son personajes que dejaron una marca en sus tiempos. Sus escritos tienen el carácter de obras serias. A menudo, contienen procedimientos positivos y prácticos. Entre los naturalistas más importantes de esa época se encuentran Sinesio y Olimpodoro.

Sinesio (ca. 365 – ca. 415) fue un filósofo, naturalista y clérigo nacido en Cirene (actual Cirenaica en Libia). Estudió en Alejandría y fue discípulo de la filósofa Hipatia. A pesar de su origen pagano, en 401 fue elegido por sus conciudadanos como obispo de Ptolemaida en Cirenaica y con-

<sup>41</sup> **Grüner, C. G., (1814):** Zosimi Panopolitani De zythorum confectione fragmentum nunc primum graece ac latine editum. Solisbachi. Jena.

<sup>42</sup> Manuscrito de San Marcos, B.N.F. folio 162.

<sup>43</sup> Reproducido por Eulogius Schneider, en su *Ecloga physica*, p. 95; Ms. 2.327, folio 162; Manuscrito de San Marcos, folio 118.

<sup>44</sup> Manuscrito de San Marcos, folio 104 y folio 118 anverso.

<sup>45</sup> Manuscrito de San Marcos, folio 115 anverso; ms. 2.327, folios 12 y 13.

<sup>46</sup> *Geoponica*, edición de Needham, p. XLII (1781).

<sup>47</sup> P. 319 de la edición de Paris.

<sup>48</sup> Registros notariales de Edessa (hoy Siria)

<sup>49</sup> Manuscrito 2.327, fol. 122 reverso.

sagrado como tal por su amigo Teófilo el patriarca de Alejandría. Fue el ciudadano principal de su ciudad y “el más capaz de defenderla contra los bárbaros”. Fue un obispo singular: un marido que cuidaba a su esposa y a sus hijos. A pesar de todas sus reservas, Teófilo aceptó su decisión de esconder la verdad de su familia a su pueblo y le permitió conservarla.

Sinesio fue un escritor prolífico, sus obras fueron publicadas en París en 1631, conjuntamente con las de San Cirilo. Ellas contienen diversos textos filosóficos que se relacionan con las doctrinas neoplatónicas y una correspondencia muy interesante. Así se conoce de él una carta a Hipatia<sup>50</sup>, la célebre filósofa de Alejandría, masacrada más tarde por los cristianos. Carta que contiene la primera indicación conocida del aerómetro. En sus cartas, Sinesio cita continuamente a los clásicos y sus obras alquímicas. En *De Providentia*, cuenta la historia de la administración opresiva y de la caída de Gaïnas<sup>51</sup>. Escribió un libro sobre los sueños y su interpretación, así como las recetas para conciliar el sueño y un conjunto de recetas alquímicas que figuran en los papiros de Leiden. En sus recetas siempre hay una parte en la cual el lenguaje de vuelve vago a propósito, como dando a entender que no quiere ser sospechado de su divulgación. Al igual que los primeros alquimistas, también compuso himnos gnósticos, en ciertos aspectos congéneres de poemas alquímicos, donde la concepción de la materia aparece frecuentemente<sup>52</sup>. “Tu eres la naturaleza de las naturalezas,” exclama más o menos al estilo del pseudo-Demócrito. “¡Oh naturalezas, demiurgos de las naturalezas!”. En los manuscritos de la Biblioteca Nacional de Francia<sup>53</sup>, figuran varios textos de Sinesio, en particular un comentario sobre pseudo-Demócrito, enviado “a Dioscorus, sacerdote del gran Serapeo de Alejandría, por el favor divino: Synésius el filósofo, Salud”. Este comentario ha sido traducido al latín por Pizzimenti en el libro citado más arriba al hablar de Demócrito. Dioscorus fue sacerdote del Serapeum hasta la destrucción del templo de Alejandría por orden de Teodosio, destrucción cumplida en el año 389.

Otra obra de Sinesio, que parece interpolada por partes, ha sido traducida al francés. Es “*El viejo libro del docto Synésius, abad griego*”. Como ejemplo del lenguaje que empleaba, al referirse al mercurio escribió “Extrae de ello (del cinabrio) tu plata viva, como está dicho allí, y harás la medicina o la quintaesencia, el poder imperecedero y permanente, el nudo y el lazo de todos los elementos que ella contiene en sí y que forman el espíritu que reúne a todas las cosas” Este es el estilo de Zósimo y de los alquimistas gnósticos.

### 1 – 14.3. Olimpiodoro

Olimpiodoro (378 – 425) fue un historiador griego nativo de Tebas, en Egipto, que tomó parte a una embajada enviada a Attila, bajo el Emperador Honorius<sup>54</sup>, en 412. Viajó a Blemmyes<sup>55</sup>, en Nubia, visitó y estudió con los sacerdotes de Isis en Philæ, donde los últimos restos del helenismo, protegidos por un tratado, quedaron a salvo hasta 562. Este templo todavía subsiste.

.El mismo Olimpiodoro escribió la historia de su tiempo, de 400 a 425 y se la dedicó a Teodosio II.

<sup>50</sup> Œuvres de Synésius, p. 174.

<sup>51</sup> Líder goda que sirvió en el Imperio Romano de Oriente durante los reinados de Teodosio I y de su hijo, Arcadio.

<sup>52</sup> 48 Œuvres de Synésius, p. 330 y siguientes.

<sup>53</sup> Manuscrito. 2.327, fol. 31.

<sup>54</sup> Flavius Honorius Augustus. Emperador del Imperio Romano de Occidente desde 395 hasta 423.

<sup>55</sup> Ver la *Mémoire sur les Blemmyes* de M. Révillout. *Mém. de l'Acad. des Inscriptions*, 1er série, t. VIII, p. 371. Este viaje también es señalado por Fotius.

Fotius<sup>56</sup> designó a Olimpiodoro con el nombre característico de *pôiètes* de profesión: lo que no quiere decir poeta, sino alquimista (*operador*). Esta palabra responde a *poiêsis*, que significa “la gran obra” en el lenguaje de los adeptos.

La obra alquímica de Olimpiodoro lleva como encabezado: *Olimpiodoro filosofo ante Pétasius, rey de Armenia, sobre el arte divino y sagrado*. Fabricius<sup>57</sup> y Hoefler<sup>58</sup> lo citan según otros manuscritos, que añaden las palabras: *Comentarios sobre el libro del acto de Zósimo y sobre los dichos de Hermes y de los filósofos*. El autor nombra entre sus predecesores a Agatodemon, Chymes, María la Judía y Sinesio. Invoca a las Musas y a la raza de ilustres Piéridas<sup>59</sup>, el oráculo de Apollón<sup>60</sup>, los demonios o los dioses inferiores, y las exposiciones de los profetas. En esta obra también se refiere a la autoridad de la Biblia, que parece haber leído poco, a las inscripciones del templo de Isis<sup>61</sup>, y a las de las obras de los filósofos griegos, que conoció mucho mejor. En otra parte él reproduce las leyendas de la antigüedad relativas al origen del oro engendrado en la tierra de Etiopía<sup>62</sup>. “Allí, una especie de hormiga extraía el oro y lo ponía a la luz del día y se regocijaba con eso”<sup>63</sup>

A diferencia de Zósimo, Olimpiodoro no procedió por alegorías. “Los antiguos”, dijo, “tenían la costumbre de esconder la verdad, de alabearse y de oscurecer mediante alegorías lo que es claro y evidente para todo el mundo”. En su obra hizo un desarrollo pormenorizado sobre los métodos de maceración, lavado y tostado de los minerales. Diferenció a los cuerpos en volátiles y fijos.

Más adelante dijo “Los antiguos admitían tres tipos de tinturas”<sup>64</sup>; la primera es aquella que huye prontamente (se volatiliza), como el azufre y el arsénico<sup>65</sup>; la segunda es aquella que huye lentamente, como las materias sulfurosas; la tercera es aquella que no huye en absoluto: tales son los metales, las piedras y la tierra. La primera tintura, que se hace con el arsénico, tiñe el cobre de blanco. El arsénico es una especie de azufre que se volatiliza prontamente: todo lo que es semejante al arsénico y se volatiliza por el fuego y se llama materia sulfurosa”. El también agregó: “El mercurio blanquea todo, extrae las almas de todo, cambia los colores y subsiste.”

Olimpiodoro reprodujo las narraciones de Zósimo sobre el papel de la alquimia frente a los reyes, en Egipto y citó textualmente los comentarios de Sinesio sobre Demócrito<sup>66</sup>.

En otra parte, dio en detalle la segunda tintura, la que huye lentamente y que se emplea en la fabricación de la esmeralda: “Tome dos onzas de bello cristal y una media onza de cobre calcinado; prepare primero el cristal, producido por la acción del fuego, póngalo en el agua pura, límpielo, muela estas sustancias<sup>67</sup> en un mortero y deshágalas juntos a la misma temperatura”.

El escrito de Olimpiodoro proporciona datos históricos que permiten fijar las fechas y los lugares. En efecto, desde las primeras líneas, él nombra los meses egipcios, *mechir* y *mesori*, meses egipcios re-

<sup>56</sup> Codex LXXX.

<sup>57</sup> *Bibliotheca Græca*, t. XII, 764 ; 1ª edición.

<sup>58</sup> *Histoire de la Chimie*. T. I, p. 273.

<sup>59</sup> las Piéridas, o hijas de Piero, eran nueve doncellas muy hábiles en el arte del canto que, queriendo rivalizar con las Musas les propusieron una competencia. Como era de esperar, las muchachas perdieron y las Musas las castigaron transformándolas en urracas.

<sup>60</sup> En Delfos.

<sup>61</sup> En la isla de Philæ sobre el río Nilo.

<sup>62</sup> Ver Plinio, H. N. 1. XI, Cap. XXXI, 1. XXXII, Cap. IV, sección 21. — Solin, Cap. XXX, etc.

<sup>63</sup> Manuscrito 2.250, fol. 123.

<sup>64</sup> Manuscrito 2.327, fol. 199; manuscrito de San Marcos, folio 165.

<sup>65</sup> Las palabras azufre y arsénico no deben entenderse en sus sentidos literales modernos.

<sup>66</sup> Manuscrito 2.327, folio 207 y 208.

<sup>67</sup> Él agregó un tercer cuerpo, el sericón (antimonio).

ales, que corresponden, como sabemos, a los tétramenos<sup>68</sup> de verano y de invierno. Él citó<sup>69</sup> textos de las bibliotecas Ptolemaicas, es decir de Alejandría.

Lo que es más concluyente, Olimpiodoro reprodujo las opiniones de los filósofos griegos de la escuela jonia, Tales, Anaximandro, Anaxímenes, y las de los eléatas, Parménides y Jenófanes, sobre los principios de las cosas.

Todo esto, junto con el lenguaje fuertemente imbuido de gnosticismo, tiende a precisar la época en que la obra de Olimpiodoro fue escrita, a saber: un poco antes de la ruina de la escuela de Alejandría.

## 1 – 15. Cerrando el Capítulo

Estos son los principales autores que en el “mundo griego” que con sus concepciones de hombre y de la naturaleza contribuyeron a sentar las bases de la Alquimia. En particular, las concepciones aristotélicas gravitaron en el pensamiento científico más allá de la Edad Media. Cuando su doctrina se convierte en la doctrina oficial de la Iglesia, en un contexto donde esta adquirió un enorme poder terrenal hizo que muchos científicos brillantes, como Robert Boyle o Gottfried Leibniz imbuidos en la fe cristiana, no aceptaran la existencia de los átomos.

Por razones de brevedad (y para no aburrir a los lectores) se ha omitido información sobre la vida y obra de algunos presocráticos y algunos comentaristas, como Clemente de Alejandría, Stefanus de Alejandría, Tertuliano y otros alquimistas menores ya que sus ideas no hicieron aportes significativos a la evolución de la Química en la Edad Media y la Edad Moderna. Tampoco se hace mención de los poemas alquímicos escritos por Heliodoro, Teofrasto, Arquelao o Hieroteo que reflejan el particular estilo literario de la época en que les tocó vivir. Quien desee satisfacer su curiosidad por tales temas puede recurrir a la bibliografía, particularmente a los libros de Marcelin Berthelot, *Les Origines De L'Alchimie, Collection des Anciens Alchimistes Grecs* e *Introduction a L'étude de la Chimie des Anciens et du Moyen Age*, donde también encontrarán amplias referencias a los Manuscritos de la Biblioteca Nacional de Francia mencionados profusamente en el texto.

## Bibliografía

**Berthelot, M., (1885):** *Les Origines De L'Alchimie*, Steinheil, Paris.

**Berthelot, M., (1887):** *Collection des Anciens Alchimistes Grecs*, Steinheil, Paris.

**Berthelot, M., (1889):** *Introduction a L'étude de la Chimie des Anciens et du Moyen Age*. Steinheil, Paris.

**Columella L.I.M., (2010):** *Res rustica*, Oxford University Press. New York.

**Copleston, F., (1984):** *Historia de la Filosofía. Tomo I. Grecia y Roma*. Ariel Filosofía. Teruel.

**García Bacca, J. D., (1944):** *Los Presocráticos*, Fondo de Cultura Económica, México.

<sup>68</sup> Períodos de 120 días en el calendario egipcio.

<sup>69</sup> Ms. 2.327, folio 206.

- Grüner, C.G., (1814):** *Zosimi Panopolitani De zythorum confectione fragmentum nunc primum graece ac latine editum*. Solisbachi. Jena.
- Guthrie, W.K.C., (1993):** *Historia de la filosofía griega*, vol. II, Gredos Madrid.
- Hoefler, F., (1866):** *Histoire de la Chimie*, 2ª ed., Firmin Didot, Paris.
- Jaeger, W., (1993):** *Paideia*, FCE, México, Libro Primero, cap. IX, Libro Segundo, cap. III.
- Kirk, C.S., Raven, J.E., (1970):** *Los filósofos presocráticos*, Gredos, Madrid.
- Lindberg, D., (1992):** *The beginnings of western science: the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 b.c. to a.d 1450*, Chicago University Press, Chicago, cap. 1 (Hay traducción española: *Inicios de la ciencia occidental*, Paidós)
- Mondolfo, R., (1979):** *La comprensión del sujeto humano en la cultura antigua*, Eudeba, Buenos Aires, Segunda Parte.
- Mullach, F. W. A., (1843):** *Democriti Abderitæ operum fragmenta*. Besser. Berlin,
- Pattison Muir, M.M., (2004):** *The Story of Alchemy and the Beginnings of Chemistry*, Hodder and Stoughton, London.
- Reuvsens, C.J.C.; (2011):** *Lettres a M. Letronne. Sur Les Papyrus Bilingues Et Grecs: Et Sur Quelques Autres Monuments Gréco-égyptiens Du Musée D'antiquités De L'université De Leide*. Nabu Press, Paris.
- Rochberg, F.,** "The cultures of ancient science: some historical reflections", *Isis*, **1992**, 83, pp. 547-553.
- Shank, M.H., (2000):** "Introduction" en: M. Shank (ed.) *The scientific enterprise in Antiquity and the Middle Ages*, Chicago University Press, Chicago.
- Swerdlow, N.** "Otto E. Neugebauer (26 May 1899-19 February 1990)", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 137, nº 1 (**1993**), pp. 139 -165.
- Zeller, E., (1955):** *Outlines of the History of Greek Philosophy*. 13ª edición. Meridian Books. New York.



## II. ALQUIMIA EN EL ANTIGUO EGIPTO

### 2 – 1. Introducción

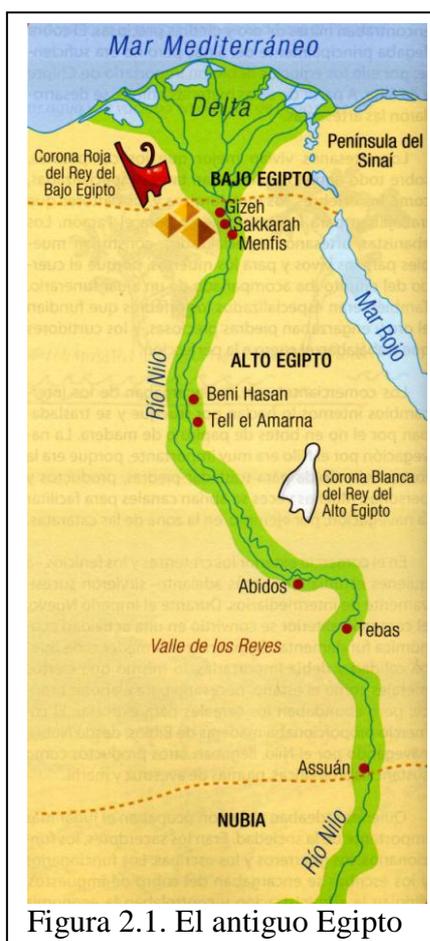


Figura 2.1. El antiguo Egipto

En el Noreste de África, bordeando el río Nilo se desarrolló una de las civilizaciones más antiguas, la egipcia. El antiguo Egipto emerge de la prehistoria alrededor del 3400 a.C. Esta civilización, altamente desarrollada para su época, perduró por más de tres milenios, durante los cuales diseminó su influencia a lo largo y a lo ancho de sus fronteras. Ya en el siglo XIX, los arqueólogos habían encontrado influencias egipcias en civilizaciones bastante alejadas de las márgenes del Nilo.

### 2 – 2. Artesanías, técnicas, usos y costumbres

Los habitantes del antiguo Egipto fueron personas muy industriosas que si bien constituían una sociedad muy estratificada, se esforzaban en cumplir con las reglas sociales impuestas por las autoridades de la época, ateniéndose a reglas de comportamiento y de convivencia que hoy nos pueden sorprender.

### 2 – 3. Técnicas artesanales vinculadas con la alquimia

Hoy se acepta universalmente que las técnicas artesanales de los trabajadores egipcios marcaron el camino al resto del mundo y que a ellos se deben los descubrimientos de los hechos que hicieron posible la Química.

Los primeros desarrollos de las técnicas artesanales en el campo de la Química datan de alrededor del 3000 a.C y están vinculados con la producción de objetos de bronce y de estaño.

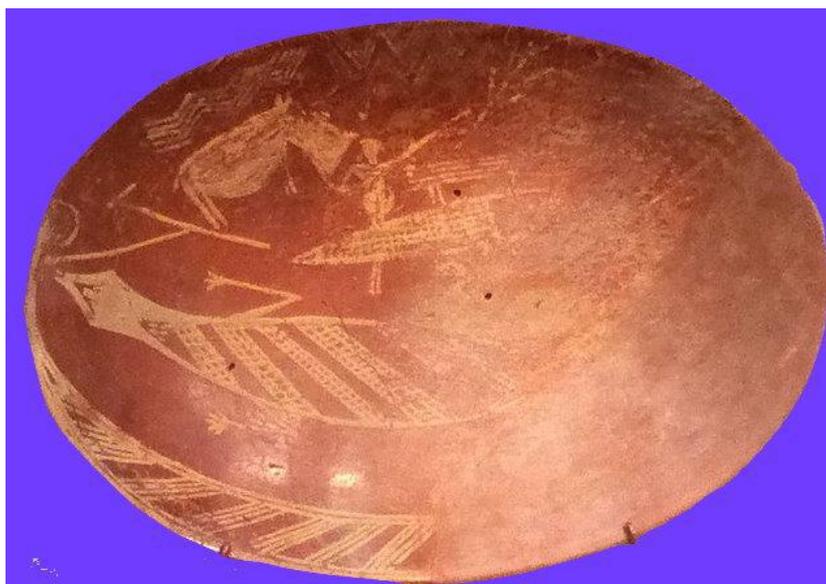


Figura 2.2. Plato de bronce grabado (ca. 2900 a.C).

Las técnicas artesanales que proveen datos acerca de la evolución de la Química en esa época son la Metalurgia, la elaboración del vidrio, la fabricación de colorantes y tinturas, etc. Muchas de estas técnicas alcanzaron un nivel asombroso de perfección en esa región.

## 2 – 4. Minería y Metalurgia

La metalurgia, en particular, se desarrolló con una técnica muy elaborada y una organización comercial que no sería desdeñada en el mundo moderno. La explotación de las minas fue una industria muy importante que ocupaba a varios miles de trabajadores. Ya en el siglo XXXIV a.C, en el



Figura 2.3. Zona de yacimientos de cobre, en el antiguo Egipto.

comienzo del período histórico, los egipcios tenían un conocimiento preciso acerca de la ubicación de las minas de cobre y de los procesos de extracción del metal. Durante la dinastía cuarta y las siguientes, esto es a partir del 2900 a.C, la obtención de los metales parece haber sido enteramente monopolio de la Corte. El manejo de las minas y de las canteras era encomendado a los más altos funcionarios y aún a los hijos del Faraón. No se sabe si esos encumbrados personajes eran metalúrgicos profesionales, pero al menos se puede conjeturar que los detalles de la práctica metalúrgica, siendo de extrema importancia para la Corona, eran cuidadosamente guardados del vulgo. Y si se tiene presente la estrecha relación entre la familia real egipcia y la clase sacerdotal, es probablemente cierta la tradición de que la Química vio por primera vez la luz en los laboratorios de los sacerdotes egipcios.

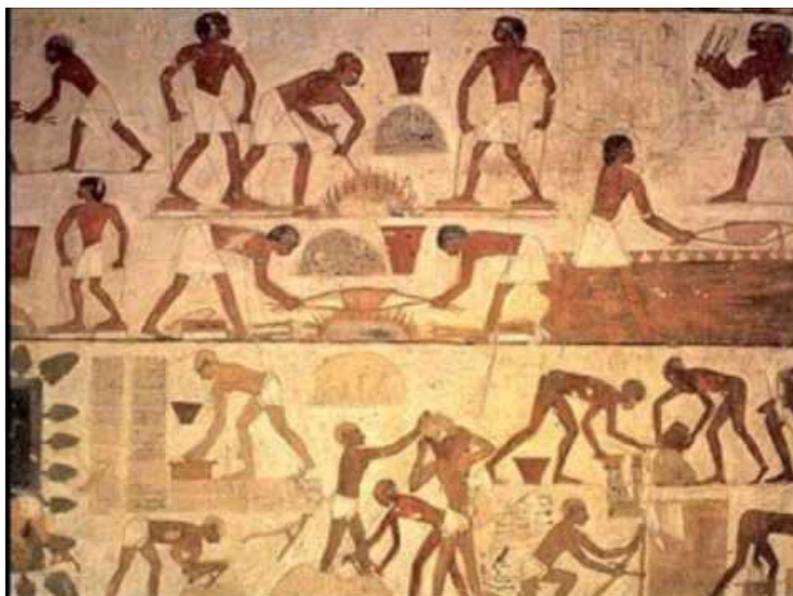


Figura 2.4. Grabado que muestra el laboreo en una mina de cobre. Aproximadamente 3400 a.C.

## 2 – 5. Extracción de minerales de cobre, de hierro y de plomo

Además del cobre, que se laboreaba en el desierto oriental, entre el Nilo y el Mar Rojo, el hierro era conocido en Egipto desde un período muy temprano y comenzó a utilizarse ampliamente alrededor del 800 a.C. Según Alfred Lucas<sup>70</sup>, el hierro parece haber sido un descubrimiento asiático. Realmente se lo conocía en el Asia Menor alrededor del 1300 a.C. En ese siglo se inició la última fase de la prehistoria debido al desarrollo de la metalurgia del hierro lo que dio origen a la llamada “Edad del hierro”. Los pueblos que dominaron esta tecnología pudieron fabricar armas más resistentes y tenaces que les permitieron imponerse a los que usaban espadas o escudos de bronce. El hierro fue ampliamente usado por los hititas quienes extendieron su imperio gracias a la mayor potencia de sus armas. Uno de los reyes de los hititas, le envió a Ramses II, el famoso faraón de la decimonovena dinastía, una espada de hierro y una promesa de un embarque del mismo metal. Los egipcios llamaban al hierro “el metal del cielo” o “ba-en-pet” lo que indica que el primer espécimen empleado para su obtención era de origen meteórico, el nombre babilónico tiene el mismo sentido. No hay duda que los egipcios valoraron al hierro tanto por su rareza como por la fascinación de ser un producto de una fuente celestial. Aunque parezca extraño, no fue utilizado para propósitos decorativos, religiosos o simbólicos que — junto con el hecho de que se oxida tan rápidamente — permiten explicar porqué se han descubierto, comparativamente, tan pocos objetos de hierro pertenecientes a las primeras dinastías. Afortunadamente, uno de los objetos que han perdurado presenta algunos puntos de interés: es una herramienta de hierro de la mampostería de la Gran Pirámide de Khufu, es decir, de alrededor del 2900 a.C. Esta herramienta fue sometida a análisis químicos y se encontró que contenía combinado carbono, lo que sugiere que puede haber sido un compuesto de acero. En el año 666 a.C. el proceso de templado se usaba para los filos de las herramientas de hierro, pero la historia de que los egipcios tenían algunos medios secretos del endurecimiento del cobre y bronce se ha perdido y probablemente carezca de fundamento. Cecil. H. Desch<sup>71</sup> ha demostrado que un bronce martillado conteniendo 10,34 % de estaño, es considerablemente más duro que el cobre y permite un mucho mejor filo cortante.

<sup>70</sup> Lucas, A., (1989): *Ancient Egyptian Materials and Industries*, Histories & Mysteries of Man LTD. London.

<sup>71</sup> Desch, C.H.. The Tempering of Cooper, *Discovery* 8 361-362 (1927)

De los otros metales no preciosos, el estaño se usaba en la manufactura del bronce, y se detectó que el cobalto se usaba como agente colorante de ciertos tipos de vidrio y de barnices. Estos metales se encuentran raramente en Egipto por lo que parece probable que el abastecimiento fuera importado desde Persia. El plomo, si bien nunca tuvo extensas aplicaciones, fue uno de los primeros metales conocidos, habiéndose encontrado en tumbas de las épocas predinásticas.

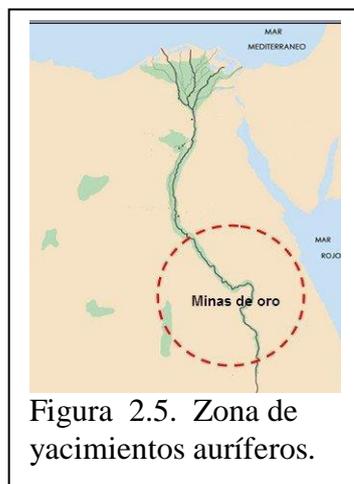


Figura 2.5. Zona de yacimientos auríferos.

La galena ( $PbS$ ) se extraía de las minas de Gebel Rasas (Montaña de plomo) situada a unas pocas millas de la costa del Mar Rojo, y el abastecimiento debió haber sido bastante bueno ya que cuando la mina se reactivó entre 1912 y 1915, produjo más de 18.000 toneladas de mineral.

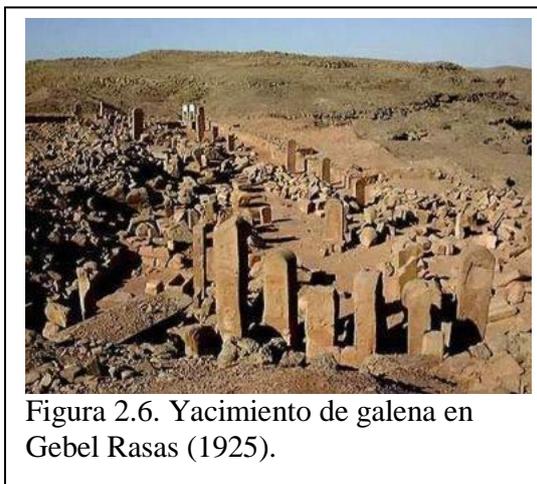


Figura 2.6. Yacimiento de galena en Gebel Rasas (1925).

## 2 – 6. El oro en Egipto.

Las enormes cantidades de oro, amasadas por los faraones fueron la envidia de los reyes de países vecinos. Si bien mucho oro se importaba, era recibido como tributo o capturado en las contiendas armadas, las minas egipcias mismas eran razonablemente productivas. En Egipto y Sudán se han descubierto más de 100 minas de oro antiguas, aunque parece que dentro de los límites propios de Egipto sólo había minas de oro en los valles desiertos del Este del Nilo cerca de Ikoptos, Ombos y Apollinopolis Magna.

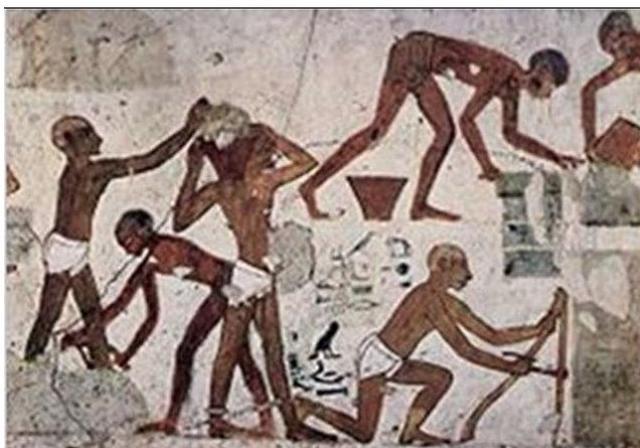


Figura 2.7. Grabado que muestra la explotación del oro. Ella estaba a cargo de la nobleza, Los obreros sólo hacían el trabajo pesado.

En una de esas minas, cerca de Apollinopolis, se encontró un papiro de alrededor del siglo XIV a.C. con un plano de la misma y aún hoy en día, en el Wadi Fawakhir, a mitad de camino entre Koptos y el Mar Rojo se pueden ver los restos de no menos de 1300 casas que alojaron a los obreros de una mina de oro. En una de las cámaras de tesoro del templo de Ramsés III, en Medinet-Habu están representados ocho enormes bolsos, siete de los cuales contienen oro. La palabra egipcia para

el oro es *nub*, que perdura en el nombre de Nubia, una región que en los tiempos antiguos proveía una gran cantidad de oro. El científico francés Jean François Champollion consideró que eran una clase de crisoles, mientras que Ippolito Rosellini<sup>72</sup> y Carl Richard Lepsius<sup>73</sup> preferían ver en la imagen unos bolsos o telas con extremos colgantes en los cuales se lavaban los granos de oro en los que las líneas radiantes representan las corrientes de agua que fluían a través de ellos.

Las minas de oro de Nubia y de otras partes de Egipto parecen haber sido eficientemente diseñadas y controladas, aunque con una dura desatención del elemento humano empleado.



Figura 2.8. Imágenes del lavado, pesado y fundido del oro en Egipto. (Siglo XIX A.C.)

También se trataban las arenas auríferas aluvionales y se hacía una distinción entre la que se obtenía de esta manera y la que provenía de las minas. Esta última se llamaba *nub-en-set*, es decir, oro de la montaña, mientras que el oro aluvional se llamaba *nub-en-mu*, que significaba “oro del río”. La arena aurífera se colocaba en una saca de vellón con una tela de lana en el interior. Entonces se le agregaba agua y la saca era agitada vigorosamente por dos hombres. Al vaciarse el agua las partículas de tierra eran arrastradas dejando las partículas más densas adheridas al vellón. En una de las construcciones de Tebas hay una imagen de esta operación (Figura 2.8.)

## 2 – 7. Mercurio y otros metales

El mercurio recibió una gran variedad de nombres en la antigüedad egipcia: hydrargyros (del griego *υδράργυρος*, plata líquida), *argentum vivum* (plata viva en latín), siempre fugitivo, agua divina, masculino-femenino, semilla de dragón, bilis de dragón, divino rocío, agua de Escitia (Mar Negro), agua de mar, agua de la Luna, leche de una vaca negra y otros. Se afirma que fue encontrado en tumbas egipcias que datan de 1500 – 1600 a.C. Desde esa época se lo obtenía principalmente a partir del cinabrio (HgS) El cinabrio se empleaba también como pigmento en la elaboración de cerámicas.

## 2 – 8. Los metales y el misticismo

En la antigüedad egipcia se fue desarrollando gradualmente un misticismo entre los practicantes de la Alquimia, basado sobre ideas religiosas y mágicas que provenían de la civilización caldea y que fueron adoptadas y modificadas por los egipcios. En esas civilizaciones, los hombres comenza-

<sup>72</sup> Rosellini, I., (1834): *I Monumenti dell' Egitto e della Nubia*; Niccolo Capurro. Pisa.

<sup>73</sup> C.R. Lepsius., (1837) : *Lettre à M. le Professeur Rosellini sur l'alphabet hiéroglyphique*. Roma.

ron a reconocer la regularidad de las revoluciones de los cuerpos celestes y comenzaron a formularse hipótesis acerca de las consecuencias que podrían tener sobre los fenómenos naturales y hasta sobre el comportamiento humano. De esta manera, la influencia de los astros comenzó a extenderse a una gran variedad de sucesos, como que el Sol regula las estaciones y el desarrollo vegetal, que la mujer da a luz al cabo de nueve lunas, etc. Así se fue asociando la Astrología a la Astronomía, primero en Babilonia y Caldea y luego se fue extendiendo por todo Medio Oriente y Egipto<sup>74</sup>. En esa época se conocían siete cuerpos celestes cuyo comportamiento no obedecía a la voluntad humana sino a designios divinos. También eran siete los días de la semana, los colores, las cuerdas de la lira y los tonos musicales, las vocales del alfabeto griego, el número de estrellas de la Osa Mayor, el número de sabios de la antigua Grecia, las puertas de Tebas y siete es también el número de días de cada fase de la Luna. Por lo tanto, no es extraño que conociéndose en ese entonces sólo siete metales, se asociase a cada metal con uno de los cuerpos celestes. Esa asociación estaba reforzada por una correspondencia en los colores. Los cuerpos celestes se ven con coloraciones sensiblemente distintas: *suus cuique color est*, dijo Plinio (*H. N.* II, 16). La naturaleza diversa de estos colores fortaleció la relación entre los planetas y los metales. Por ese se asimiló fácilmente al oro, el más resplandeciente y el rey de los metales, con el Sol y su luz amarilla. La luz blanca de la Luna fue asimilada al tinte de la plata, la luz rojiza del planeta Marte — *igneus* según Plinio y *πυροεις* según los alquimistas — recuerda desde mucho tiempo el brillo de la sangre y del hierro al ser calentado. El brillo casi azulado de Venus, la “estrella” de la noche y la mañana, semeja al de las sales de cobre metal cuyo nombre viene de la isla de Chipre y era consagrado a la diosa Cypris, uno de los nombres griegos de Venus. De allí la asociación hecha por la mayoría de los eruditos antiguos. Entre el tinte blanco y sombrío del plomo y el del planeta Saturno, el parentesco es todavía más estrecho y esa relación fue invocada constantemente desde la época alejandrina. El color y la apariencia del planeta Mercurio debido a su proximidad al Sol, — definidos como “chispeante” (*σπαζων*) y “radiante” según Plinio,— estableció su asociación con el estaño. Júpiter “el resplandeciente” (*Φαεθων*), se asoció con una aleación natural de oro y plata llamada “electrum”, que se consideraba un metal.

Todas estas atribuciones están ligadas estrechamente a la historia de la astrología y de la Alquimia. En efecto, en el espíritu de los autores de la época alejandrina no eran simples relaciones, sino que se trataba de la misma generación de los metales, que se suponía eran producidos bajo la influencia de los astros en el seno de la Tierra.

Con ligeras variaciones, en el siglo V de nuestra era la asociación de metales y cuerpos celestes era la que muestra la Figura 2.9.

<b>Oro</b> .....	<b>Sol</b>	<b>Plata</b> .....	<b>Luna</b>
<b>Electrum</b> .....	<b>Júpiter</b>	<b>Hierro</b> .....	<b>Marte</b>
<b>Cobre</b> .....	<b>Venus</b>	<b>Estaño</b> .....	<b>Mercurio</b>
<b>Plomo</b> .....	<b>Saturno</b>		

Figura 2.9. Correspondencia entre metales y cuerpos celestes según Olimpiodoro.

(El electrum era una aleación de oro y plata, que en esa época se consideraba un metal distinto)

<sup>74</sup> Como dato anecdótico, podemos mencionar que, luego de la conversión de Constantino y con el advenimiento del Cristianismo en Europa, fueron desapareciendo de este continente los trabajos de Ptolomeo sobre Astronomía. Sin embargo, lo que perduró, y hasta nuestros tiempos, fue su tratado de Astrología, el *Tetrabiblos*.

## 2 – 9. El arte de trabajar el vidrio

La metalurgia no fue el único arte practicado con notorio éxito por los artesanos del antiguo Egipto. El vidrio, fue casi seguramente inventado por los egipcios, y no por los fenicios, y fue producido a gran escala desde épocas muy tempranas, anteriores a los datos disponibles sobre la civilización fenicia.

Este arte tiene un origen muy antiguo en Egipto, lo que resulta evidente de los cántaros y ornamentos encontrados en las tumbas. Las pinturas en las tumbas han sido interpretadas como descriptivas del proceso del soplado del vidrio.



Figura 2.10. Grabados de sopladores de vidrio

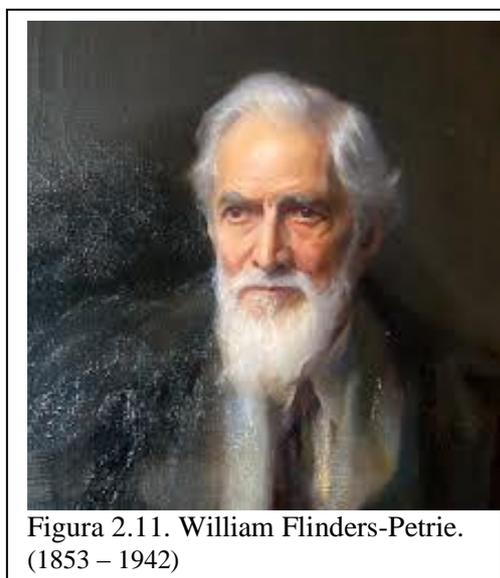


Figura 2.11. William Flinders-Petrie.  
(1853 – 1942)

Esas ilustraciones representan forjadores soplando sus fuegos mediante cañas guarnecidas con arcilla, lo que permite concluir que el soplado del vidrio es de origen egipcio y no fenicio.

Los restos de hornos de vidrio descubiertos por Flinders – Petrie en Tel – Amarna (1400 d.C) ilustran la manufactura de varas, cuentas, jarras y otras figuras, que se obtenían, aparentemente, cubriendo un molde de arcilla con vidrio al estado fluido y removiendo la arcilla una vez que al enfriar el vidrio adquiriría consistencia sólida. Los artículos de vidrio egipcios eran coloreados y, a menudo, hermosamente decorados. De los análisis de los artículos de vidrio del antiguo Egipto se encontró que, generalmente, su composición era de  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO}$  con un poco menos contenido de  $\text{Na}_2\text{O}$  que los vidrios modernos. El plomo se usó en la manufactura del vidrio desde tiempos muy remotos. Científicos franceses analizaron un vaso de la Cuarta Dinastía que contenía alrededor de un 25% de óxido de plomo.

Científicos franceses analizaron un vaso de la Cuarta Dinastía que contenía alrededor de un 25% de óxido de plomo.

Se manufacturaban perlas artificiales, hechas de vidrio, en tal cantidad que constituían un artículo importante en el negocio de exportación y las viejas leyendas acerca de esmeraldas enormes y otras piedras preciosas se pueden explicar razonablemente suponiendo que la joyería de imitación era vastamente emprendida.

Los trabajos en vidrio más antiguos que perduran corresponden a la decimoctava dinastía y el objeto de vidrio más antiguo que se conoce es una gran bola presente en la figura oval que representa al Faraón Amen-Hotep I, que ahora se encuentra en el Ashmolean Museum en Oxford.

Se manufacturaban perlas artificiales, hechas de vidrio, en tal cantidad que constituían un artículo importante en el negocio de exportación y las viejas leyendas acerca de meraldas enormes y otras piedras preciosas se pueden plicar razonablemente suponiendo que la joyería de imitación era vastamente emprendida.



Figura 2.12. Vasija de vidrio. Siglo IV a.C.



Figura 2.13. Collar de cristal-loza. (1350 -1292 a.C).

## 2 – 10. Textiles y materiales colorantes

Los inicios del arte del tejido y de la obtención de pigmentos y colorantes se ha perdido en la antigüedad. El ropaje de las momias que se conserva en algunos museos, evidencian la habilidad del tejedor y la calidad del teñido que ha permitido que las telas perduren durante tantos siglos y mantengan bastante bien los colores originales.

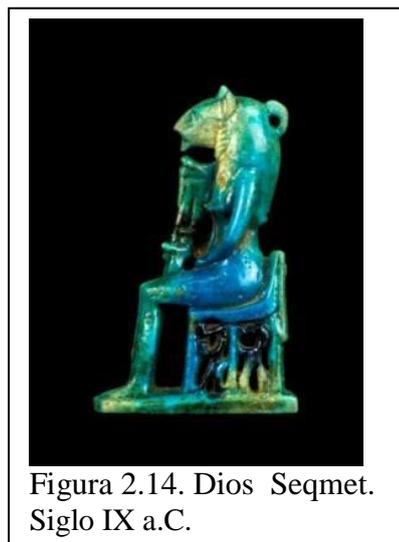


Figura 2.14. Dios Seqmet. Siglo IX a.C.

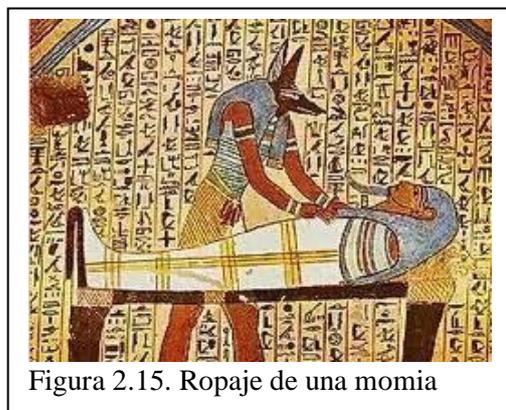


Figura 2.15. Ropaje de una momia

Las telas se fabricaban con lino o con algodón y por la calidad de las que han llegado hasta nuestros días, parece que los telares fueron excelentes obras de ingeniería. Las fibras de lino se teñían con ocre y colorantes extraídos del cártamo, la rubia, el añil (azul egipcio) y otros vegetales.

Las imágenes de sacerdotes vestidos con ropaje extremadamente blanco hacen suponer que conocían algún método de blanqueo. Se ha especulado que podría haber sido sulfuro de calcio.



Figura 2.16. Ropaje de colores vivos de las princesas.

La invención del púrpura real se remonta al siglo XVI a.C. El análisis químico de las paredes pintadas de las tumbas, templos y otras estructuras que han estado protegidas de la exposición al clima, y de las superficies decoradas de las cerámicas, han dado un conocimiento bastante completo de los materiales usados para esos propósitos. Así, los pigmentos usados en la tumba de Perneb (de alrededor de 2650 a.C.) y que fueron tados en el Metropolitan Museum de New York en 1913, fueron analizados por Maximilian Toch. Él encontró que el pigmento rojo mostró ser óxido de hierro (hematita) uno de los amarillos era arcilla conteniendo hierro u ocre amarillo, uno de los azules era vidrio molido y un azul pálido era carbonato de cobre, probablemente azurita. El verde era malaquita, el negro era carbón o carbón animal, el gris era caliza mezclada con carbón y una cantidad de pigmento remanente en un pote de pintura usado en la decoración de la tumba, contenía una mezcla de hematita con caliza y arcilla. Todos estos análisis realizados por científicos renombrados sirven para ilustrar el desarrollo de esta rama de la industria química antigua.

## 2 – 11. La coquetería en Egipto: perfumes y ungüentos

A lo largo de la Antigüedad, los egipcios fueron famosos por sus esencias y perfumes. Egipto era considerado el país más apropiado para la manufactura de dichos productos. Como la destilación del alcohol no se conoció hasta el siglo IV d.C. las esencias se extraían macerando plantas, flores o astillas de maderas aromáticas en aceite, para obtener “aceite esencial”, que luego era agregado a otros aceites o grasas. Los materiales se colocaban en una pieza de tela que luego se retorció hasta que se hubiera rado la última gota de la fragancia. Alternativamente, se hervían los aceites esenciales con agua hasta que el aceite se hubiese desespumado.

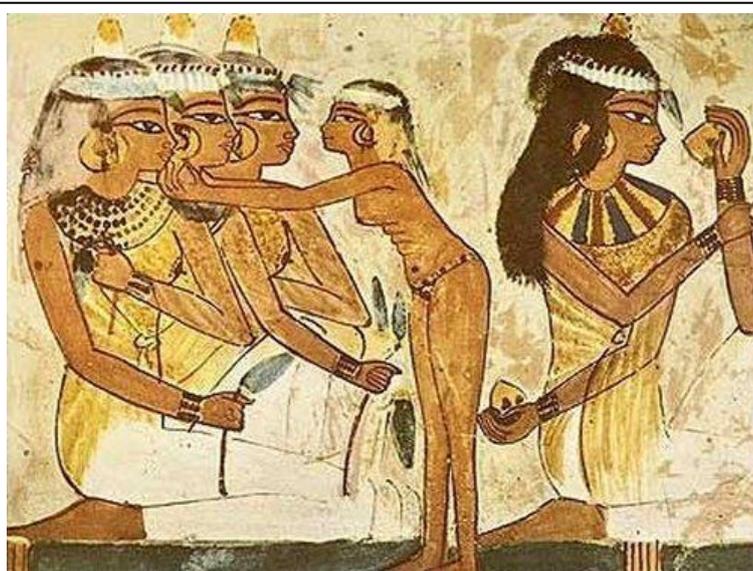


Figura 2.17. Mujeres perfumándose.

Los aceites empleados eran de una gran variedad. Los que más se usaban habitualmente eran, el de balano<sup>75</sup> (bellota de mar), aceite de coco, de ricino, de semillas de lino, de sésamo, de cártamo y en forma bastante extensa, aceite de almendras y de oliva. Según Teofrastus, que hizo un cuidadoso estudio de las sustancias aromáticas, en un ensayo referido a las fragancias, el aceite de coco era el menos viscoso y lejos el más apropiado, seguido de aceite de oliva crudo fresco y el aceite de almendras.

<sup>75</sup> Crustáceo cirrópodo de forma parecida a un casco de asno, muy común en todos los mares.

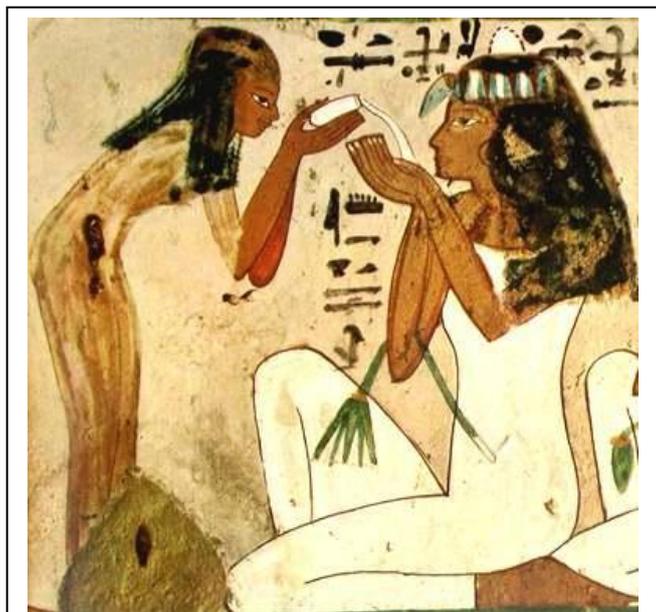


Figura 2.18. Las esencias eran a base de aceites

Uno de los perfumes egipcios más famosos se elaboraba en la ciudad de Mendes, en el delta del Nilo, desde donde luego se exportaba a Roma. Consistía en aceite de coco, mirra<sup>76</sup> y resina<sup>77</sup>. Dioscórides le añadía casia<sup>78</sup> (*Cassia Angustifolia*). Era sumamente importante el orden en el que se agregaban los ingredientes al aceite ya que el último le impartía el aroma más dominante. Teofrastus menciona como ejemplo que se agregaba una libra de mirra a media pinta de aceite y en una etapa posterior se añadía un tercio de onza de canela, por lo que dominaba el aroma de canela. El secreto de los fabricantes de ungüentos egipcios era el momento en el cual añadir los distintos ingredientes y a qué temperatura hacerlo. El perfume de Mendes era conocido como “El Egipcio” por excelencia.

A diferencia de perfumes de otras regiones, El Egipcio conservaba su color original. Tenía la ventaja adicional de conservarse muy bien. Un perfumero de Grecia, mantuvo un lote en su comercio durante ocho años, al cabo de los cuales olía aún mejor que el perfume fresco recién elaborado. Además, una vez aplicado sobre la piel perduraba muy bien. Como dijo Teofrastus: “Lo que una mujer quiere es que el perfume perdure sobre la piel”. Si algunas mujeres encontraban que la esencia de “El egipcio” era muy fuerte, su olor penetrante podía suavizarse mezclándolo con vino dulce.

Otro ungüento egipcio famoso se llamaba Metopión. De acuerdo con Dioscórides, Metopión era el nombre egipcio del gálbano<sup>79</sup> *Ferula galbaniflua*, (*F. cummosa*, *F. Rubicaulis*), planta de donde se obtiene la gomorresina gris amarillenta de olor aromático. Consistía en aceites de almendras

amargas y de aceitunas duras, aromatizados con damomo, con una planta gramínea aromática de raíz blanca llamada esquenanto, ácoro (*Ácorus calamus*), miel, vino, mirra, semillas de balmina, gálbano, y resina de trementina. Aparentemente, el vino entraba en la preparación o para remojar las hierbas o para darle un cierto “punto” al ungüento. Según Dioscórides, el mejor Metopión era el que olía más a cardamomo y mirra que a gálbano. En medicina se consideraba generalmente que el ungüento era relajante, produciendo

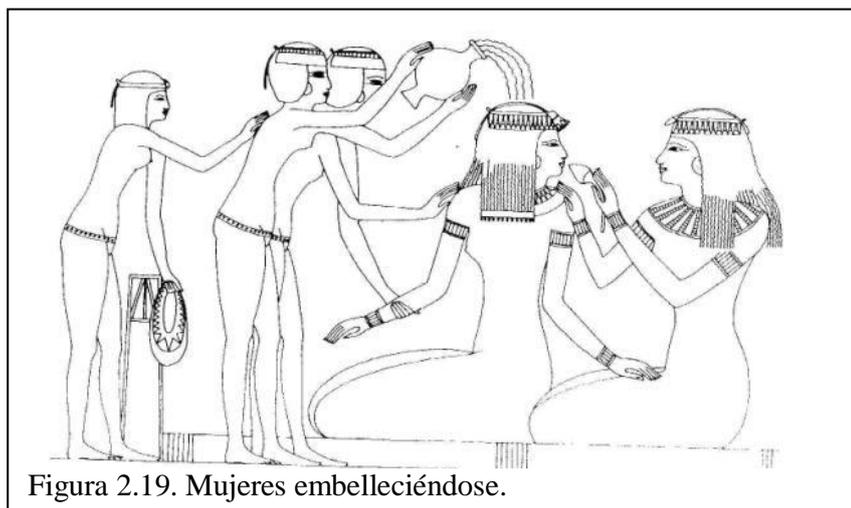


Figura 2.19. Mujeres embelleciéndose.

<sup>76</sup> Gomorresina roja, aromática y amarga obtenida de un árbol terebintáceo de Arabia y Abisinia (*Commiphora abyssinica*, *Commiphora myrrha*).

<sup>77</sup> Generalmente, esencia de trementina.

<sup>78</sup> Arbusto leguminoso de la India, (*Cassia Angustifolia*) parecido a la acacia, de flores amarillas y olorosas y semillas negras y duras. También se lo conoce como “Sen”.

<sup>79</sup> El aceite esencial de gálbano era uno de los aceites favoritos de Moisés. Como está escrito en el libro del Éxodo, (30 – 34) este aceite era usado con propósitos medicinales y espirituales.



Figura 2.20. Ungüentos encontrados en la tumba de Tutankamon. Museo egipcio. Cairo.

calor y transpiración, y era usado para “abrir los vasos guíneos”, extraer y purgar úlceras y para tratar cortes en los tendones y músculos.

Alrededor del siglo XV a.C. tres damas de la corte de Tutmosis III fueron enterradas con costosos funerales a los que se incluían todo su equipamiento, en el cual se incluían los cosméticos. Dos de los recipientes funerarios contenían crema de limpieza hecha a base de aceite de oliva y cal apagada.

Un remedio para el tratamiento de las arrugas, considerado efectivo, consistía en una parte de resina de frankincense<sup>80</sup>, una parte de cera de abejas, una parte de aceite de moringa<sup>81</sup> fresco y una parte de hojas de ciperus<sup>82</sup>. Se machacaba y molía finamente y se mezclaba todo con el jugo fermentado de las hojas de ciperus. Se aplicaba diariamente.

Una aplicación de resina frankincense luego de la limpieza de cutis tenía un efecto parecido. Si la piel estaba estropeada por escaras producidas por quemaduras se usaba un ungüento especial para tratarlo y hacerlo menos notorio, por ejemplo mezclando ocre rojo con kohl<sup>83</sup> y machacando finamente con jugo de sicamoro. Un tratamiento alternativo consistía en colocar un vendaje con algarrobo y miel o un ungüento hecho con frankincense y miel.



Figura 2.21. Dama limpiando su rostro. Aprox. Dinastía XI. British Museum.



Figura 2.22. Resina frankincense.

Debido a la dieta saludable y la falta de azúcar, los egipcios no tenían grandes problemas dentales, pero su pan contenía minúsculas partículas de arena lo que producía un desgaste de las piezas dentarias. No usaban cepillos de dientes ni tampoco conocieron el “miswak” — una pasta dental natural obtenida de la *Salvadora pérsica*, árbol nativo del sur de Egipto y Sudan y que sería usado por el mundo musulmán a partir del siglo VII de nuestra era. Para mejorar el aliento masticaban ciertas hierbas aromáticas o ían gargarismos con leche. Posteriormente comenzaron a mascar frankincense

<sup>80</sup> Resina aromática obtenida de los árboles del género *Boswellia*, particularmente *Boswellia sacra* que aún hoy se usa en perfumería y aromaterapia. Por destilación de la resina seca se obtiene el aceite esencial de olibanum.

<sup>81</sup> Arbol originario del norte de la India cuyas semillas son ricas en triglicéridos.

<sup>82</sup> *Cyperus alternifolius* (paragüita) planta de jardín.

<sup>83</sup> Polvillo negro que se usaba para dar sombra a los ojos.

La apariencia del cabello era de extrema importancia por lo que, además del cuidado diario se usaba un fijador a base de cera de abejas y resina. En las festividades, tanto hombres como mujeres lucían pelucas de cabello natural. Para ocultar las canas se empleaba una loción hecha con sangre de toro hervida en aceite, lo que oscurecía el cabello. También se trituraba el cuerno negro de una gacela y se lo mezclaba con aceite hasta formar un unguento que “tapaba” las canas. Un remedio muy eficiente para las canas consistía en preparar un unguento con bayas de enebro y dos plantas — que aún no se han podido identificar — amasadas en caliente con aceite. Para los casos de calvicie como secuela de alguna enfermedad, se untaba la cabeza con una mezcla de aceite de abeto y grasa.



Figura 2.23. Pelucas peinadas con fijador.

## 2 – 12. Cosméticos, desodorantes y cremas depilatorias

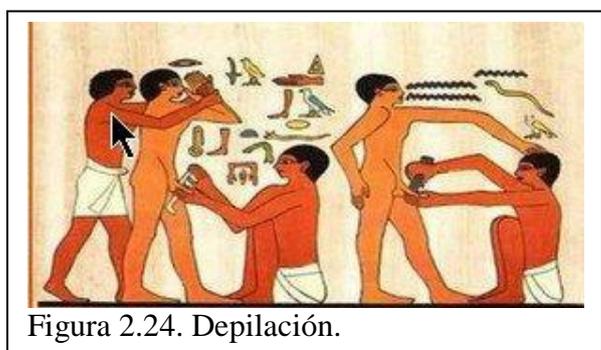


Figura 2.24. Depilación.

Tanto hombres como mujeres afeitaban sus vellos con navajas o se depilaban con cremas a base de aceite, jugo de sicamoro, resina y pepino todo triturado y homogeneizado. La crema se aplicaba en caliente y al enfriar se sacaba arrancando el vello adherido.

Las mujeres usaban sombra para los ojos hecha a base de kohl o malaquita, lo que le daba un tinte verdoso.



Figura 2.25. Nótese el rímel.

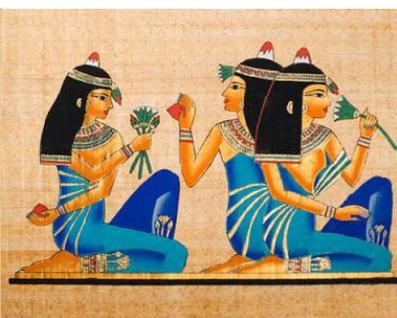


Figura 2.26. Labios pintados.



Figura 2.27. Teñido de canas.

También se hacía un maquillaje a base de kohl, grasa de ganso o una pasta que incluía lapislázu-li en polvo miel y ocre que se aplicaba sobre los párpados. Se usaba pintura para labios a base de grasa y rojo ocre y esmalte para uñas, probablemente a base de henna.

## 2 – 13. Los primeros manuscritos acerca de la tecnología química usada en Egipto

A pesar de que Egipto es generalmente reconocido como el origen del arte alquímico, sus monumentos y literatura informan muy poco acerca de registros que detallen esas tareas.

Algunas de esas ideas han llegado hasta nuestra época a través de fuentes griegas y romanas, pero el carácter de esas fuentes no nos permite discriminar entre lo que deriva realmente de Egipto y las confusas interpretaciones o adiciones de los primeros alquimistas griegos.

La historia cuenta que alrededor del 290 d.C. el Emperador Diocleciano promulgó un decreto obligando a la destrucción de todos los trabajos sobre el arte alquímico y sobre los trabajos sobre oro y plata, de modo que los que obtenían esos metales no amasasen fortunas suficientes que les permitiesen organizar revueltas contra el Imperio. A raíz de este decreto, desapareció una gran cantidad de literatura la que, sin duda, nos hubiera suministrado información importante sobre la historia del arte alquímico en Egipto.

## 2 – 14. El descubrimiento del manuscrito químico más antiguo. El papiro de Leiden.

Afortunadamente, se han conservado dos trabajos importantes referidos a los procesos químicos en el Antiguo Egipto. La fuente de información más antigua sobre tales temas fue descubierta en Tebas (en el Sur de Egipto) y ambos formaron parte de una colección de papiros egipcios escritos en griego y coleccionados a principios del siglo XIX por Johann d'Anastasy vice cónsul de Suecia en Alejandría.

La parte principal de esta colección fue vendida en 1828 por el coleccionista al Gobierno de Holanda y fue depositada en la Universidad de Leiden. En 1885, Conradus Leemans completó la publicación de una edición crítica de los textos con una traducción al latín de un número de esos manuscritos y entre ellos tradujo un texto que contiene los dos trabajos arriba mencionados. Se lo conoce como el Papiro X de Leiden.

El químico francés Marcelin Berthelot, que estaba interesado en la historia de la Química más antigua, hizo un análisis crítico de este papiro y publicó una traducción al francés de sus resultados, acompañada de extensas notas y comentarios.

Sobre la base de evidencia filológica y paleográfica, Berthelot concluyó que fue escrito a fines del siglo III d.C. Sin embargo, encontró algunos errores del copista y concluyó que es manifiestamente una copia de un trabajo anterior. Lo que es cierto, es que el original es posterior al final del siglo I d.C. ya que se incluyen extractos del trabajo *Materia Medica* de Dioscórides. El trabajo es una colección de recetas y directivas para:

Hacer aleaciones metálicas

Imitaciones de oro, plata y electrum

Tintura y otras artes relacionadas

En 1913, en Upsala, Otto Lagercrantz publicó el texto griego con comentarios críticos y con traducción al alemán de un papiro egipcio similar: el "*Papirus Graecus Holmiensis*". Este trabajo, al igual que el Papiro de Leiden es una colección de recetas para hacer aleaciones, trabajos con metales, teñido de telas, imitación de piedras preciosas y otras artesanías similares. Las investigaciones revelaron que este manuscrito también provino del vice cónsul de Suecia en Alejandría, d'Anastasy, quien presentara el manuscrito ante la Academia Sueca de Antigüedades en Estocolmo. Allí permaneció hasta 1906 cuando fue transferido al museo Victoria de Upsala.

El examen y la comparación con el papiro de Leiden pusieron en evidencia que el nuevo papiro no sólo trataba los mismos temas sino que probablemente haya sido escrito por la misma persona.

Ambos papiros se encontraban preservados en muy buenas condiciones. Ambos evidenciaron haber sido copiados de otros originales. Berthelot ha sugerido que el papiro X fue preservado en el sarcófago de una momia correspondiente a un químico egipcio y Lagercrantz no sólo estuvo de acuerdo sino que estuvo convencido que ambos papiros fueron propiedad de una misma persona y que, probablemente, esas copias fueron “copias de lujo” con el propósito de ser enterradas con su propietario de acuerdo con una costumbre común de colocar en la tumba artículos que fueron propiedad o usados por el fallecido. Los dos manuscritos fueron tomados juntos de una interesante colección de recetas de laboratorio, del tipo de las que el decreto de Diocleciano mandaba destruir (y que, aparentemente, fueron todas destruidas). La fecha en que se supone que fueron escritas, corresponde a la época del decreto de Diocleciano y puede presumirse que al colocarla en el sarcófago evitaron la ejecución del decreto.

Los manuales de laboratorio del cual fueron tomadas esas copias, fueron escritos, no para información pública, sino como guía para los trabajadores. Las recetas contienen tanto instrucciones bien detalladas como meras sugerencias, a veces tan elípticas que no dan una idea clara del proceso a seguir.

El papiro de Leiden comprende alrededor de setenta y cinco recetas relativas a la manufactura de aleaciones, para soldar metales, para colorear las superficies de los metales, para probar la calidad o la pureza de metales o para imitar metales preciosos.

Hay quince recetas referidas al oro o a la plata o a imitaciones de oro o plata. Hay once recetas para preparar materiales colorantes en púrpura u otros colores. Los últimos once párrafos son extractos de la *Materia Medica* de Dioscorides, referidas a los minerales y materiales usados en los procesos descriptos.

Berthelot hizo notar que el artesano que usaba esas notas, si bien podría ser un operario hábil con metales, especialmente de los usados en joyería, debería ser poco entendido en el arte de los esmaltes o de las gemas artificiales. Es de gran interés descubrir que el papiro de Estocolmo suplementa al de Leiden en esa dirección. El manuscrito de Estocolmo contiene unas 150 recetas. De ellas, sólo nueve tratan sobre metales y aleaciones mientras que más de 60 tratan sobre colorantes y alrededor de 70 están referidas a la producción de gemas artificiales. Unas diez recetas tratan con el blanqueo de perlas defectuosas o de cómo hacer perlas artificiales.

Si bien el número de recetas del papiro de Estocolmo duplica al de Leiden, en ambos hay recetas muy similares. Todas son empíricas en las que no hay evidencia alguna de teorías ocultas ni la oscuridad del lenguaje que fue tan característica de los alquimistas posteriores.

Las partes que tratan con metales se ocupan extensamente de la transmutación del oro, de la plata o del electrum, a partir de materiales más baratos o de dar un color oro o plata externo o superficial a metales más baratos. Parece que no hay autoengaño en esos temas. Por el contrario, a menudo se asegura que el producto va a responder a las pruebas usuales para productos genuinos, o que van a engañar aún a los artesanos. El vocabulario que se aplica a los materiales es prácticamente el mismo que el de Dioscorides, con pocos cambios en el significado de tales términos.

Hay muy poco en esos manuscritos que sugieran que haya habido algún avance en esas artesanías respecto de la época de Dioscorides y Plinio, pero los papiros, al dar directivas definidas y detalladas, arrojan algo de luz sobre los límites de la química industrial que ellos tratan.

Para ilustrar el carácter de esas recetas y el conocimiento de química práctica que subyace, se dan algunos ejemplos. Los siguientes son algunos de los textos del Papiro de Leiden, tal como se encuentran en la traducción de Berthelot:

### **Manufactura del asem (*electrum*)**

Estaño 12 dracmas, mercurio, 4 dracmas, tierra de Chios, 2 dracmas. Al estaño fundido agregue la tierra en polvo y luego agregue mercurio. Agite con un hierro y colóquelo en el molde.

[Esto es una amalgama de estaño que intenta dar la apariencia del asem o plata. La tierra de Chios, tal como la describe Plinio, parece ser una arcilla blanca. Plinio dice que fue usado como cosmético por las mujeres]

### **La duplicación (*diplosis*) del asem**

Tome cobre refinado (chalchos) 40 dracmas, asem 8 dracmas, glóbulos de estaño 40 dracmas. Funda primero el cobre y luego de calentar dos veces, agregue el estaño finalmente agregue la plata. Cuando todo se haya ablandado vuelva a fundir varias veces y enfríe mediante la composición precedente. Limpie con coufolita (talco o selenita según Berthelot). La triplicación (*triplosis*) se efectúa por el mismo proceso, los pesos se proporcionan en conformidad con las directivas dadas más arriba.

[Esta receta debería dar un bronce amarillo pálido]

### **Purificación del estaño**

Brea líquida y bitumen, una parte de cada uno. Eche el estaño sobre la brea o el bitumen, caliente hasta fundir y agite. Sobre la brea seca 20 dracmas, sobre el bitumen 12 dracmas.

### **Manufactura del asem**

Tome estaño blando, cuatro veces purificado en pequeñas piezas. Tome 4 partes de estaño y tres partes de puro cobre blanco (o bronce chalchos) y una parte de asem. Funda y después de fundir limpie varias veces y haga lo que quiera con él. Este sería asem de primera calidad que va a engañar aún a los artesanos.

[A veces los antiguos blanqueaban el cobre aleándolo con arsénico. Una receta de este papiro da instrucciones de cómo blanquear cobre.]

### **Aumento del oro**

Para aumentar el oro, tome cadmia de Tracia, haga una mezcla con la cadmia en mendrugos, o cadmia de Gaul, misy y rojo sinopian, partes iguales a la del oro. Cuando el oro ha sido puesto en el horno y ha tomado buen color, eche estos dos ingredientes. Luego remueva el oro y deje enfriar. El oro se habrá duplicado.

[Cadmia es el óxido de cinc impuro, conteniendo, a veces, óxidos de plomo y de cobre provenientes del horno donde se funde bronce. Misy es una piritita de cobre o de hierro parcialmente oxidada. El rojo sinopian es hematita. La mezcla, suponiendo la acción reductora del combustible en el

horno (u otro agente reductor no especificado en la receta) daría una aleación de oro y cinc, con algo de cobre y quizás algo de plomo.]

### **Para hacer asem**

Purifique cuidadosamente plomo con brea y bitumen, o también estaño. Mezcle cadmia y litargirio en partes iguales con el plomo. Agite hasta que la mezcla se torne sólida. Se puede usar como plata natural.

[Debe suponerse que ocurre una reducción en el horno. La aleación blanda y blanca así obtenida debe haber sido un sustituto pobre y barato de la plata]

### **Preparación de crisocola (soldante del oro)**

El soldante del oro se prepara así: cobre de Chipre 4 partes, asem 2 partes, oro 1 parte. Primero se hace fundir el cobre, luego el asem y finalmente el oro.

[Se debe notar que el término “crisocola” se aplicaba también a la malaquita, al verdigris ( $\text{CuCO}_3$ ) y al acetato de cobre, todos ellos eran usados como soldantes del oro]

### **Para determinar la pureza del estaño)**

Habiendo fundido, coloque papiro debajo y vuelque el estaño líquido sobre él.

[Si el papiro queda chamuscado, el estaño contiene plomo]

### **Para hacer asem negro como obsidiana**

Asem, 2 partes, plomo 4 partes. Coloque en un recipiente de barro, vuelque sobre él el triple de peso de azufre nativo y habiéndolo colocado en el horno deje que funda. Luego de retirado del horno, bátalo y haga con el lo que quiera. Si quiere hacer objetos de metal batido o fundido lustrelo y corte. No se herrumbra. [Este procedimiento deja una masa metálica negreada con sulfuros de plomo y plata similares al bronce de plata negro que describió Plinio]

Para dar a los objetos de cobre la apariencia del oro, que sirva especialmente para un anillo de fina apariencia y de modo que ni la observación, ni frotándolo sobre la piedra de toque pueda detectarlo

Oro y plomo se reducen a un polvo fino como harina, 2 partes de plomo y 1 de oro. Una vez mezclado, se mezclan con resina y el anillo se cubre con esta mixtura y se calienta. La operación se repite varias veces hasta que el artículo haya tomado el color. Es difícil de detectar debido a que la fricción da la marca (o “rayón”) de un artículo genuino y el calor consume el plomo pero no el oro.

[Este es un proceso interesante de enchapado en oro usando plomo en vez de mercurio, el plomo se oxida y volatiliza por el calentamiento]

### **Prueba de la pureza del oro**

Funda y caliente. Si es puro, mantiene su color luego de calentarlo, y queda como una moneda. Si se vuelve más blanco, contiene plata. Si se vuelve áspero y duro, contiene cobre y estaño. Si se ablanda y negrea, contiene plomo.

### **Para dorar un jarro de plata de manera duradera.**

Tome mercurio y oro en hoja hasta lograr la consistencia de cera. Limpie el jarro con alumbre [KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>], y tomando un poco de material cerúleo, espárzalo sobre el jarro con el lustrador y deje reposar hasta que se fije. Haga esto cinco veces. Tome el jarro con una tela de lino de modo que no se manche y prepare cenizas removiendo el carbón que quede. Con el lustrador, alise las cenizas sobre el jarro. Use el jarro como si fuera de oro. Afrontará la prueba del oro verdadero.

### **Para escribir con letras de oro**

Tome mercurio, vuélquelo sobre un jarro apropiado y agregue oro en hojas. Cuando el oro parece disolverse en el mercurio, agite bien. Añada un poco de resina, por ejemplo, un grano y dejándolo reposar escriba letras de oro.

También se usan Imitaciones más baratas para escribir con letras de oro, por ejemplo:

Oropimente de color oro 20 dracmas, vidrio en polvo 4 estáteras<sup>84</sup> o blanco de huevo 2 estáteras, resina blanca 20 estáteras, azafrán...

Después de escribir, deje secar y lustre con un diente

[Hasta el día de hoy, los joyeros usan un diente de animal para lustrar. En otras recetas, el color amarillo u oro se obtiene a partir de azufre mezclado con resina; la “bilis de tortuga” o de ternero “muy amarga” sirve también para dar color. Esos pueden ser los nombres comerciales de algunas sustancias de diverso carácter]

## **2 – 15. Comparación entre los papiros de Leiden y Estocolmo**

Ambos son los más antiguos manuscritos sobre el arte químico en Egipto

### **El proceso de teñido en los papiros de Leiden y Estocolmo**

Los procesos de teñido se tratan de manera más detallada en el papiro sueco que en el de Leiden y se pueden analizar mejor en relación a este trabajo. Vale la pena comparar las normas para esta actividad en los dos papiros:

#### **En el papiro de Leiden:**

Preparación del púrpura<sup>85</sup>: Rompa piedra de Frigia en pequeños trozos, llévelo a hervor y sumerja la lana dejándola hasta que se enfríe. Entonces eche en el recipiente una “mina”<sup>86</sup> de algas, vuelva a hervir, saque la lana y vuelva a sumergir. Luego deje enfriar y lave con agua de mar hasta que quede una coloración púrpura. La piedra de Frigia debe tostarse antes de partirla.

---

<sup>84</sup> Antigua moneda griega o el equivalente a su peso.

<sup>85</sup> No confundir con el púrpura de Tiro, que se extraía de un molusco del género *Murex* y cuyo componente principal es el 6,6’-dibromoindigo.

<sup>86</sup> Antigua unidad monetaria y de peso en Grecia.

### En el papiro de Estocolmo:

Púrpura: Tueste y hierva un trozo de piedra de Frigia. Coloque la lana en el recipiente caliente hasta que se enfríe. Retírela. Ponga en otro recipiente “orseille” (lana de mar o algas) y amaranto, una mina de cada uno, hierva. Coloque la lana en el recipiente y deje que se enfríe.

Berthelot hizo la acotación de que las dos recetas sean prácticamente iguales sirve para que una ayude a entender la otra.

### La piedra de Frigia

Berthelot consideraba que era, probablemente, alunita, o sulfato básico de aluminio y potasio. Sin embargo, Plinio la describe como una piedra porosa que semeja a la piedra pómez cuando se la satura con vino y luego se la calcina hasta coloración roja y se la enfría sumergiéndola en vino dulce, repitiendo esta operación tres veces.

Sólo se usa en el teñido de ropa.

El uso de algas es una manifestación de que la fuente de los materiales de teñido eran, probablemente, líquenes tal como fueron antiguamente muy usados y que rinden un colorante llamado “orcino” (5-metilresorcina) u “orseille”

Las notas sobre teñido constituyen una parte importante del papiro de Estocolmo y suministran más información específica acerca de los métodos y materiales empleados en el Antiguo Egipto para el teñido de telas. Las recetas están casi exclusivamente dedicadas al teñido de la lana. Los colores van desde el púrpura y rojos hasta rosa, amarillo, verde y azul, si bien el mayor número de recetas tienen que ver con el púrpura, término que en la antigüedad incluía, además del púrpura propiamente dicho, el rojo intenso y aún el rojo amarronado.

### Ayudas para probar la calidad de los materiales de teñido

- El glasto<sup>87</sup>, si es bueno, debe ser denso y de un azul oscuro, si es liviano y blancuzco no es bueno.

- Los carmes<sup>88</sup> de Siria — triture aquellos que están mejor coloreados. Aquellos que son negros o moteados de blanco son malos. Frote con soda y disuelva los que están finamente coloreados.

- Frote las rubias alizari<sup>89</sup> mejor coloreadas y haga el ensayo. Las coloreadas de púrpura deben parecer a la orcina con manchas coloreadas tipo caracol, pero las moteadas de blanco o las negras no son buenas.

- Cuando frota orcina coloreada muy fina, manténgala en la mano (¿Un ensayo rápido de color en la palma de la mano?)

- El alum debe estar húmedo y ser de color muy blanco, pero el que tiene mucha salinidad no es adecuado.

<sup>87</sup> Hierba de la cual se extrae un tinte azul parecido al añil

<sup>88</sup> insecto hemíptero.

<sup>89</sup> También llamada *rubia tinctorum*. De la raíz de esta planta se obtiene la alizarina, usada desde la antigüedad como colorante de color rojo

- Las “flores de cobre” adecuadas para el teñido deben ser de color o azul oscuro, o un verde como el puerro o, en general, poseer un color bien definido. (Las “flores de cobre” — las “flos aeris”, de Plinio — parecen ser óxido de cobre II)

### **Métodos para blanquear perlas**

#### Método 1:

Si las perlas muestran un tinte amarronado, como si estuvieran ahumadas, es necesario hacer una solución de miel en agua, raíz de higuera triturada muy fino, y hervir las perlas en la mezcla. Deje que la mezcla se endurezca y remueva la costra frotando con un paño de lino. Si las perlas aún no están blancas, repita la operación.

#### Método 2:

Aplique mordiente o endurezca las perlas dejándolas estar en la “orina de un joven” y luego cúbralas con alum y deje que el exceso de mordiente se seque. Luego coloque las perlas con mercurio y “leche fresca de perra” en un recipiente de barro. Todo esto se calienta regulando el calor. Se advierte de no aplicar el combustible externamente sino se mantener un fuego suave. (Lippmann sugirió que el “mercurio” que se menciona, no debe ser el metal sino alguna sustancia perlada o plateada finamente dividida, cuyo objetivo es darle un brillo perlado. Un método curioso para el blanqueo de las perlas es provocando que las trague un gallo, y luego de matar al gallo recuperar las perlas que al encontrárselas estarán blancas)

### **Método para hacer perlas artificiales**

Una receta del papiro de Suecia que da el método más antiguo para hacer perlas artificiales es el siguiente: Aplique mordiente o endurezca con alum un cristal en la orina de un joven, luego sumérjalo en “mercurio” y en leche de mujer. La palabra “cristal” significa, a menudo, cristal de cuarzo, pero es muy evidente que para los autores de esta receta el término fue usado en un sentido más amplio incluyendo otras piedras transparentes o translúcidas. Este uso es muy evidente en muchas recetas para imitar piedras preciosas, donde los procesos involucran un grado de porosidad o de poder absorbente hacia soluciones coloreadas que ni el cuarzo ni el vidrio poseen; mientras que ciertas ágatas, micas, alabastos y otras piedras sí poseen. En el caso de esta receta, es dudoso si tal mordentado podría endurecer adecuadamente sobre la superficie del cuarzo en un tiempo razonable. El “mercurio” que aquí se menciona es, evidentemente, la misma sustancia perlada a la que se ha referido anteriormente.

Un proceso más elaborado para hacer perlas artificiales es el siguiente. Tome una piedra fácilmente pulverizable ligeramente brillante y pulverícela. Tome goma tragacanto y ablándela durante diez días en leche de vaca. Cuando está ablandada, disuélvala hasta que se torne espesa como una cola. Funda cera de Tirreno, tome también clara de huevo y “mercurio”. Debe haber dos partes de “mercurio” y tres partes de piedra pero una parte de cada uno de los otros materiales. Mezcle la piedra con la cera y amase la mezcla con el “mercurio”. Ablande la pasta en la solución de goma tragacanto y contenido del huevo. Mezcle de esta manera todo el líquido con la pasta. Entonces haga las perlas moldeándolas a su gusto. Rápidamente la pasta se torna como piedra, deje que se sequen y lustrelas muy bien. Tratadas de esta manera superarán a las naturales.

### **Marcas comerciales de los materiales usados en las recetas.**

El uso de marcas comerciales con el propósito de ocultar el carácter de las sustancias usadas no era desconocido en esa época. Hay un pasaje en el papiro de Leiden referido a esto, que dice: “La

interpretación ha sido extraída de los nombres sagrados, que los escritores sagrados emplean para confundir la curiosidad de los vulgares. Las plantas y otras cosas que ellos suelen usar para las imágenes de los dioses han sido diseñadas por ellos, de manera tal de que por falta de entendimiento el vulgo realice una vana labor siguiendo una pista falsa. Pero hemos desentrañado la interpretación de muchas de las descripciones y significados ocultos.”

Los nombres secretos que figuran en este manuscrito, que han sido puestos con sus nombres reales, suman treinta y siete. Son nombres que los alquimistas posteriores usaron extensamente: “sangre de la serpiente”. “sangre de Hephaistos”, “sangre de Vesta”, “semilla del león”, “semilla de Hércules”, “culo de camello”, “hueso de fiasimio”, etc. Es muy probable que el término “mercurio” en la receta precedente tome su nombre de la similitud de apariencia más que de un deliberado intento de confundir, ya que esas recetas eran para el propio artesano, no para el público. Pero es muy posible que algún constituyente especial de esas recetas fuera nombrado intencionalmente de manera tal de evitar publicitar innecesariamente los más valiosos secretos de sus negocios. La “sangre de dragón”<sup>90</sup> como se llamaba a la resina roja del *pterocarpus draco*<sup>91</sup> es, sin duda, un remanente supérstite extravagante de este ocultamiento. El papiro de Suecia contiene otros nombres de carácter similar si bien, en general, su vocabulario es claro y directo. Así la palabra griega para “ajo” es usada para designar la caca humana usada, a veces, en el mordentado de la lana. (El mismo manuscrito da esta traducción). El término “sangre de la paloma” usado en el papiro, ha sido identificado por von Lippmann como minio y, a veces, como cinabrio.

## 2 – 16. La Alquimia en Alejandría

Cuando Alejandro el Grande conquistó Egipto en el 33 d.C. y su general Ptolomeo se convirtió en el rey de Egipto se fundó la ciudad griega de Alejandría. Ptolomeo y su hijo (Ptolomeo II) levantaron un templo a las Musas (el “Museo”) que cumplía el mismo fin de lo que hoy llamaríamos un Instituto de Investigación y una Universidad. En Alejandría se construyó la mayor biblioteca de la antigüedad y rápidamente se convirtió no sólo en la ciudad más importante de ese país, sino que a través de la fundación de academias y la acumulación de bibliotecas se volvió el centro reconocido del mundo intelectual.

Se estima entre 400.000 y 500.000 el número de manuscritos que integraban las colecciones en las distintas bibliotecas de Alejandría. Estudiosos de todas las partes del entonces mundo civilizado se abarrotaban allí para tomar ventajas de sus libros y maestros. La cultura que allí se desarrolló fue una mezcla influenciada por las tradiciones griegas, egipcias, caldeas, hebreas y persas. La filosofía griega, las artes egipcias, el misticismo caldeo y persa, se amalgamaron y dieron origen a extrañas combinaciones que no siempre condujeron a una mejora respecto de la claridad de la base griega.

A medida que fue creciendo el poder de Roma fue declinando el poder griego y egipcio. Egipto se convirtió en una provincia romana en el 80 d.C. Durante la conquista de César, un incendio originado en los barcos que se encontraban en el muelle de Alejandría provocó la quema de una parte importante de las colecciones de manuscritos de las bibliotecas de la ciudad.

Sin embargo, bajo el imperio romano, Alejandría siguió ejerciendo una gran influencia y durante el reinado de Augusto fue la metrópolis más importante después de Roma. Pero en los siglos suce-

---

<sup>90</sup> Una resina de color rojo oscuro soluble en alcohol y éter, derivada del fruto del *Calamus Draco* pequeña palmera que crece en las islas del archipiélago de Socotra, en el Océano Índico. Contiene porcentajes importantes de ésteres bencílicos del ácido benzoico y del benzoilacético.

<sup>91</sup> Un animal mitológico, generalmente representado por una lagartija o serpiente aladas con una cresta en la cabeza y garras enormes y supuesta muy poderosa y feroz.

sivos, a medida que Roma sufría enfrentamientos internos y el Imperio Romano se desmoronaba debido al éxito de las invasiones bárbaras, la cultura de Alejandría fue también cediendo ante la desmoralización general.

En el siglo tercero, las condiciones a lo ancho de todo el Imperio fueron tales que justificaron el enunciado de un crítico: “Durante el siglo tercero d.C., en la tempestad de la anarquía la civilización del mundo antiguo sufrió el colapso final. La supremacía de la mente y el conocimiento científico ganados por los griegos en el siglo tercero a.C. cedió ante el reino de la ignorancia y superstición en ese desastre social del siglo tercero d.C.”

## **2 – 17. Los alquimistas místicos**

A la luz del conocimiento presente, fue en el período comprendido entre el siglo primero y tercero de nuestra era que se desarrolló por vez primera el culto místico que profesaba las ideas fantásticas de esa clase de filosofía química que luego se llamaría “alquimia”. Los comienzos parecen haber sido desarrollados por un grupo de místicos alejandrinos unidos por el juramento de nunca revelar a los no iniciados los misteriosos conocimientos que ellos aseguraban poseer. Es probable que los miembros de ese culto fueran sacerdotes egipcios o estudiosos extranjeros iniciados por ellos, ya que en sus escritos aparecen deidades y personajes mitológicos egipcios como autoridades prominentes. El hecho de que en sus primeros escritos fueran citados frecuentemente autoridades persas y hebreas pone en evidencia que el culto fue desarrollado comparativamente tarde respecto del florecimiento de Alejandría. Todo esto puntualiza la influencia cosmopolita acrisolando entre los estudiosos de Alejandría las filosofías, ciencias, religiones y supersticiones griegas, egipcias, hebreas, persas y caldeas. El dominio universal del poder romano y la pax romana, también tuvo el efecto de expandir a lo largo del Imperio las diversas culturas y religiones nacionales. Pero al mismo tiempo, esta expansión fue debilitando su autoridad.

En los primeros siglos de nuestra era, Roma y Atenas contenían templos de la diosa egipcia Isis, y en las ciudades romanas y griegas era frecuente encontrar santuarios dedicados a Mitra, el dios del Sol persa.

## **2 – 18. El destino de la Universidad de Alejandría**

En el siglo segundo, comenzó a crecer el número de adeptos a la secta de los cristianos que pronto suplantaría a las viejas religiones. Reconocida y protegida a principios del siglo IV por el emperador Constantino, a medida que fue ganando influencia, la nueva secta comenzó a hacer campaña contra las escuelas de antiguas filosofías paganas.

En el año 389 d.C. fue destruido el Serapeum y la biblioteca de Alejandría. Sus libros fueron dispersados o quemados por orden del emperador Teodosio quien, además, ordenó destruir todos los templos paganos dentro del Imperio, una orden ejecutada con severidad y mucha crueldad. El mismo año, Zeno, Emperador del Oriente, cerró la importante escuela de Odessa y sus maestros fueron expulsados encontrando refugio en Asia. El Museo de Alejandría, una real universidad, mantuvo una precaria existencia hasta el año 415 cuando una turba incitada por los cristianos la atacó. En ese vandalismo, murió víctima de la turba la famosa filósofa Hypatia.

## 2 – 19. Alejandría en tiempo de los musulmanes

Cuando los musulmanes ocuparon todo el Asia Menor, los estudiosos de Siria fueron patrocinados por los califas y fueron empleados en cargos influyentes como médicos, astrónomos, matemáticos, ingenieros, etc.; y los manuscritos de autores griegos y alejandrinos fueron traducidos al árabe. La primera cultura musulmana era más receptiva de las ciencias y filosofías antiguas que la cultura cristiana. De esta manera, en los tiempos medievales, los eruditos árabes estuvieron mejor preparados en matemáticas, medicina y química. Cuando en los siglos VII y VIII la ola cultural musulmana atravesó el norte de África y llegó a España, este país se convirtió en la sede de una cultura de alto grado que duró hasta la expulsión de los moros en 1492. De España, la cultura clásica de los eruditos sirios transmitida a los eruditos árabes se propagó a Europa y los matemáticos, médicos y alquimistas árabes ganaron la estima de los científicos de varios países. En los siglos XII y XIII, las traducciones, elaboraciones y comentarios de antiguos autores griegos y egipcios, recibidos de versiones efectuadas en Siria, fueron finalmente traducidas al latín, convirtiéndose en autoridades importantes en el campo de las ciencias naturales. Los escritos griegos originales habían desaparecido por completo, lo que hizo suponer que esas traducciones al latín habían sido elaboradas por pensadores árabes. Esta creencia fue particularmente firme en el campo de la Química y mucho tiempo después se comprobó que muchos textos habían tenido su origen en Alejandría en los siglos III y IV.

## 2 – 20. Los primeros escritores alquímicos de Alejandría

Podemos afirmar que las actividades y especulaciones químicas que hoy llamamos Alquimia se originaron en Alejandría en el siglo I de nuestra era. Los primeros autores cuyos trabajos se conservaron en parte fueron preponderantemente alejandrinos griegos y egipcios. Ellos escribían en griego y sus trabajos contienen alusiones y tradiciones que vinculadas por la antigua filosofía natural griega, con Platón y con Aristóteles, aunque también algunas alusiones a las ideas vinculadas con la cultura persa y la egipcia. Muchos de los trabajos aluden a dispositivos y operaciones como los que hemos comentado acerca de los papiros de Leiden y de Estocolmo.

Hay abundante evidencia que esta etapa de la actividad química que despertara el interés no sólo en Europa sino en Arabia y Asia y que llegara a expandirse hasta la India y la China tuvo su origen en los trabajos sobre metales que se realizaban en Egipto. Además, la escuela neoplatónica había elaborado teorías acerca de la materia y sus posibles cambios. En particular, estas teorías se basaban sobre la obra de Platón llamada Timeo, en la cual en la forma de diálogo (si bien es sustancialmente un monólogo) Timeo le explica a Sócrates su idea acerca de cómo se genera y desarrolla el universo físico. Basándose sobre ideas neoplatónicas, los alquimistas se lanzaron a la búsqueda de la transmutación de los metales.

## Bibliografía

**Abdel-reheem Ead, H.:** (1998): *Technical Arts Related To Alchemy in Old Egypt*, Universidad de El Cairo, El Cairo.

**Berthelot, M.,** (1885): *Les origines de l'Alchimie*. Georges Steinheil, Éditeur. Paris.

**Berthelot, M.,** (1889): *Introduction a l'étude de la Chimie des anciens et du moyen age*. Georges Steinheil, Éditeur. Paris.

**Holmyard, E. J.,** (1990): *Alchemy* Dover Publications Inc. New York.

**Leicester, H. M.,** (1956): *The Historical Background of Chemistry*, John Wiley & Sons Ltd., London.

**Lucas, A.,** (2010): *Ancient Egyptian Materials and Industries*, Kessinger Publishing Company, Whitefish, MT.

**Partington, J. R.,** (1945): *Historia de la Química*. Espasa-Calpe Argentina S.A. Buenos Aires.

**Radcliffe Caley, E. – Monroeville, O.,** "The Leyden Papyrus X" An English Translation with Brief Notes, *J.Chem.Ed.*, **3**, 10 October 1926, 1149 -1166.



### **III. ALQUIMIA EN LA ANTIGUA CHINA**

#### **3 – 1. Los orígenes de la Alquimia china.**

La alquimia china se desarrolló, probablemente, a partir del siglo VI a.C., ya que se encontraron relatos que describen los éxitos de un alquimista llamado Tsou Yen. Pero uno de los primeros documentos referidos a esta actividad es del año 144 a.C. Se trata de un edicto imperial que condenaba a la pena de ejecución pública a los falsificadores de moneda y a aquellos que elaborasen oro falso. En el año 180 d.C., un comentarista de este edicto explicó que el Emperador Wen (*circa* 175 a.C.) había permitido las prácticas alquímicas tendientes a transformar metales viles en oro. Muchos alquimistas se empeñaron en lograr tales transmutaciones, pero el material que obtenían no era verdadero oro. Por ello, fueron perdiendo su tiempo y su dinero y muchos se dedicaron a robar y a estafar incautos. Fue entonces que el Emperador Ching promulgó el edicto contra ellos.

El hecho de que la alquimia haya sido prohibida por ley, refuerza la idea de que debió tener una larga tradición anterior.

A pesar de la prohibición, en el año 133 a.C. el Emperador Wu recibió a un alquimista quien afirmaba que rindiéndole culto a la diosa del hornillo, había descubierto el secreto de la inmortalidad. El Emperador le preguntó qué cosas debía hacer para encontrar el secreto. El alquimista le dijo que el Emperador en persona debía rendir culto a la diosa del hornillo, lo que lo habilitaría para invocar a seres espirituales. Si esos seres espirituales accediesen a aparecer le dirían como transformar el cinabrio en oro. Con ese oro tendría que fabricar vasos y platos para beber y comer para prolongar la vida hasta “encontrarse con los *Penglai* que viven en el medio del océano”. Mediante ofrendas y sacrificios a estos seres, el Emperador lograría volverse inmortal.

Esta historia es significativa en tanto que revela dos rasgos característicos de la alquimia china: que el objeto principal del arte alquímico era conseguir la inmortalidad (o, al menos, la longevidad) y que para ello, debía invocarse la ayuda de dioses menores. Según Homer Hasenpflug Dubs, la imagen de la “diosa del hornillo” era la de una hermosa anciana con el cabello recogido en la parte superior de la cabeza y ataviada con prendas de color rojo. Siendo la divinidad a cargo de la cocción y preparación de pócimas y brebajes medicinales era, naturalmente, la protectora de los alquimistas. En la China de esa época, el comercio era una actividad algo despreciable, lo que quizás explique por qué se registran relativamente pocos intentos de transmutar metales viles en oro y plata para propósitos comerciales. En cambio, la prolongación de la vida era un objetivo lo suficientemente noble como para que los alquimistas se dedicasen a obtener oro como instrumento para alcanzar esa finalidad.

En el año 60 a.C., un asesor imperial llamado Liu Hsiang convenció al Emperador Shuan que, para obtener la inmortalidad, debía hacer sacrificios para cinco montañas y cuatro ríos considerados sagrados y que con la receta de Tsou Yen y las de otros, contenidas en dos libros antiguos, “*El gran tesoro*” y “*Los secretos del parque*” podía hacer el oro necesario para fabricar los vasos y platos que el Emperador debería usar en sus comidas. Shuan, proveyó a Liu Hsiang de cuantiosos fondos para la obtención de oro mediante esas recetas, pero el resultado fue un total fracaso. Al alquimista se le aplicó el edicto del año 144 a.C. pero la pena de muerte fue conmutada cuando el hermano del condenado ofreció pagar una cuantiosa indemnización.

No obstante el fracaso del experimento patrocinado por el Emperador, en los siglos posteriores se repitieron los ensayos tratando de mejorar el método empleado por Liu Hsiang. Así, a principios de nuestra era, un caballero de la corte llamado Cheng Wei intentó repetir la receta de “El gran tesoro” pero el resultado era negativo. Mientras estaba avivando el fuego para calentar la retorta que contenía mercurio, su esposa — con la quien recién se había casado — le pidió que le permitiese agregar algo a la retorta. Cheng Wei accedió y la esposa agregó a la retorta un poco de una droga que tenía en un bolso. Al rato, el contenido de la retorta se transformó en “plata”. Cheng Wei le preguntó por qué ella no le había dicho antes que poseía tal droga, a lo que la mujer respondió: “A fin de lograr un objetivo es necesario que el destino lo permita”.

A través de este caso, se incorpora a la alquimia china su tercer rasgo: tener un destino favorable es un prerrequisito para el éxito. Los alquimistas posteriores hablarían de “condiciones astrológicas favorables” y el uso de una droga que permita la transmutación sería la llamada “piedra filosofal” o “el elixir de la larga vida”.

Una mención posterior a la alquimia apareció en un texto llamado *Tsan-tung-chi*, o “El documento relativo a los tres similares” adjudicado a Wei Po Yang. Data del siglo II o III de nuestra era. Wei Po Yang sería un seudónimo de Lao Tse, quien fundara el sistema del taoísmo entre los siglos IV y III a.C., y el texto describe sus enseñanzas. Entre los temas que trata, figura la preparación de “la pildora de la inmortalidad” que está hecha de oro y que es tan eficiente que funciona aún cuando su espesor es extremadamente delgado.

Otra fuente acerca de la alquimia china se encuentra en un tratado escrito por Ko Hung, quien vivió en el Sur de China entre el 254 y el 334 d.C. En la primera parte, el libro trata sobre transmutación de metales dando diversas recetas para su logro y aclarando que el oro alquímico debe ser oro en toda su masa y no sólo en su superficie; hay también recetas para prolongar la vida sobre la base de tomar medicinas hechas con plantas pero sólo se puede lograr la inmortalidad mediante el uso del Divino Elixir hecho a partir de metales y minerales. No todas las sustancias que intervienen en la obtención del Divino Elixir se han podido identificar pero se ha corroborado que en esa receta se incluían: sulfuro de arsénico rojo y amarillo, azufre, cinabrio, alum, sal, arsénico blanco, conchas de ostras, mica y resina de pino. El elixir resultante, al volcarse sobre mercurio producía oro y cuando se agregaba una mezcla de plomo y estaño producía plata. Tomado como medicina durante cien días producía la inmortalidad. Un detalle interesante del escrito de Ko Hung es que contiene la descripción más antigua de la preparación del oro mosaico (sulfuro de estaño IV).

### 3 – 2. El fundamento de la Alquimia china.

El fundamento de la teoría alquímica china reside en el taoísmo, disciplina inicialmente filosófica (y luego religiosa) que data de los siglos IV - III a.C. Tao significa “Vía o camino del Universo” y el taoísmo sostiene la creencia de que la Primera Causa es la revolución de los cielos alrededor de

la Tierra. Soothill, citando a un escritor del siglo IV a.C., dice “Lo que había antes del Universo era *Tao*: *Tao* hace las cosas como son pero no es, en sí mismo, una cosa. Nada puede producir *Tao* pero todo tiene *Tao* en sí mismo que se produce constantemente. El objetivo fundamental de los taoístas es alcanzar la inmortalidad, si bien, esta no se entiende literalmente, sino como longevidad en plenitud. De la misma manera, se decía que las personas que vivían en armonía con la naturaleza eran inmortales. Para esto practican la meditación, el control de la respiración y efectúan diversos ejercicios físicos y siguen una dieta muy frugal.

Por una evolución natural, el deseo de una larga vida se fue transformando en la esperanza de lograr la inmortalidad. Eso hizo que los discípulos del culto se fueran dedicando al estudio de la alquimia.

Una característica de la ciencia china es la importancia que se le asignaba al número 5. Se consideraba que existían 5 elementos primigenios: la madera, el fuego, la tierra, el metal y el agua. Cinco eran las direcciones en el espacio: norte, sur, este, oeste y centro. Cinco eran los colores básicos: amarillo, azul, rojo, blanco y negro. El elemento metal estaba presente en 5 metales: oro, plata, plomo, hierro y cobre. Cinco eran los minerales de los cuales se podía extraer cobre.

Asimismo había asociaciones entre los integrantes de los distintos grupos. La tierra estaba conectada con el color amarillo, la dirección centro con el oro, la madera con el color azul, el este con el plomo, el fuego con el rojo, etc. Además del Sol y la Luna, que eran cuerpos luminosos identificados con el oro y la plata, contabilizaban cinco planetas cada uno de ellos vinculado a un elemento primigenio: Mercurio con el agua, Marte con el fuego, Venus con el metal, Júpiter con la madera y Saturno con la tierra.

4	9	2
3	5	7
8	1	6

Figura 3.1. Cuadrado mágico.

El número 5 también estaba relacionado con el llamado “cuadrado mágico”, una disposición de los números 1 al nueve en tres filas y tres columnas de modo que la suma de los números de cada fila, de cada columna y de las diagonales da 15.

El Cuadrado mágico de Lo Shu (escrito del río Lo), data de alrededor de 650 a.C. Según la leyenda, la disposición de los números apareció en la caparazón de una tortuga que emergió luego de un desborde del río Lo. 15 son los días de cada uno de los 24 ciclos del calendario solar chino. El I Ching da diversas interpretaciones astronómicas y místicas sobre estos números. Todos los cuadrados mágicos de orden 3 se obtienen por rotación o reflexión del de Lo Shu.

Herbert. E. Stapleton<sup>92</sup> hizo notar que el número 5 y el cuadrado mágico forman el plano del *Ming-Tang* o Templo de la Iluminación, un templo imperial cuya planta era cuadrada con 9 habitaciones de las cuales la número 5, en el centro, era la principal. En ese templo se promulgaban las ordenanzas del Imperio, especialmente las regulaciones del calendario lunar chino que se caracteriza por su extensión variable. Se suponía que ese templo era sagrado, por lo que los adeptos a la alquimia, solían anudar al cuello un colgante con el plano del *Ming-Tang* a modo de amuleto o talismán. De ese modo, creían, que recibirían una ayuda espiritual que les permitiría preparar la píldora de la inmortalidad o el elixir que transforme el metal base en oro.

<sup>92</sup>Stapleton, H.E.: The antiquity of alchemy (*Ambix*, V, 1953, pp. 1-43; p. 34, n. 68).

### 3 – 3. La filosofía de los opuestos.

Varios siglos después surgió una nueva concepción en la filosofía china, la de los “principios opuestos” *Yin* y *Yang*. La idea central de esta teoría era que la materia primigenia del Universo dio lugar a dos principios de naturaleza opuesta: el Yin, que representaba lo femenino, lo acuoso, lo pesado, lo pasivo y lo terroso, mientras que el Yang, representaba lo masculino, lo ardiente, lo activo y lo luminoso. Se asociaba a Yin con la Luna y a Yang con el Sol. La interacción entre estos dos principios era la que daba lugar a la formación de los cinco elementos primigenios que constituyen el mundo. Una extensión alquímica de esta interacción vinculaba al Yang con el oro, azufre, cinabrio y otras sustancias a las que se les adjudicaban el poder de dar vida una plétora de años. El Yang era considerado el fertilizante macho y el Yin la pasiva receptora hembra y esta concepción enfatizaba el rol de las sustancias identificadas con el Yang en la preparación de la píldora de la inmortalidad y en la preparación del elixir.

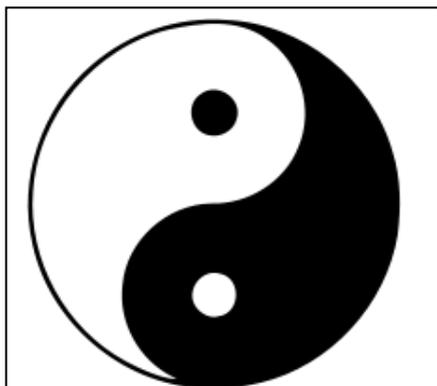


Figura 3.2. El *taijitu*, la forma más conocida de representar el concepto del yin y yang.

Una de las características de la Alquimia desarrollada a partir del siglo VII d.C., era que tenía, entre otros objetivos, la transmutación. Muchos tratadistas opinan que esa característica estuvo influenciada principalmente por la alquimia egipcia. Pero, en Egipto, la metalurgia del oro se había desarrollado suficientemente a lo largo de los siglos, lo que hace suponer que los alquimistas de Alejandría más que buscar la transmutación trataban de preparar imitaciones que semejasen de oro. Esto suscitó controversias entre los estudiosos de la cultura china acerca de si la búsqueda de la transmutación tenía su raíz en la alquimia egipcia o no.

Por otra parte, los expertos han encontrado que las prácticas alquímicas chinas aparecen en muchos documentos de Persia, la Mesopotamia y la península arábiga. A partir del siglo II a.C., los intentos de los alquimistas chinos de transmutación se hicieron con bastante frecuencia. En esa época, el oro era una rareza por lo que se conocía muy poco acerca de sus propiedades físicas y químicas. Eso puede haber influido para que el oro “alquímico” se aceptase como genuino. Por ello, otros tratadistas sugieren que la idea de la transmutación fue llevada a Arabia por viajeros chinos. Una objeción a esta teoría es que la preparación de la medicina que provoque la inmortalidad, que constituía la búsqueda principal de los alquimistas chinos, no aparece en la literatura árabe hasta el año 714 cuando un primer barco árabe atracó en Cantón.

Cuando la alquimia comenzó a expandirse en el Levante, la práctica de la alquimia comenzó a menguar en China. En el siglo X, la práctica experimental de la alquimia china había desaparecido casi por completo y el vocabulario de ese arte fue adaptado a sistemas espirituales y místicos. La búsqueda de la inmortalidad fue elevada a la categoría de un fin superior, pero el andamiaje del pensamiento alquímico era demasiado útil para ser abandonado.

**Bibliografía:**

**Hilditch, T. P.:** (1911), *A Concise History of Chemistry*. D. van Nostrand Company. New York.

**Holmyard, E. J.:** (1990) *Alchemy* Dover Publications Inc. New York.

**Leicester, H.M.:** (1971), *The Historical Background of Chemistry*. Dover Publications Inc. New York.

Li, Quand & Shu, (1985): *An Introduction to Science and Civilization in China*, Dover Publication, Inc, New York.

**Needham, J.,** (1974): *Science and Civilisation in China*, Vol. 5, *Chemistry and Chemical Technology, Part II. Spagyric Discovery and Invention: Magisteries of Gold and Immortality*, Cambridge University Press, Cambridge.

**Partington, J. R.:** (1945) *Historia de la Química*. Espasa – Calpe Argentina S.A. Buenos Aires.



## IV. LA ALQUIMIA EN LA INDIA

### 4 – 1. Ideas alquímicas en la India

En la India, la Química evolucionó principalmente como asistente de la Medicina y, en la Edad Media, como un complemento del culto tántrico.

Las menciones más antiguas a la Alquimia, se encuentran en los Vedas (en sánscrito: *conocimiento*). El más antiguo de estos Vedas es el Rig-Veda (o Rik-Veda), que data, probablemente, del siglo XVI a.C. De él se derivaron otros tres Vedas: el Atharva-Veda, el Iáyur-Veda (más conocido como Ayurveda) y el Sama-Veda. Una característica general en estos textos es que la eficacia para la curación de un enfermo no depende solo de una droga sino de la voluntad de las deidades. En el Rig-Veda, estas deidades son personificaciones de diversos materiales o de fenómenos naturales, como el viento, el fuego, el Sol o el amanecer. A menudo se encuentra que algunas hierbas o plantas, dotadas de propiedades especiales son elevadas por el Rig-Veda a la categoría de dioses y actúan en consecuencia. Un ejemplo típico es el *Soma* cuyo jugo fermentado, *soma rasa*<sup>93</sup>, era venerado por los creyentes debido a que entraban en éxtasis por sus efectos fuertemente estimulantes que la hacían comparable con la *ambrosía* de los griegos, que confería inmortalidad a los dioses.

Si bien en la época del Rig-Veda no estaba muy marcada la diferencia de castas, era bastante común que la Medicina fuera profesada por ciertas familias. En uno de sus pasajes, un Rishi (poeta trovador) dice: “*Un médico experto se distingue claramente por ser alguien que vive en un lugar donde abundan las plantas medicinales, y que asiduamente dedica su tiempo a la adquisición de conocimientos.*”<sup>94</sup>

El Atharva-veda trata principalmente con la hechicería, la brujería y la invocación a los demonios. Hay imprecaciones mortales contra los malhechores, conjuros mágicos para lograr la ruina, muerte, demencia y estupefacción de los enemigos o adversarios y encantos cuyo objetivo es asegurar el amor de las mujeres mediante el poder de varias hierbas. También hay invocaciones de carácter hostil destinadas a perjudicar a los rivales. En cierto grado se parece a los escritos de los anti-

---

<sup>93</sup> *Rasa*; jugo en sánscrito.

<sup>94</sup> *Introduction to “Astāṅgahridaya” of Vagbhate*, de Anna Morsvar Kunte, p. 2.

guos egipcios, que fueron conocidos por su tradición mágica, especialmente con el Papiro de Leyden en el que también hay una mezcla de magia, astrología, alquimia, así como recetas para pociones de amor.

Debido a que en el Atharva-Veda el arte de curar está muy influenciado por la magia y la hechicería, los médicos al practicar un “arte negro” tuvieron una posición inferior en los textos legales posteriores. No obstante, fueron bastante estimados por la población y especialmente por los reyes, quienes creían en los servicios que podían prestar ocasionando daños en los enemigos.

En el Atharva-Veda, los himnos para la cura de las enfermedades y la posesión por los demonios de la enfermedad se conoce como *bhaishajyáni*, mientras que las que tienen por objeto la obtención de una larga vida y la salud se conocen como "*áyushyáni*", un término que más tarde dio lugar a *rasayana*, el equivalente sánscrito de la Alquimia.

El período del Iáyur-Veda, se inicia alrededor del siglo VI a.C. y durante el mismo, el sistema de Medicina se hizo más metódico y se organizó sobre bases más racionales, a la vez que comenzó a utilizar una terminología más científica.

Las dos grandes obras de este periodo son el *Charaka* y el *Susruta*. En ellos se encuentra que la Medicina — y de su auxiliar, la Alquimia, — hizo un avance significativo y se fue desarrollando a partir de la situación caótica en que se encontraba durante el período del Atharva-veda. De las dos obras, el Charaka es la obra más antigua y, probablemente, su aparición haya ocurrido alrededor del siglo IV o el siglo III a.C.<sup>95</sup>

Entre el período del Atharva Veda y el del Charaka se deben haber compuesto varios tratados médicos, cada uno reflejando el espíritu y los progresos de su época. Al mismo tiempo que el Charaka, existían, al menos, seis trabajos sobre Medicina cuyos autores serían Agnivesa, Bhela, Játukarna, Parásara, Háríta y Kshárapáni. Charaka basó su trabajo sobre el de Agnivesa<sup>96</sup>, que él rehizo y remodeló totalmente. Más tarde, en el siglo I a.C. Dridhavalá le agregó los últimos cuarenta y un capítulos. Los otros cinco trabajos han desaparecido. Vágbhata<sup>97</sup>, quien tipificó tanto el Charaka como el Susruta, menciona los trabajos de Háríta y Bhela, que, probablemente, todavía existían en su época.

El Charaka parece el libro de actas de un congreso de médicos realizado en el Himalaya al cual asistieron profesionales de muchas regiones como el Tibet y la China.

El Susruta, muestra estar escrito sobre bases más sólidas. Su terminología y sus técnicas, en general, no difieren mucho del Charaka. Pero, en cuanto al estilo, es más bien seco, conciso, lacónico y fáctico, mientras que el Charaka es discursivo y difuso. Por su composición y sus caracteres, el Susruta debe ubicarse en una época muy posterior.

El Susruta es esencialmente un tratado de cirugía, mientras que el Charaka lo es de Medicina. Vágbhata, en su obra de Astárigahridaya, introduce muchas adiciones a los aspectos médicos y modificaciones en las técnicas quirúrgicas. En las prescripciones figuran sales minerales naturales conjuntamente con drogas vegetales; el mercurio se menciona incidentalmente pero de forma tan somera que uno no estaría seguro de concluir que se refiere a algún compuesto en particular. Sin embargo, hay recomendaciones de algunas preparaciones metálicas que harían suponer un conocimiento avanzado de procesos químicos.

<sup>95</sup> Chaudhuri, T. G., (1918): *Outline of the History of Sanskrit Literature*, Chuckverthy, Chatterjee & Co, Calcutta.

<sup>96</sup> El mismo Charaka asigna candidamente sus razones por dar preferencia al tratado de Agnivesa mediante las palabras: “de los seis autores, Agnivesa fue el intelectual más agudo” (sutra Cap. 12).

<sup>97</sup> Fue un médico budista autor de un manual de medicina ayurvédica en uso en la India desde la Edad Media.

Otro de los documentos que tratan sobre la Medicina en la India y que contiene algunos productos químicos utilizados como medicamentos es el llamado Manuscrito de Bower. Este manuscrito, actualmente en la Bodleian Library de la Universidad de Oxford, está formado por 51 placas de corteza de abedul. Contiene siete textos, escritos en sánscrito clásico y en formas dialectales de sánscrito (práctico) mediante la escritura *gupta* (también llamada *brahmi* tardía) escritura habitual en el Norte de la India entre los siglos IV y VI de nuestra era. Fue descubierto en 1890, en Kucka, una localidad al este del Turkestán. Debe su nombre al teniente británico Hamilton Bower, quien describió las circunstancias de su hallazgo: un lugareño se le acercó y le propuso venderle unos antiguos manuscritos que se hallaban en un templo budista abandonado y en ruinas que se hallaba en las afueras de la población. Bower compró los manuscritos y los envió a la *Sociedad Asiática de Bengala*, donde fueron analizados por el famoso paleógrafo Augustus Hoernle, que era Secretario filológico de la institución. Hoernle encontró que las partes I- III y V- VII, fueron escritas por monjes budistas y que el empleo de láminas de corteza de abedul indicaba que el manuscrito procedía de Cachemira o Udyana. En cambio, el copista de la cuarta parte podría haber sido un nativo de Turkestán.

Los tres primeros textos del Manuscrito de Bower, tratan sobre medicina ayurvédica y en ellos se mencionan reiteradamente el Charaka y el Susruta. Los dos siguientes, se ocupan de la adivinación mediante los dados, una práctica muy común en la antigua India, y los dos últimos recogen fórmulas y tratamientos mágicos contra las mordeduras de serpientes.

Vágbhata fue un compilador de los textos antiguos de la Medicina india a la vez que agregó buena parte de su experiencia personal. La época en que vivió es también incierta. El hecho de que los Califas ordenaron la traducción al árabe de su obra, indica que fue posterior al siglo VII mientras que otros autores extienden la época hasta el siglo II de nuestra era.

En el siglo XI se produce una bifurcación de los caminos que marcan el progreso de la medicina hindú. Hasta mediados de ese siglo, la Medicina usaba productos obtenidos del reino vegetal y muy pocos productos minerales tal como se encuentran en la Naturaleza. Alrededor del siglo X, un médico llamado Vrinda escribió el Siddha yoga, un tratado basado sobre las enseñanzas del Charaka y del Susruta, pero agregándole algunas medicinas obtenidas artificialmente del reino mineral.

En el año 1050 d. C., Chakrapani Datta, un erudito comentador del Charaka y el Susruta escribió el célebre tratado médico que lleva su nombre. Desde la época del Vagbhata, las preparaciones metálicas comenzaron lentamente y poco a poco a ser usadas en medicina y en los tiempos de Chakrapani y su predecesor Vrinda, su uso comenzó a ser mucho más habitual. Desde el siglo X, todo trabajo médico recomendaba en mayor o menor medida compuestos de metales que sólo se pueden preparar sintéticamente.

La inclusión de productos minerales sintéticos al arsenal médico para combatir a las enfermedades, le dio un gran impulso al desarrollo de la Alquimia en la India.

En casi todos los países, el progreso de la Química puede ser rastreado desde la medicina y la creencia de la posibilidad de fabricar oro — la búsqueda del *elixir vitae* y la *piedra filosofal*. Sin embargo, en la India, esos fines han tenido una importancia secundaria en la promoción del conocimiento de los procesos químicos. En la India, el origen de la Astronomía, la Geometría y la Anatomía, deben rastrearse en las exigencias de los ritos religiosos. El caso de la Alquimia no es diferente.

En la literatura sánscrita, cada vez que hay alguna referencia a la brujería o a la magia, ella es citada del Atharva-Veda. Pero, con el transcurso del tiempo, se puso de moda la adoración de Siva

que incorporó muchos de los caracteres no arios y que parecen haberse mezclado con los ritos del Atharva-Veda, modificados por los requerimientos de la época.

Durante la expansión aria en el Norte de la India, los arios tomaron algunos ritos de los habitantes originales y los fueron adaptando a sus propias creencias dando así inicio a un culto que en el siglo VII ya estaba bien establecido en la India: el culto tántrico<sup>98</sup>. En el culto tántrico, los dos dioses mayores, que personifican los dos polos equilibrados del cosmos, son Siva y su esposa consorte Párvati. Pero ella es la más importante de los dos, ya que es considerada la fuerza primaria, creativa y activa, la Diosa Madre. En este culto no se reconocen castas: se considera a las mujeres totalmente iguales a los hombres y, en numerosos ritos, conciben a la mujer como el vehículo físico de la propia diosa Párvati. El objeto principal del culto es liberar el alma del cuerpo.

En la India de la Edad Media el culto tántrico resultó una curiosa mezcla de procesos alquímicos, por un lado, y ritos grotescos, obscenos y, a veces, hasta repugnantes, por el otro. Todos centrados sobre Siva y Párvati. Las características de ese culto fueron expresadas en varios textos, uno de los cuales, el Rasárnava<sup>99</sup>, es de particular interés ya que involucra mucha información valiosa sobre Alquimia. Rasárnava exalta las virtudes del mercurio y de sus diversas preparaciones:

“Cuando es usado por los mejores devotos para los fines más altos, se lo llama *pdrada* (mercurio)” ... “Por lo tanto, un hombre debe preservar ese cuerpo mediante el mercurio y medicamentos” ... “Mica es tu semilla y mercurio es mi semilla: La combinación de los dos, Oh diosa, destruye la muerte y la pobreza”

En los textos tántricos se afirma que las almas de varios alquimistas han sido liberadas por el mercurio, aunque ellos siguieron vivos y se afirma que el significado de esto se lo reveló Siva a Párvati: “La preservación del cuerpo, ¡Oh Suprema Diosa!, se obtiene por el mercurio y la supresión del aliento. Cuando el mercurio se evapora, cura las enfermedades y cuando se lo mata, le restaura la vida a los muertos. Cuando el mercurio y el aire quedan confinados, ¡Oh Diosa!, le posibilitan al hombre, volar. Luego describe el estado de desvanecimiento del mercurio cuyas características son: “Presenta varios colores y está libre de excesiva fluidez o movilidad”. En cuanto a saber que se ha matado al mercurio esto se reconoce por la ausencia de las siguientes propiedades: humedad, espesor, brillo, gravidez y movilidad.

La referencia más antigua del uso del mercurio como medicina interna se encuentra en el Vrihatsamhitá de Varáhamihira (587 d. C.) donde se menciona al hierro y al mercurio entre los afrodisíacos y los tónicos.

Durante el período tántrico, con su sistema de “Filosofía del mercurio” se fue acumulando una gran masa de información química que fue plenamente usada en el período siguiente, el llamado período iatroquímico. El rasgo principal de la actividad alquímica en el período tántrico era la búsqueda del *elixir vitæ* tal como lo atestiguan el Rasárnava y otros textos de la época, mientras que en el período iatroquímico las ideas de liberar el alma del cuerpo y seguir viviendo de manera inmortal fueron abandonadas y dieron paso a otras metas, más prácticas y tangibles. El gran número de preparaciones mercurio, hierro, cobre y otros metales, si bien no podían asegurar la inmortalidad o revivir a los muertos, mostraron que podían ser accesorios útiles para la Medicina. Al principio fueron usadas cautelosamente y de manera tentativa, mezcladas por las recetas del Charaka y del

<sup>98</sup> "Tantra" es una voz sánscrita que significa "urdimbre". Representa un conglomerado de enseñanza escrita — la urdimbre — a través del cual quedan enhebradas la práctica y preparación física y moral suplementarias — la trama— necesarias para la adquisición de la experiencia personal y directa de Dios o de los dioses. Hay dos clases distintas de tantras — brahmánico y budista — que tratan sobre magia, alquimia, brujería y temas relacionados

<sup>99</sup> Rasárnava en sánscrito significa “mar de mercurio”.

Susruta que se obtenían del reino vegetal, pero pronto mostraron que daban mejores resultados por sí mismas y comenzaron a suplantar los tratamientos ayurvédicos a base de hierbas y plantas.

#### 4 – 2. La teoría atómica en la India antigua

Kanada, (c. Siglo III a.C.), el fundador del sistema filosófico Vaiseshika, se ocupó principalmente del estudio de las propiedades de la materia. La teoría atómica que propuso tiene mucho en común como la del filósofo griego Demócrito. Propuso una teoría aceptable sobre la propagación del sonido y afirmó que *la luz y el calor son sólo formas diferentes de una misma sustancia*. Pero Kanada fue anticipado en muchos temas materiales por Kapila, el creador de la filosofía Sámkhia. El sistema filosófico Sámkhia enseña que la salvación “después de la vida” solo se logra mediante el conocimiento perfecto. Según Kapila, hay tres fuentes de conocimiento que consisten en una correcta discriminación entre los principios perceptibles del mundo material y los imperceptibles del alma inmaterial. En total, enumeró veinticinco principios. Entre ellos se encuentran:

Los *tanmatras* o partículas. Son cinco partículas sutiles, elementales o átomos, que él denominó tanmatras. Estas partículas sólo son perceptibles para seres superiores, pero que no pueden ser captados por los burdos sentidos de la gente común. Ellas derivan del principio de la conciencia y son las que producen las cinco sustancias palpables: tierra, agua, fuego, aire y espacio.

Cinco elementos producidos por las cinco partículas elementales. 1º) un fluido difuso y etéreo (*akasa*) que tiene la propiedad de audibilidad, por lo que es el vehículo del sonido producido por los átomos elementales sonoros. 2º) Aire, que está dotado de las propiedades de audibilidad y tangibilidad por lo que es sensible al oído y al tacto; producido por los tangibles átomos elementales aéreos. 3º) Fuego, que está dotado de las propiedades de audibilidad, tangibilidad y color. Por lo que es sensible al oído, al tacto y a la vista y producido por átomos elementales coloreados. 4º) Agua, que posee las propiedades de audibilidad, tangibilidad, color y gusto; siendo producida por los átomos elementales con sabor. 5º) Tierra, que reúne las propiedades de audibilidad, tangibilidad, color, gusto y olor; siendo producida por átomos elementales olorosos o térreos.

El átomo de alma. La noción de un átomo de alma parece ser un compromiso entre el dogma refinado de un alma inmaterial y la dificultad que encuentra una inteligencia vulgar para captar la comprensión de la existencia individual, sin ataduras a la materia.

"El cuerpo palpable, con el que está vestida un alma sutil se compone de los cinco elementos, aunque según otros filósofos, de cuatro, porque excluyen lo etéreo. Ese cuerpo palpable que se propaga en el tiempo por generación, es perecedero. En cambio esta filosofía suponía la metempsicosis, afirmando que el alma es más durable al transmigrarse a través de sucesivos cuerpos y representando diversos caracteres en cada uno de ellos.

Para Kanada, las sustancias materiales están constituidas primariamente por átomos. Esto átomos se unen formando agregados. Al igual que los atomistas griegos, sostuvo que los átomos son eternos e inmutables y explicó su agregación de la siguiente manera:

La mota que se ve oscilando en un rayo de luz es la cantidad perceptible más pequeña. Siendo tanto una sustancia como un efecto, tiene que estar compuesta por lo que es más pequeño que ella. A su vez, estos componentes son sustancia y efecto. Estas a su vez, deben estar compuestas por lo que es más pequeño, etc. La cosa material más pequeña es un átomo. Es simple y no compuesta, si

no, la serie de descomposiciones no tendría fin y si siguiera indefinidamente, no habría diferencia de magnitud entre un grano de mostaza y una montaña, entre un mosquito y un elefante, cada uno de ellos conteniendo infinitas partículas. Por lo tanto, la partícula última de la descomposición, el átomo, es simple.

El primer compuesto que se forma consiste en dos átomos: ya que uno sólo no es un compuesto y no hay argumento que pruebe que al principio se unan más de dos. El siguiente compuesto consiste en tres átomos dobles, ya que si sólo se unieran dos, la magnitud difícilmente seguiría aumentando ya que el aumento debe producirse o por tamaño o por el número de partículas. Como no puede ser por tamaño, entonces debe ser por su número. No hay razón alguna para suponer la unión de cuatro doble átomos, ya que tres son suficientes para originar magnitud. Entonces, el átomo se reconoce por ser la sexta parte de una mota visible en un rayo de Sol.

Dos átomos de tierra, concurriendo por una virtud invisible y peculiar, la voluntad de Dios, o del tiempo o de otra causa competente, causan la constitución de un átomo doble de tierra, y por el concurso de tres átomos binarios, se produce un átomo terciario, y por la unión de cuatro átomos triples se forma un átomo cuaternario; y así sucesivamente hasta formar una masa palpable de tierra. Así como se produce una masa grande de tierra, de la misma manera se produce una masa de agua a partir de átomos de agua, una luz visible a partir de átomos de luz y una masa de aire a partir de átomos de aire. Las cualidades que corresponden a los efectos son aquellas que están relacionadas con las partes integrantes, o partículas primarias, que son su causa material. Inversamente, las cualidades que pertenecen a la causa, se expresan en los efectos.

La disolución de las sustancias procede de manera inversa. En las partes integrantes de un agregado resultante de una composición, como en un trozo de un pote de cerámica, la acción de disolución es inducida por la presión ayudada por la fuerza o sólo por la presión y le sigue la disyunción, ya que la causa de la unión de sus miembros ha sido anulada y la sustancia integral, consistente en esos miembros, es resuelta en sus partes y destruida, por lo que cesa de subsistir como un todo.

Cualidades de las sustancias (color, sabor, etc.) La cualidad está íntimamente unida a la sustancia, no como una causa íntima de ella ni como un movimiento sino algo común, relacionado con ella. Es independiente de la conjunción y de la disyunción y no es la causa de esos procesos.

Se enumeran veinticuatro cualidades. De ellas, sólo diecisiete están especificadas mediante los aforismos de Kanada, el resto se sobreentienden. Algunas de ellas son:

*Color.* “Es una cualidad peculiar que sólo puede ser aprehendida por la vista y reside en tres sustancias; tierra, agua y luz. Es una cualidad característica de esta última y en ella, es blanca y resplandeciente. En el agua es blanca, pero sin brillo. En los átomos primarios de estas sustancias es perpetua pero en sus productos no siempre. En la tierra es variable y se distinguen siete colores, a saber, blanco, amarillo, verde, rojo, negro, leonado (o anaranjado) y multicolor. Las variedades de estos siete colores son muchas, innumerables. Los seis colores simples ocurren en los átomos de tierra, y el séptimo en sus átomos dobles y formas más complejas ya que el color de las partes integrantes es la causa del color de la sustancia integral.”

*Sabor.* “Es una cualidad peculiar, que solo puede ser captada por el órgano del gusto y reside en dos sustancias, tierra y agua. Es una cualidad característica de esta última y en ella es dulce. Es perpetua en los átomos de agua, no así en productos acuosos. En la tierra es variable y se distinguen seis clases, dulce, amargo, acre, astringente, ácido y salino.”

*Olor.* “Es una cualidad que sólo puede ser aprehendida por el órgano del olfato, y reside sólo en la tierra, siendo su cualidad distintiva. En el agua, el olor es accidental, siendo inducido por la unión

con partículas térreas; como un cristal claro aparece de color rojo al colocarlo sobre una malva, u otra flor de esa tonalidad. En el aire, también es accidental, así una brisa, que ha pasado sobre flores, almizcle, alcanfor, u otras sustancias aromáticas, arrastra partículas aromáticas de las ellas, etc. Las flores no se desgarran, ni el almizcle disminuye; porque sus partes son reemplazadas por una virtud reproductiva invisible. En cambio, el alcanfor y otras sustancias volátiles dejan residuos.”

*Gravedad.* “Es la causa peculiar del descenso primario o caída. Afecta a la tierra y al agua. El oro es afectado por esta cualidad en razón de la tierra que contiene.”

“En ausencia de una causa compensatoria, como adhesión, velocidad, o algún acto de la voluntad, el resultado es el descenso de esta cualidad. Así un coco es retenido de caer por la adhesión del pedúnculo; pero, este impedimento cesa al madurar la fruta y ella cae.”

“Según Udayana Acharya, la gravedad es imperceptible, pero que se infiere del hecho de caer. Vagbhata sostiene que se percibe en la posición de una cosa que desciende a una situación inferior.”

*Ligereza o liviandad,* “No es una cualidad distinta, sino la negación de la gravedad.”

*Fluidez.* “La fluidez es la causa del goteo original”. Afecta a la tierra, la luz y el agua. Es natural y esencial en el agua, pero es accidental en la tierra y en la luz, siendo inducida por exhibición de fuego en sustancias molidas, como laca, oro, etc.

“La fluidez es perceptible por sentidos externos, vista y tacto.”

“En el granizo y en el hielo, la fluidez subsiste en esencia, pero es obstruida por un impedimento que surge de una virtud invisible que hace que el agua solidifique.”

*Viscosidad.* “La viscosidad es la cualidad que hace a la sustancia pegajosa y es la causa de la aglutinación. Radica solamente en el agua. En el aceite, la mantequilla líquida, etc., es el resultado de la parte acuosa de esos líquidos.”

*Sonido.* “El sonido es una cualidad peculiar del elemento etéreo, y ha de ser aprehendido por el oído, reside exclusivamente en ese elemento y es su cualidad característica. Se distinguen dos tipos de sonidos: articulado y musical.”

*Teoría de la propagación de sonido.* “Para describir el sonido originado en un lugar que se oye en otro, debe notarse que se propaga por ondulación, onda tras onda, radiando en todas direcciones a partir de un centro, como una flor de nauclea. No se escucha ni la primera onda ni alguna intermediaria sino la última que toma contacto con el órgano del oído: por lo tanto, no es correcto decir que se ha oído un tambor sino que ha llegado el sonido proveniente de un tambor. El sonido se origina en conjunción, en disyunción o por si mismo. La conjunción de varios címbalos, o de un tambor y un palo, pueden servir como ejemplos del primero. Esta es la causa instrumental. El crujir de las hojas es una instancia de disyunción que es la causa del sonido. En algunos casos, el sonido se convierte en la causa del sonido. En todos, según la conformidad con el viento, o su calma, es una causa concomitante: ya que un viento adverso obstruye el sonido. En todos los casos, la causa material es el fluido etéreo y la conjunción de él con el objeto sonoro es una causa concomitante.”

#### 4 – 3. Química en el Charaka y en el Susruta.

En el Charaka se indica que todos los objetos son en resultado de la combinación de cinco elementos primarios, tierra, agua, fuego aire y éter o espacio. En lo que hace a la ciencia Médica, los objetos los clasifica en dotados de animación y los inanimados. Los atributos inherentes a los objetos son los ya mencionados, sonido, gravedad, viscosidad, fluidez, etc.

Se mencionan varias sustancias minerales y preparaciones metálicas. Hay cinco clases de sales: sauvarchala (salitre, nitrato de potasio); saindhava (sal de roca, cloruro de sodio), vit (sal negra<sup>100</sup>), audbhida (mezcla natural de cloruro y sulfato de sodio en proporciones variables, a veces con carbonato de sodio) y sámudra (residuo sólido de la evaporación del agua de mar),

Minerales para aplicación externa: Sulfato de cobre, sulfato de hierro, rejalgar, oropimente. Se usaban combinados con distintos vegetales para aplicación externa en enfermedades como el eczema, la tiña y la lepra.

Para la elaboración de las recetas se usaban ocho variedades de orina, de oveja, de cabra, de vaca, de búfalo, de elefante, de camello, de caballo y de burro.

Preparación de álcali. Se cortaba en trozos pequeños una *butea frondosa* se secaba y finalmente se reducía a cenizas. Las cenizas se lixiviaban con cuatro a seis veces su peso de agua y se exprimía a través de un lienzo, veintiuna veces.

En el Charaka, las medicinas son de dos clases: las que promueven la fuerza y la vitalidad a la persona sana y las que curan las enfermedades. Todas las medicinas que promueven la longevidad, retentiva de memoria, salud, virilidad, etc. se llaman *Rasayana*.

En el Susruta los álcalis eran de dos clases, según se usasen externa o internamente. Externamente se usaron para el tratamiento de queloides, tiña, leucoderma, lepra fístula-in-ano, úlceras, etc. Internamente se usaron para tumores abdominales, acidez, pérdida de apetito, indigestiones, timpanitis, parásitos intestinales, etc.

Los álcalis se obtenían a partir de las cenizas de distintos árboles, *Butea frondosa*, *Shorea robusta*, *Terminalia bellarica*, *Cassia fistula*, *Euphorbia neriifolia*, *Pongamia glabra*, etc.

Treinta y dos decímetros cúbicos de cenizas se mezclaban con seis veces su cantidad de agua u orina de vaca y la mezcla se escurría a través de un lienzo. Esto se repetía veintiuna veces. El fluido escurrido se hervía lentamente en una gran olla agitando con un cucharón. Cuando el fluido se volvía transparente, acre y jabonoso al tacto se retiraba del fuego y se filtraba a través de un lienzo. El residuo sólido se descartaba y el filtrado se hervía nuevamente. De esta solución se tomaba tres cuartos de litro.

Tome ocho palas<sup>101</sup> de nueces de Banduc<sup>102</sup>, piedra caliza calcinada, caracoles marinos, y conchas de bivalvos y caliéntelos en una sartén de hierro, hasta que tomen el color del fuego. Luego humedezca con los tres cuartos de litros de la solución antes mencionada y muélalo todo hasta reducirlo a polvo. Vierta el polvo sobre 64 dm<sup>3</sup> de solución alcalina y hierva agitando constantemente con un cucharón. Tenga cuidado que la solución no sea ni muy espesa ni muy diluida. Cuando se alcanza la consistencia adecuada, retire la solución del fuego y viértala en un tarro de hierro. Cubra

<sup>100</sup> Sal que se prepara calentando fuertemente 82 libras de sal común con 1 libra del fruto de *terminalia chebula*, una libra de *Phyllanthus emblica* y una libra de carbonato de sodio. Se obtiene una masa de color pardo rojizo que consiste principalmente en cloruro de sodio con trazas de sulfato de sodio, alúmina, magnesia, óxido férrico y sulfuro de hierro. Se usaba como digestivo.

<sup>101</sup> Unidad de medida en la India. 1 pala= 27,2 gramos.

<sup>102</sup> *Bonduc indorum*.

la boca del tarro y guárdelo en un lugar aislado. Esta preparación se llama *madhyama kshára* o cáustico alcalino de mediana fuerza. Cuando la solución alcalina se hierve simplemente sin la adición de caracoles, conchas, etc. se la llama *mridu kshára* o solución alcalina débil. La solución alcalina fuerte se prepara hirviendo la solución débil con dos tolaks<sup>103</sup> de *Baliospermum montanum* o *Salvinia cucullata* o *Plumago Zeylánica* o *Gloriosa superba* finamente molidas.

En el Susruta se mencionan 37 clases de drogas vegetales, las que constituyen lo más importante de su Materia Médica. Se indican seis metales, estaño, plomo, cobre, plata, hierro y oro y sus sales. Las sales son las mismas que en el Charaka. Los álcalis que figuran son yavakshára (un carbonato de potasio artificial), natrón (carbonato de sodio), bórax y las soluciones alcalinas mencionadas antes.

La administración interna de álcalis se recomendaba para disolver los cálculos urinarios.

Un antecedente iatroquímico lo constituye el uso de plomo y estaño en Medicina. El estaño en polvo batido durante siete días con la porción cremosa de la cuajada se ingería para el tratamiento de parásitos intestinales. El plomo también se usaba como vermífugo.

Para el tratamiento de las ulceraciones se aplicaba externamente sulfato de cobre, sulfato de hierro oropimente y rejalgar.

Para tratamientos internos con compuestos de hierro, se tomaban delgadas láminas de hierro fundido, se untaban con una salmuera y se calentaba sobre estiércol de vaca y luego se volcaba sobre una decocción de mirobálanos<sup>104</sup> y asafétida<sup>105</sup>. Este proceso debía repetirse 16 veces. Luego las láminas se quemaban en el fuego de la madera de *mimosa catechu* y después se molían muy finamente y se pasaban por una tela de trama muy estrecha. El mismo proceso se aplicaba a los otros metales cuando se los usaba para tratamientos internos.

Para el tratamiento de la diabetes y la lepra, se usaban piritas finamente molidas que se recogían en las orillas del río Tapi.

El oro en polvo, mezclado con semillas de loto, miel u otros productos, se usaba como tónico.

Venenos, Entre los venenos que se describen en el Susruta se encuentra el oropimente. ( $As_2S_3$ ).

También hay vagas referencias al uso del mercurio en Medicina.

#### 4 – 4. La Química en el Manuscrito Bower.

<sup>103</sup> Tolah unidad de medida equivalente a  $\frac{3}{8}$  de onza troy = 11,664 gramos.

<sup>104</sup> Fruto de la *Terminalia chebula*

<sup>105</sup> *Ferulla Assafoetida* (Merde du diable) planta herbácea y perenne de olor fuertemente acre.

Además de tratar extensamente las propiedades curativas del ajo, en el manuscrito Bower, se indica también la manera de preparar *Yavakshara* (carbonato de potasio) y *Sarjikakshara* (carbonato de sodio).

También se indica como producir amoníaco, al que llamaban “espíritu del cuerno del ciervo” que, entre otros fines, se inhalaba para curar el hipo.

También recomendaba hervir aceite con las cenizas de ajíes verdes (*piper longun*) como remedio para las enfermedades del oído.

Sulfato de cobre y sulfato de hierro, hervidos en el aceite de mirobalano bellérico producían una tintura que oscurecía las canas.

Otro producto con diversas aplicaciones médicas era el “bitumen” un residuo grasoso resultante del calentamiento de minerales de cobre, oro, hierro y plata.

Para tratar afecciones de la membrana mucosa de la garganta, se indicaba la preparación de un “linctus”, con ciertas drogas vegetales (srotanjana) y sulfuro de antimonio.

Para obtener un ungüento que se aplicaba a los párpados, se indicaba ocre rojo, rasot (*berberis aristata*), galena, rejalgar, verdigris, en partes iguales.

#### 4 – 5. La Química en el Vagbhata

Además de un gran número de preparaciones tomadas del Charaka y el Susruta, en el Vagbhata se indican muchas preparaciones que en los textos anteriores no se encuentran. Abundan las recetas en las que aparecen productos del reino mineral. Por ejemplo, las llagas en los genitales, se debían tratar con un ungüento a base de sulfato de cobre, ocre rojo, rejalgar, oropimente y sulfato de hierro.

Para uso interno, en diversas enfermedades, el oro, cobre, plata o el estaño, se debían tomar con mirobalano, sal de roca y miel. En otras recetas recomienda tomar oro o plata con bitumen y leche.

Otras recetas dicen: “Tome 64 partes de stibium (antimonio)<sup>106</sup> y una parte de cada uno de los siguientes metales: cobre, hierro, plata y oro. Luego tuéstelos en un crisol cerrado...”<sup>107</sup>

“Tome 30 partes de plomo, 5 partes de azufre, 2 partes de cobre, 2 partes de oropimente, 1 parte de estaño y 3 partes de antimonio. Luego tuéstelos en un crisol cerrado...”<sup>108</sup>

La importancia de estas preparaciones radica en que están en línea con las que se emplearon varios siglos después en el período tántrico y en el período iatroquímico de la India y guardan mucha similitud con las que usaron los iatroquímicos europeos de los siglos XVI y XVII.

En cuanto a la preparación de álcali y otras sustancias alcalinas, Vagbhata copió textualmente las recetas del Susruta.

<sup>106</sup> Siglos más tarde usado por Paracelso.

<sup>107</sup> Capítulo XIII, pp. 21 – 22.

<sup>108</sup> Capítulo XIII, pp. 31 – 32.

En el texto hay una sola mención al uso del mercurio: “Tome partes iguales de mercurio y de plomo y agréguelos a un colirio adicionando pesos iguales de antimonio y alcanfor ...”<sup>109</sup>

#### 4 – 6. La química en el período transicional.

En la evolución de la Química india, el llamado Período transicional abarca desde el siglo IX al siglo XII. En este período, los exponentes máximos de la Química fueron Vrinda, mediante su obra *Sidda Yoga* y Chakrapani.

En el *Sidda Yoga* de Vrinda, escrito durante el siglo X, además de las muchas recetas copiadas de textos anteriores, figuran algunas nuevas preparaciones con productos del reino mineral. Entre ellas podemos mencionar un medicamento consistente en azufre, cobre y piritas, finamente divididos, mezclados con mercurio, los que debían tostarse en un crisol cerrado. El producto así obtenido debía administrarse mezclado con miel. Se lo conocía como *parpati támram*. Otra receta, indicaba “Tome azufre molido y mézclelo íntimamente con la mitad de su peso de mercurio [...]. El mismo debe ser administrado con miel y manteca refinada”. A este medicamento se lo conocía como *rasamrita chúrnam*. El mercurio mezclado con el jugo de *betel*<sup>110</sup> se recomendaba para usar externamente en los casos de pediculosis. También se detallaba la preparación de un colirio (¿?) mediante 14 ingredientes, entre los que se encontraban *mirobalano bellérico*, sal de roca, cobre calcinado y sulfato de cobre, todos finamente divididos. Receta que también aparece en el Chakrapani con el nombre de *nagarjuna varti*. También se encuentra una receta para preparar hierro calcinado para usos medicinales. El hierro debía ser quemado sobre el fuego y luego molido y macerado en el jugo de *mirobalano émblico* y *Trebia nudiflora*. Luego había que exponerlo al Sol, para luego ser macerado en los jugos de otras plantas para, finalmente, ser molido en un mortero.

#### 4 – 7. La Química en el Chakrapani.

Chakrapani Datta escribió su tratado de Medicina en el año 1060. Además de las recetas tomadas de textos médicos anteriores, también incorporó algunas recetas en las que figuran productos minerales. Pero, además de productos de la Naturaleza introdujo el uso de productos minerales artificiales como aplicaciones médicas. Entre ellos, podemos mencionar el *kajjali*, Esta sustancia era un sulfuro de mercurio. Para su obtención, primero debía purificarse el mercurio. “El mercurio mezclado repetidamente en el jugo extraído de *sebania aculeata*, *ricinos communis*, *zingiber officinale*<sup>111</sup> y *solanum nigrum* se vuelve purificado”... “Tome una parte de mercurio y una de azufre, mézclelas íntimamente en el mortero y así preparará *kajjali* o *rásaparpati*”.

“Tome una finísima lámina de cobre de Nepal y cúbrala con azufre en polvo. Estas sustancias deben introducirse en una fuente de cerámica que luego se cubrirá con otra fuente igual. Los bordes deben ser luteados con azúcar o una pasta de arroz en polvo. El aparato debe calentarse en un baño

<sup>109</sup> Capítulo XIII, p. 36. Esta fórmula es prácticamente la misma que aparece en el Período tántrico en el *Rasaratnasamuchchaya* (R.R.S), Cap. XXIII, p. 46.

<sup>110</sup> *Piper betle*. Planta rastrera de la familia de las *Piperaceae* cuyas hojas se utilizan en aplicaciones medicinales.

<sup>111</sup> Jengibre.

de arena durante tres horas. El compuesto de cobre así obtenido debe ser molido y administrado con otras drogas”. Este material se conocía como *tamrayoga*.

Chakrapani describe un proceso para calcinar hierro que, según él fue dado por es “sabio Nagarjuna. Es un proceso tedioso que el autor describe minuciosamente. Esencialmente se debía frotar una barra de hierro con un conjunto de productos vegetales, entre los que se contaban *mirobalano bellérico*, *clitoria ternatea*, *vitis quadrangularis*, *boharhaavia diffusa* y *verbescina calendulacea*. Se calentaba hasta la temperatura de ablandamiento y se volcaba sobre una decocción de mirobalano. El hierro se pulverizaba con un martillo de hierro y se dejaba digerir en la decocción de mirobalano. Luego se tostaba repetidamente en un crisol. El óxido de hierro así obtenido se empleaba en muchas recetas combinado con otros productos.

También describió recetas para materiales cosméticos, como un jabón depilatorio que se elaboraba con cenizas de *schrebera swietenoides* y *cassia fistula* mezcladas con la cal obtenida de la quema de conchas marinas y lixiviadas con orina de asno. Luego se hervía la lejía con aceite de mostaza.

Las cales se obtenían mediante las mismas recetas que se encuentran en el Susruta.

#### 4 – 8. La Química en el período tántrico.

El llamado “período tántrico” se extendió desde principios del siglo XI hasta mediados del siglo XIV. Durante ese período se varios Tantras, que se expresan como diálogos entre Bhairava (Siva) y su consorte Párvatí). En uno de ellos, el Rasárnava, Siva describe lo que se necesita para que funcione un laboratorio: *rasas*<sup>112</sup>, *uparasas*<sup>113</sup>, metales, paños para la limpieza, *vidas*<sup>114</sup>, un par de fuelles, implementos de hierro, morteros, Koshti<sup>115</sup>, tubos para soplar, estiércol de vaca, leña, varias clases de recipientes de barro cocido, pinzas, vasos de cerámica y de hierro, balanzas y pesas, cañas de bambú y de hierro, grasas, ácidos, sales y álcalis y todo aquello necesario para el inicio de las operaciones.

En el Capítulo IV se describen varios aparatos para calcinar metales. Por ejemplo: “Use dos crisoles de hierro, cada uno de ellos de 12 dígito<sup>116</sup> de largo de modo que uno calce en el otro. En el crisol interior, que tiene un agujero muy estrecho, coloque azufre y en el receptor coloque mercurio. Debajo del crisol que contiene mercurio coloque un recipiente con agua. Tanto el azufre como el mercurio deben ser cuidadosamente humedecidos con jugo de ajo que ha sido filtrado con un lienzo. El aparato se deposita en un cacharro de barro, colocando sobre él otro cacharro igual, con los bordes luteados con barro. Se calienta el dispositivo sobre estiércol de vaca y se mantiene calentando durante tres días, al cabo de ese lapso se retira de la fuente de calor.”

En el mismo Capítulo se describen también los aparatos y las técnicas para la obtención de metales, mercurio, cobre, plata, antimonio, a partir de minerales. Al final, también se indican los reconocimientos a la llama: “El cobre deja a la llama de un tono ligeramente azulado ... el estaño da un

<sup>112</sup> Término empleado generalmente para el mercurio, minerales y sales metálicas.

<sup>113</sup> Las *uparasas* son ocho: azufre, ocre rojo, ácido sulfúrico, alumbre, oropimente, rejalgar, anjana (stibnita o antimonita  $Sb_2S_3$ ) y *kamkhustha* (posiblemente una eflorescencia de sulfato de sodio y magnesio)

<sup>114</sup> Metales calcinados.

<sup>115</sup> Aparato para extraer los productos volátiles de un mineral.

<sup>116</sup> 1 dígito = 19 mm.

color como de la paloma ...el plomo le da un tono muy pálido ...el hierro da a la llama un tono leonado ... la *sasyaka*<sup>117</sup> colorea a la llama de rojo”. Además, se establece un criterio de pureza para los metales: “Un metal puro es aquel que cuando funde en un crisol, no produce chispas ni burbujas, ni se proyecta, ni emite sonido alguno, ni muestra líneas en su superficie sino que permanece calmo como una gema.”

En el Capítulo VII del Rasarnava se mencionan los tres álcalis, bórax, natrón (carbonato de sodio) y *yavakshara* (carbonato de potasio) y las plantas de cuyas cenizas se pueden obtener. En este mismo capítulo se dan las instrucciones para tratar hierro, plomo o cobre con calamina<sup>118</sup> para dar la apariencia de oro.

#### 4 – 9. Química en el período iatroquímico

El llamado “Período iatroquímico” se extendió desde mediados del siglo XIV hasta mediados del siglo XVI. Se lo llama así, debido a que durante el mismo el uso de productos derivados del reino mineral que se estaba intensificando desde el Charaka y el Susruta pasó a ser el más empleado en los tratamientos médicos. No sólo se emplearon productos minerales naturales (mercurio y otros metales, óxidos, sulfuros, etc.) sino también una gran cantidad de sustancias minerales obtenidas artificialmente. Si tenemos presente que Paracelso desarrolló su concepción iatroquímica en la primera mitad del siglo XVI, encontramos que en la India se adelantaron un par de siglos a la Iatroquímica europea.

El texto más relevante de esta época es el *Rasaratnasamuchchaya*, que se abrevia *R.R.S.* Se ocupa de los tratamientos de las enfermedades con mercurio, compuestos mercuriales y otras sustancias inorgánicas y fue recopilado por Vagbhata, el hijo de Simhagupta, sobre la base de los tratados de los autores mencionados anteriormente y otros, que por razón de brevedad, no hemos mencionado. Conjuntamente con las “recetas” y aplicaciones, incluye la construcción de los aparatos para la obtención de las sustancias, fórmulas prácticas y místicas para la purificación de los metales, la manera de extraer las esencias y los principios activos de sustancias orgánicas y un conjunto de técnicas de laboratorio para destilar, filtrar, calcinar, etc.

En el *R.R.S.* se considera que el reino mineral está dividido en *rasas*, *uparasas*, *ratnas* (gemas) y *lohas* (metales). El término *rasa* se emplea aquí tanto para el mercurio como para referirse a las principales sustancias que se utilizan en combinación con el mercurio.

Según el *R.R.S.* hay 8 *rasas*: *Abhra* (mica), *vaikránta*<sup>119</sup>, *makshika* (calcopirita), *vimala* (pirita de hierro), *arrija* (bitumen), *sasyaka* (sulfato de cobre), *chapala* (mineral de plomo (¿galena?)) y *rasaka* (carbonato de cinc u silicato de cinc).

Las *uparasas* eran consideradas rasas secundarias y son ocho: azufre, ocre rojo, ácido sulfúrico, alumbre, oropimente, rejalgam, anjana (stibnita o antimonita  $Sb_2S_3$ ) y kamkhustha (posiblemente una eflorescencia de sulfato de sodio y magnesio con impurezas de hierro, que le daban tonalidad amarilla, abundante en la base del Himalaya. Se usaba como purgante.)

<sup>117</sup> Bornita, mineral de fórmula aproximada  $Cu_5FeS_4$ .

<sup>118</sup> Hemimorfita. Es un mineral del grupo de los silicatos que contiene, principalmente,  $Zn_2SiO_4 \cdot H_2O$ .

<sup>119</sup> Era un mineral que ya se encuentra descrito en el Ayurveda pero que aún actualmente hay discrepancias acerca de su naturaleza. Muchos estudiosos se inclinan por considerar que era turmalina, aunque otros sostienen que puede ser Schorlita, Indicolita o Rubellita.

Además de las rasas indicadas en el *R.R.S.* hay otras como la *navasara* (sal amoníaco), *varataka* (carbonato de calcio de las conchas de animales marinos), *hingula* (cinabrio), etc.

Al igual que en todas las culturas antiguas, en la India las gemas eran consideradas como teniendo ciertos poderes sobrenaturales. Entre otras cosas, se creía que ayudaban a la fijación del mercurio.

Entre las gemas citadas se encuentran el granate, el diamante, las perlas, la piedra lunar [feldespato de fórmula  $(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ], *rajavarta* (lapis lazuli) y la esmeralda. También se han reconocido como gemas el zafiro, el topacio y el “ojo de gato” (crisoberilo.  $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ ) y, en algunos casos, se menciona al rubí y al zircón. Así, por ejemplo, el *R.S.S.* sostiene que el diamante es un dador de larga vida, un tónico, un aliviador de los trastornos de los tres humores (aire, flema y bilis), eliminador de todas las enfermedades.

El libro da las técnicas para reducir todas las gemas a cenizas para luego producir las medicinas o combinarlas con el mercurio.

El Libro V, está dedicado a los metales. Había tres metales considerados puros eran el oro, la plata y el hierro. El estaño y el plomo eran llamados *putilohas* (*lit.*: metales que emiten olor fétido). El mercurio se obtenía del cinabrio y el antimonio de la stibnita.

Se reconocían tres aleaciones: bronce, metal para campanas y *vartaloha* (una aleación de cobre, hierro y plomo). Distinguía oro de cinco clases: tres eran de origen mítico o celestial, la cuarta, llamada *kshanija* (*lit.*: engendro de mina) y la quinta era el oro obtenido por transmutación de metales base.

Se consideraba que había tres clases de plata: una de origen mítico, otra extraída de las minas y la tercera obtenida por transmutación. Para uso medicinal, la plata debía ser purificada.

Se conocían dos variedades de cobre. La de superior calidad se traía de Nepal. La otra se extraía de minas locales.

Más diversas eran las clases de hierro. De las tres clases principales: *mundam* (hierro forjado), *tikshnam* (acero) y *kantam* (hierro fundido). A su vez, cada una de estas clases se dividía en subclases.

Se conocía un estaño de calidad superior (*kshurakam*) apto para la preparación de medicinas y un estaño de inferior calidad (*misrakam*), no recomendado para preparar medicamentos.

Para entrar en la composición de medicamentos, tanto los metales como las aleaciones debían ser purificados reiteradamente mediante técnicas complicadas y tediosas.

Se desarrollaron una gran variedad de aparatos de laboratorio según su objeto fuese calentar un material mediante el vapor de agua, destilar, sublimar, etc. Esos aparatos se llamaban en general “yantram”.

En la Figura 4.1. se muestra un aparato llamado Vidyadhara yantram, destinado a la

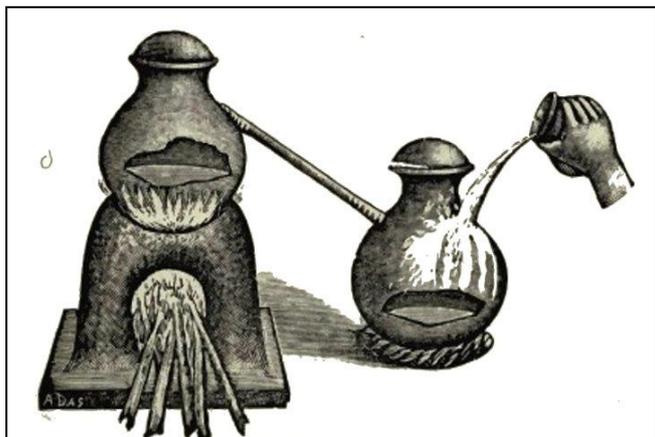


Figura 4.1. Vidyadhara yantram. Aparato para obtener mercurio del cinabrio.

obtención de mercurio por descomposición térmica del cinabrio.

En la Figura 4.2. se representa un aparato llamado Dhekī yantram, que se empleaba para purificar mercurio por destilación.

El *R.R.S.* se ocupa también de los crisoles a usar para diversos procesos de calentamiento, así como la manera de calcinar o tostar las sustancias.

Se utilizaban seis sales: *samudram* (residuo salino que queda al evaporar el agua de mar), *saindhava* (sal de roca), *vidam* (una mezcla de alumbre, sal común y nitrato de potasio), *sauvarchala* (salitre, nitrato de potasio), *romaka* (sal que se obtenía del Lago Sambhar, cerca de Ajmere, Rajashtan, contiene más del 97% de NaCl, pequeños porcentajes de sulfuros y de bicarbonato de sodio) y *chulica lavana* (sal amoníaco).

Los álcalis son los mismos tres que figuran en los textos anteriores: bórax, carbonato de sodio y carbonato de potasio.

Se menciona una larga lista de plantas de cuyas semillas se extraen los aceites. En las recetas se usan grasas de chacal, de rana, de tortuga, de cangrejo, de delfín, de toro, de cerdo, de cabra, de camello, de asno y de búfalo.

En las recetas intervienen orinas de elefante, de búfala, de asno y de caballo.

Los ácidos que se usaban para la purificación y disolución del mercurio y minerales son: extracto de *rumex vesicaria* (vinagrera), limón francés (toronja); limón, *oxalis corniculata* (acedera), tamarindos, exudación ácida de los garbanzos, del *zizyphus jujuba* (azofaifo), granada, *averrhoa carambola* (tamarindo chino).

Las “tierras” que formaban parte de algunas recetas eran: ladrillo, ocre rojo, depósito salino, cenizas, tierra de hormiguero.

En el *R.R.S.* figuran varios venenos. Los tres más potentes eran el *kalakuta* (mítico veneno tomado por Shiva para salvar a la Humanidad, probablemente una sustancia presente en hongos venenosos), la aconitina, de la planta *Aconitum ferox* o acónito indio y la *sringika* (arsénico) y la bilis de animales. Se indican también venenos “menores” como la colchicina de la *gloriosa superba* (también llamada bandera española por los colores de sus flores), la estricnina y la brucina de la *strychnos nux vomica*, la neridorina y la oleandrina, glicósidos cardiopéxicos de la planta *Nerium odoratum*, las nueces del *anacardium semecarpus*, las semillas del estramonio (*datura stramonium*) que contienen hiosciamina, escopolamina y atropina, las calotropinas de la *calotropis gigantea* (algodón de seda)

Para facilitar la fusión de muchos metales, el *R.R.S.* indicaba distintos materiales: melaza, la resina aromática *bdellium*, regaliz americana (*abrus precatorious*), manteca refinada, miel y bórax.

Hay varias recetas para preparar compuestos de mercurio que luego serán usados como medi-

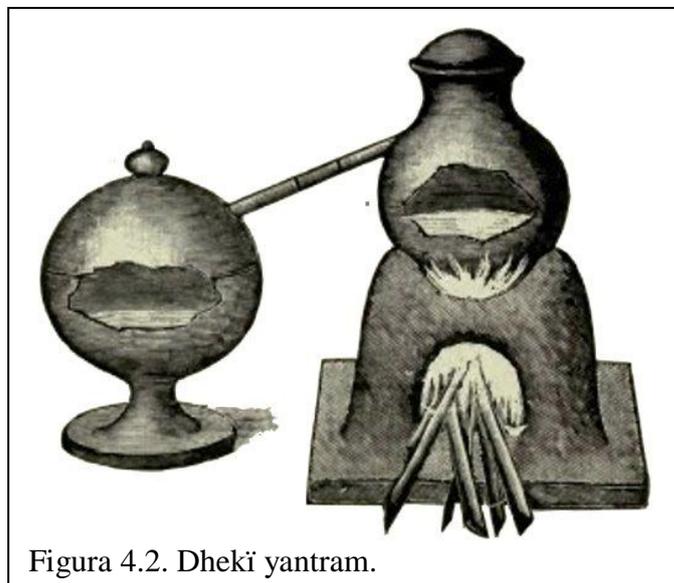


Figura 4.2. Dhekī yantram.

camentos. En estos casos se los obtiene con la ayuda de productos vegetales: El mercurio, tostado en un crisol cerrado, con *asafœtida*, previamente digerida en el jugo lechoso de *ficus oppositifolia* “es reducido a cenizas”. En otros casos se tostaba con las semillas de *achyranthes aspera* *achyranthes aspera* y *ricinus communis*. De acuerdo con los vegetales empleados, se obtenía sulfuro de mercurio u óxido de mercurio. Estos compuestos mercuriales eran ampliamente usados por los médicos de la época. Eran considerados una panacea para una variedad de enfermedades.

Además de compuestos mercuriales, en la medicina india de los siglos XI a XV se usaban, alumbre, sulfato de hierro y compuestos de cinc. El cinc ya era conocido como un metal, en el Digesto médico del rey Madanapala, escrito alrededor del año 1374<sup>120</sup> al que se llamaba *fasada*.

En sus escritos, Paracelso le dio su nombre *zink* al metal que provenía de Oriente, pero no lo “descubrió”<sup>121</sup>. A veces lo consideró como un metal y otras como un semimetal o “metal bastardo” ya que lo describió como un material carente de maleabilidad (*keine malleabilitat hat er*). En Europa, el primero que investigó las propiedades del cinc fue Livabius. En 1597. Al obtenerlo a partir de la calamina ( $ZnCO_3$ ) lo describió como “una peculiar clase de estaño, que proviene de un lugar de las Indias Orientales llamado Calaëm”.

En el período iatroquímico se conocía la manera de preparar compuestos de mercurio. Los alquimistas de esa época decían que había cuatro “cenizas” de mercurio, negra, roja, blanca y amarilla. La variedad blanca, llamada *rasakapúra* era prácticamente calomel puro ( $Hg_2Cl_2$ ), aunque a veces era una mezcla de calomel y sublimando corrosivo ( $HgCl_2$ ). Varias de estas recetas para curar enfermedades y prolongar la vida, se encuentran en el *Rasárvana* (siglo XII), lo que muestra que la Alquimia india se anticipó a la europea en más de tres siglos en el uso de productos minerales como medicamentos.

## Bibliografía

**Habib, I., (2000):** “Joseph Needham and The History of Indian Technology”, *Indian Journal of History of Science* 35(3): 245-274.

<sup>120</sup> Roth, W. R. (1876): *Indischen studien*, T XIV, p. 399.

<sup>121</sup> Desde la Antigüedad se conocía la *cadmia* (óxido de cinc), pero no se lo consideraba un metal.

---

**Ray P C., (1909):** *History of Hindu Chemistry Vol I*, The Bengal Chemical & Pharmaceutical Works, Limited, Calcutta,

**Rāya, P., (1956):** *History of Chemistry in Ancient and Medieval India*, Indian Chemical Society, Calcutta.

**Subbarayappa, B.V. (1999):** “Indian Alchemy: its Origin and Ramifications”. In *Chemistry and Chemical Techniques in India* (Ed.) Subbarayappa, B.V., Delhi: Centre for Studies in Civilisations.



## V. LA ALQUIMIA ISLÁMICA

### 5 – 1. Mahoma

Durante los siglos VII a X sucedieron diversos eventos que tuvieron un notable efecto sobre el desarrollo de la Alquimia. Durante ese lapso nació una nueva religión, el Islam, y se estableció el Imperio de los califas.



Figura 5.1. Mahoma (570 – 632)



Figura 5.2. La Kaaba, en nuestros días

El profeta Mahoma (Abu l-Qasim Muhammad ibn ‘Abd Allāh al-Hashimi al-Qurashi) nació en el año 570 y quedó huérfano a una edad muy temprana. Desde muy joven trabajó como camellero de las caravanas. Pertenecía a la familia Hashim de la tribu de Kuraish y vivía en la Mecca, ciudad que debía su prosperidad a que estaba en el camino de las caravanas que viniendo de Abisinia a través del Yemen se dirigían a Palestina y a Siria. Era de salud precaria pero de mente lúcida y sensitiva, y ya en la juventud dedicaba buen tiempo para la meditación sobre temas religiosos. Paulatinamente se fue convenciendo que estaba destinado a cumplir una misión divina. Se casó con Khadija, una viuda rica cuyos camellos él cuidaba y

eso le permitió ahondar sus cavilaciones religiosas libre de preocupaciones económicas a la vez que

disponía de tiempo para tener extensas discusiones con numerosos judíos y cristianos que vivían en La Mecca o que llegaban allí por negocios.

Poco a poco, Mahoma se fue desencantando con las creencias religiosas de la gente del lugar. En esa época, los árabes eran bastante fetichistas, rendían culto a ciertas piedras, árboles, estrellas y otros objetos inanimados, creían en la existencia de “genios”, espíritus y demonios. El centro de las plegarias era la Kaaba, una construcción cúbica en la cual se encontraba una piedra negra, de carácter sagrado, de la que se decía que había caído del cielo en la época de Abraham. Esta reliquia — que aún se encuentra allí — atraía peregrinos de todas partes, especialmente durante la gran feria que se realizaba anualmente en La Mecca. De acuerdo con las preferencias de cada tribu, se agregaban ídolos a la Kaaba y esto incentivaba el peregrinaje hacia La Mecca con el consiguiente beneficio económico para sus habitantes.

Alrededor de los cuarenta años, Mahoma comenzó a predicar contra esta forma de politeísmo, instando a la gente a hacer penitencia y a adorar al Único Dios Verdadero — en árabe: Allah. Su sistema religioso estaba basado sobre el judaísmo y el cristianismo, pero consideraba a Jesucristo no como una divinidad sino como un profeta, tal como lo fueron Moisés o Isaías y se consideraba a sí mismo como el último y el más grande de los profetas. El nombre con que se designa su religión, el

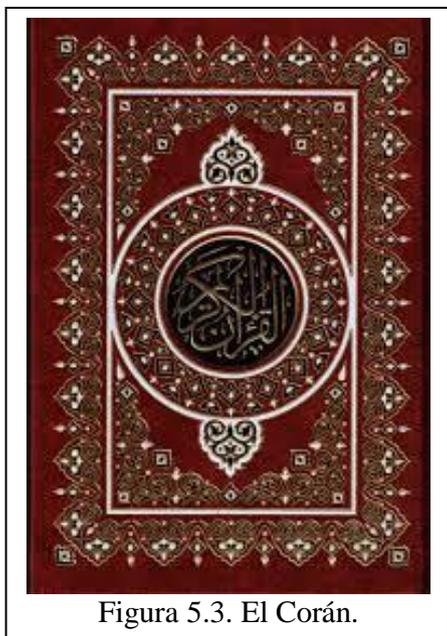


Figura 5.3. El Corán.

Islam, significa “sumisión a la voluntad de Dios”. Su prédica no fue del agrado de las personas que se enriquecían con el peregrinaje idólatra y Mahoma comenzó a ser presionado para abandonar su prédica. La situación se tornó tan enojosa que Mahoma decidió abandonar La Mecca. Con algunos de sus seguidores se dirigió hacia el Norte, hacia la ciudad de Yathrib, que después se conocería como Medina, o, en forma más completa, Medinath al Nabi, “La ciudad del Profeta”. En Medina se convirtió en líder de una entusiasta comunidad religiosa. Se considera que la religión musulmana se inicia a partir de esta migración (*hijra* o *hégira*) y ya en el año 630 Mahoma regresa triunfal a La Mecca y ordena la destrucción de todos los ídolos bajo el lema. “No hay otro dios que Allah y Mahoma es su profeta”. A este monoteísmo estricto, Mahoma adicionó los principios de creer en la piedad de Dios, la necesidad de arrepentimiento en los pecadores, la obligación de rezos y ayunos regulares, la obligación de dar limosna, y la de peregrinar

a La Mecca, al menos una vez en la vida.

Si bien, Mahoma no llegó a extender su dominio sobre toda la península arábiga, logró encolumnar a varias tribus, amalgamando el concepto de religión con el de Estado.

La expansión del Islam ha sido imaginada como una *jihad* o guerra santa con los musulmanes avanzando con espadas en una mano y el Corán en la otra. Pero esto es una deformación de la realidad. El tiempo estaba maduro para la conquista, con una nación impaciente para abandonar su tierra inhóspita tentada por las tierras fértiles de sus vecinos. La población árabe había crecido en un medio de recursos escasos y entonces la apropiación por la fuerza se tornaba inevitable.



Figura 5.4. Omar I.

Mahoma falleció en el año 632, pero aún antes de su muerte, los árabes habían hecho incursiones esporádicas sobre las fronteras del Imperio Bizantino. En el año 635 capturaron Damasco. En esas operaciones intervinieron relativamente pocos musulmanes, el grueso de la tropa asaltante estaba formada por beduinos más ansiosos por el pillaje que por propagar el Islam, religión de la que tenían ideas apenas someras. Pero esa fe fue ganando nuevos adherentes.



Figura 5.5. “La mezquita de Omar”, en Jerusalem.

En el año 636, los árabes, comandados por Omar, quien luego sería conocido como Omar I, tomaron Jerusalem haciéndose cargo de los lugares sagrados.

Mahoma murió sin designar quien lo reemplazase en la dirección de la fe y sus seguidores eligieron por aclamación como Califa (sucesor) a Abu Bakr, padre de Aisha, la esposa favorita de Mahoma, con quien se había casado cuando ella tenía seis años<sup>122</sup>. Abu Bakr fue sucedido por Omar I, quien fue el primer califa en asumir el título de *Amir-al-Mu'minin* (Príncipe o comandante de los creyentes). Bajo el califato de Omar, y de los que lo sucedieron, la expansión árabe a través

de la guerra fue extendiendo un imperio que abarcó Egipto, Palestina, Siria, buena parte de Asia Menor, Creta, Sicilia, Rodas y vastas zonas del Norte de África. En esta zona, los musulmanes encontraron una férrea resistencia de los berberes, pero a principios del siglo VIII lograron tomar Septem (hoy Ceuta) y en el año 711 cruzaron a España, comenzando la invasión a Europa. La conquista estuvo encabezada por Jabal Tarik. En su honor, el nombre árabe de Gibraltar es *gibr al tarik* (la montaña de Tarik).

La invasión a España se completó rápidamente y los conquistadores pasaron a Francia donde en el 732 fueron detenidos en Poitiers por las tropas de Charles Martel (Carlos el Martillo) monarca carolingio del reino franco de Austrasia quien les infligió una dura derrota.

De esta manera, apenas un siglo después de la muerte de Mahoma, el Islam se convirtió en un vasto Imperio que se extendía desde los Pirineos hasta la India. Algunos de los pueblos conquistados siguieron conservando su lenguaje, pero el árabe fue la lengua oficial, religiosa y literaria en todo el Imperio y, en algunos casos, fue obligatorio su uso en público. Por ello, muchos textos alquímicos de esa época están escritos en árabe aunque sus autores eran de otras nacionalidades.

Cuando las condiciones políticas se volvieron más apropiadas, los musulmanes manifestaron un gran interés en el desarrollo del conocimiento sobrepasando no sólo a Alejandría sino a otros centros de la cultura griega en la dedicación a la cultura.

En el año 762, el califa Al-Mansour (*el victorioso*) fundó Bagdad cerca de las ruinas de la antigua Babilonia y la convirtió en la capilar del Islam, estableciendo allí la sede del Califato Abassida. En esta ciudad Al-Mansour fundó una academia que adquirió gran celebridad. Estableció allí un Colegio Médico, entre cuyas atribuciones se encontraba la de evaluar y dar licencia de médicos a



Figura 5.6. Billeto de 5 libras emitido por el Gobierno de Gibraltar en homenaje a Tariq.

<sup>122</sup> Sí, seis años.

todos aquellos que querían practicar medicina en el Califato. La Academia de Bagdad adquirió tal prestigio que a ella llegaron profesores y estudiantes de diversas partes del mundo antiguo cuyo número llegó a superar los seis mil. El Califa fundó hospitales públicos en donde los estudiantes podían estudiar las enfermedades y en cuyos laboratorios aprendían a preparar medicamentos. En estos hospitales, comenzó a desarrollarse la llamada “Química islámica”.

Bajo la administración de Harun al Raschid (764- 809) y Al Ma'mun (786 – 833) se establecieron otros centros académicos y observatorios astronómicos y se tradujeron al árabe una gran cantidad de textos griegos sobre filosofía, astronomía matemáticas, medicina y otras ciencias. Además, a partir del siglo VIII, el Islam fue produciendo sus propios tratadistas.

## 5 – 2. La expansión árabe y la espada de Damasco

Los historiadores coinciden en mencionar dos factores importantes en la conquista árabe de los pueblos vecinos y su expansión hacia el Norte de África y el Sur de Europa: el caballo árabe y la espada de Damasco<sup>123</sup>.

Sabido es que Ricardo I de Inglaterra, apodado “Corazón de León” por su larga melena rubia, partió a la tercera Cruzada en 1191. Ante la imposibilidad de derrotar a los árabes, el 2 de septiembre de 1192 se reunió con el Sultán Salah-al- Dyn-Yusuf (conocido en Occidente como Saladino) para tratar de acordar el libre acceso de los cristianos a Jerusalem. De esa reunión, se cuenta que los dos enemigos se jactaban del poder de sus respectivas espadas. Ricardo tomó su enorme espada, la levantó con sus dos manos y la dejó caer con toda su fuerza sobre un trozo de roca. El impacto de la espada hizo saltar a la roca en pedazos. Saladino fue más sutil. Deslizó suavemente el filo de su espada, una típica cimitarra del llamado “acero de Damasco”, sobre un mullido cojín de plumas. Sin ningún esfuerzo ni resistencia la espada se hundió en el cojín hasta cortarlo completamente como si fuera manteca. Ricardo y sus acompañantes se miraron unos a otros con incredulidad. Las dudas se disiparon cuando Saladino arrojó un velo hacia arriba y, cuando flotaba en el aire, lo cortó suavemente con su espada.

Al regreso de Ricardo a Inglaterra, la historia del encuentro se fue propagando y las espadas de Damasco se convirtieron en legendarias. No sólo podían cortar un velo de seda en el aire sino que también podían partir una espada europea sin perder el filo. Durante varios siglos fueron la fascinación y la frustración de los herreros de toda la Europa occidental que trataron en vano de reproducirlas para alcanzar su fuerza y su belleza.

La manera de templar el acero de Damasco fue siempre un secreto profesional de los herreros y llegó a convertirse en un rito macabro. Cuentan las leyendas de Asia Menor que para obtener el mejor acero, este debía calentarse hasta alcanzar el color del Sol naciente en el desierto, luego debía dejarse enfriar hasta el púrpuro real, y para finalmente hundirlo en el cuerpo de un esclavo musculoso. Entonces la fuerza de la sangre del esclavo se transfería a la espada. La interpretación de estas instrucciones es que el metal debía calentarse hasta una temperatura muy alta, seguramente a más de 1000 °C — cuando adquiere el color del Sol poniéndose en el desierto — luego enfriarse al aire hasta adquirir el color del púrpura real (unos 800 °C) para finalmente templarse en un medio salado y tibio (la sangre del esclavo, es decir, unos 37 °C)

---

<sup>123</sup> El nombre *espadas de Damasco* proviene no de su lugar de origen sino del lugar donde los europeos las descubrieron durante las Cruzadas.

En cambio, los herreros europeos forjaban el acero a más de 1200 °C y rápidamente lo sumergían en aceite para templearlo. Este proceso le restaba plasticidad al metal y ante un golpe muy fuerte solía partirse.

A partir del siglo XV, el empleo de armas de fuego, fue relegando la importancia de la espada en los combates. Los árabes comenzaron a ser expulsados de Europa y la técnica de los forjadores de medio Oriente se fue perdiendo con el tiempo.

En noviembre de 2006, un grupo de científicos del *Institut für Strukturphysic, Triebenberglaboratory* de la Universidad Tecnológica de Dresden dirigido por el Dr. Peter Paufler, limpió con ácido fluorhídrico una pequeña porción de una espada de Damasco auténtica fabricada a fines de la Edad Media. Al analizar la porción atacada con un microscopio de barrido electrónico de alta resolución, detectaron nanotubos de carbono en el acero con el que se había forjado, lo que parece explicar la fortaleza y el afilado borde que hicieron legendarias a esas armas en tiempo de los cruzados.

Dentro de la estructura tubular de los nanotubos encontraron unidades de *cementita* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) encapsuladas. Mientras los nanotubos le confieren plasticidad al acero, la cementita es la responsable de su dureza.

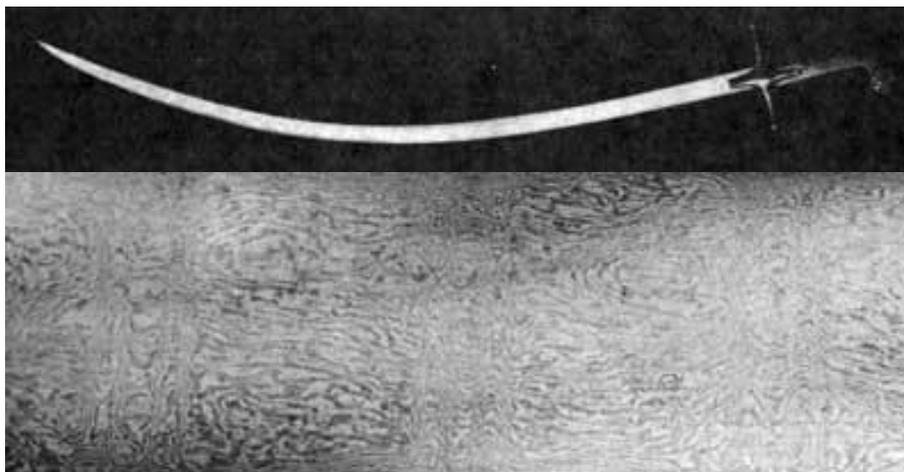


Figura 5.7. Una cimitarra de Damasco. Las zonas más claras que se aprecian en el acercamiento están formadas por cementita y las más oscuras por hierro con un contenido de carbono mucho menor. Obsérvese las marcas onduladas, características del acero de Damasco, en la superficie producida por los nanotubos de carbono.

El análisis cristalográfico permitió explicar la extrema flexibilidad de la hoja a la vez que su elevada dureza.

Según los investigadores, esos nanotubos se originaron a partir de la adición de materiales orgánicos tales como la madera del árbol *Cassia auriculata* y las hojas de *Coltropis gigantean* al proceso de elaboración del arrabio que usaban los forjadores para hacer las espadas.

De esta manera, los artesanos de Oriente Medio habrían estado utilizando, sin saberlo, nanotubos de carbono muchos siglos antes de su descubrimiento.

### 5 – 3. Los principales exponentes de la alquimia islámica

A partir del edicto de Diocleciano ordenando quemar todos los libros de Alquimia para evitar que quienes practicaban esa actividad pudiesen fabricar oro y plata, y al enriquecerse se rebelasen contra el Imperio y, especialmente, a partir de la conversión al cristianismo del Emperador Constantino, la cultura helenística y la romana, entraron en un cono de sombra. No sólo se quemó la Biblioteca de Alejandría y se destruyó el Serapeum, sino que los libros de los antiguos filósofos, astrónomos, alquimistas fueron quemados por considerarlos paganos.

La expansión musulmana tuvo la virtud de recuperar muchos de esos textos paganos y desarrollar sus contenidos en lugares tan alejados entre sí como “El Andalus”<sup>124</sup> o Bagdad. Así se recuperó “El gran Astrónomo” de Claudio Ptolomeo (ca. 150 d.C.) y se le fueron introduciendo modificaciones para ajustarlo a los fenómenos astronómicos de modo que en el siglo IX, se lo comenzó a conocer como el “Almagesto”, o “El Gran Tratado”. En el siglo X, el Almagesto con sus modificaciones constaba de trece volúmenes que describían el sistema geocéntrico, los planetas, el Sol y las estrellas fijas, de los eclipses, de geometría y trigonometría, de la construcción de instrumentos y observatorios astronómicos.

En lo atinente al desarrollo de la Alquimia, cabe destacar las obras de varios estudiosos, algunas de cuyas obras se seguían enseñando en las Universidades europeas durante el siglo XVII.

#### 5 – 3.1. Khalid ibn Yazid

Según Ibn al Nadim, un historiador de la segunda mitad del siglo X, el primer musulmán interesado en la Alquimia fue el Príncipe Khalid ibn Yazid, (660 – 704), hijo del Califa Yazid quien murió en el 682. Khalid tenía un gran interés por las ciencias y se sentía particularmente atraído por la Alquimia, por lo que ordenó que le traigan a unos filósofos griegos que estaban en Egipto para que traduzcan varios textos alquímicos del griego y del copto al árabe. El interés de Khalid se centraba en la transmutación y, por ello contrató a varios alquimistas para que le enseñasen ese arte. El interés de Khalid llegó a oídos de un estudioso griego de nombre Marianos o Morenius, quien, a su vez, había sido discípulo de Stefanos de Alejandría y que vivía recluido en una ermita en Jerusalem. Morenius visitó a Khalid en Damasco y se ofreció a enseñarle el arte de la Alquimia. También se ofreció a hacer una transmutación, la que resultó exitosa. A raíz de eso, Khalid ordenó matar a todos los alquimistas fraudulentos que había contratado. Temeroso que a él le hicieran lo mismo para que no revele su secreto, Morenius huyó a Jerusalem. Años más tarde, un sirviente de Khalid encontró a Morenius y lo llevó ante Khalid. Morenius le enseñó a Khalid todos los secretos de la Alquimia y sus enseñanzas se reflejaron en varios poemas alquímicos que Khalid escribió. Muchos de los versos escritos por Khalid fueron reproducidos por escritores posteriores y una colección de los versos que se le adjudican a Khalid se encuentra preservada en una biblioteca en Estambul. Ibn al Nadim, dijo que él mismo leyó los trabajos de Khalid cuyos títulos son: “El libro de los amuletos”, “El libro grande y el libro pequeño de los rollos”, “El libro del Testamento del arte” (para su hijo). El libro más famoso adjudicado a Khalid se llama “El Paraíso de la sabiduría” el que, de acuerdo con el biógrafo musulmán Ají Khalfa (1599 – 1658), contiene 2315 versos.

La mayor parte de los conocimientos alquímicos atribuidos a Khalid provienen de los que se atribuyen a los practicantes en Alejandría: Hermes, Agathodemon, Zósimo, Bolos Democritus, Stefanos, Apolonius, María la judía y otros, lo que evidencia que el Islam se “apropió” de la alquimia

<sup>124</sup> Nombre que los árabes le dieron a España.

griega *in toto*, — lo que se corrobora, además, por la gran cantidad de términos griegos que se adaptaron posteriormente a la nomenclatura árabe.

### 5 – 3.2. Jabir ibn Hayyan (Geber)

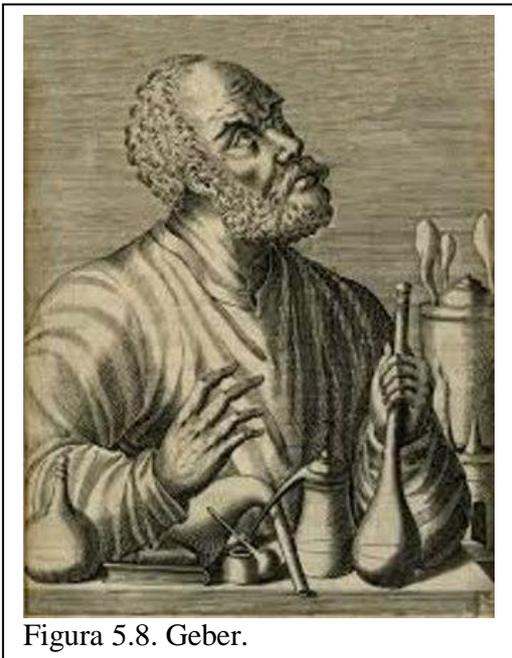


Figura 5.8. Geber.

Jabir nació en la ciudad de Kufa, en la Mesopotamia, en el año 721 ó 722 y era miembro de la tribu Azd, de allí que se lo nombre como Jabir al Kufi o Jabir al Azdi. En otros textos se lo nombra como Jabir al Sufi indicando que era miembro de una comunidad que cultivaba una especie de misticismo llamado “sufismo”. Este misticismo islámico ascético, se llamó así porque sus miembros vestían ropas de lana (*suf*: lana, en árabe). Vivían bajo normas estrictas de austeridad y debían cumplir un cierto número de ejercicios espirituales y religiosos. Muchos de sus principios eran similares a los del neoplatonismo.

Huérfano desde niño, fue enviado a Arabia a vivir con unos parientes de la tribu Azd para que lo cuiden hasta que pudiera valerse por sí mismo. En uno de sus libros, Jabir cuenta que estando en Arabia estudió el Corán, matemáticas y otros temas, bajo la supervisión de un erudito llamado Harbi al Himyari. Ya adulto regresó a Kufa donde estudió alquimia y donde vivió durante muchos años.

Sus conocimientos hicieron que fuera contratado como alquimista en la corte del Califa Harun al Raschid, en Bagdad. En la corte, trabó amistad con sexto Imán Shiita Ja’far al Sadiq, hombre de una gran cultura y erudición, quien fue su maestro y su guía. También trabó amistad con los Barmecidas, ministros poderosos del califato, de cuyas historias se cuentan en “Las mil noches y una noche”, y uno de esos visires, también llamado Ja’far, lo presentó ante el Califa, el que se mostró interesado en los conocimientos de alquimia de Jabir. Para Harun al Raschid, Jabir escribió un libro sobre “el noble arte de la alquimia” titulado “El libro de Venus”.

Durante su estancia en la corte, Jabir escribió varios libros<sup>125</sup> sobre alquimia y otros sobre temas tan diversos como un comentario sobre la geometría de Euclides, tablas astronómicas, un comentario sobre el Almagesto de Ptolomeo, un libro sobre talismanes según la opinión de Apolonio de Tyana, lógica, filosofía, medicina, cuadrados mágicos y espejos.

En el año 803, Harun echó a los Barmecidas de la Corte, por lo que Jabir consideró prudente regresar a Kufa. Allí se dedicó a la alquimia y a escribir sobre diversos temas hasta su muerte (probablemente en el año 815).

La producción escrita de Jabir es tan grande que existe una sospecha fundada de que buena parte de la misma fue obra de escritores posteriores, particularmente ismaelitas del siglo X- XI.

Los grupos de tratados más importantes en el *corpus* de Jabir son (en orden cronológico)

“Los ciento doce libros”

<sup>125</sup> Por la brevedad de esos textos, hoy los catalogaríamos como “artículos”.

“Los setenta libros”

“Los diez libros de rectificaciones”

“Los libros de los balances”

Algunos de los libros de primer grupo están dedicados a los Barmecidas y el grupo en su conjunto se basa sobre la “Tabla esmeralda”, adjudicada a Hermes Trismegistus. El segundo grupo fue traducido al latín en el siglo XII por Geraldo de Cremona. El tercer grupo, describe los aspectos filosóficos de la alquimia vertidos por supuestos alquimistas griegos. El cuarto grupo se refiere a la teoría de Jabir sobre los balances.



Figura 5.9. Geberi (Jabir). Escritos químicos.

En lo que respecta a la constitución de la materia, Jabir sostuvo la concepción de Aristóteles de los cuatro elementos: fuego, aire, tierra y agua, pero desarrollada de la siguiente manera: postuló primero la existencia de cuatro cualidades o naturalezas a saber: calidez, frialdad, sequedad y humedad, que cuando se combinan apropiadamente con la materia forman a los elementos primigenios. La unión de la calidez con la sequedad y la materia originan el fuego. La unión del calor con la humedad y la materia forman el aire. La combinación de la frialdad con la humedad y la materia origina el agua y la unión de la frialdad con la sequedad y la materia forma la tierra. En los metales, dos de esas naturalezas son externas y dos son internas. Así sostenía que el plomo es frío y seco externamente pero cálido y húmedo internamente. En cambio, el oro es cálido y húmedo externamente y frío y seco internamente.

Una de las principales novedades que la obra de Jabir aporta a la Alquimia es la consideración de que, al influjo de los planetas, los metales se forman en la tierra por la unión del azufre, — que aporta las naturalezas calidez y sequedad — y el mercurio — que provee la frialdad y la humedad. Esta teoría, que quizás tiene un antecedente en la opinión de Apolonio de Tyana, fue generalmente aceptada por los alquimistas posteriores y perduró hasta el último cuarto del siglo XVII en que surgió la teoría del flogisto acerca de la combustión.

Jabir sabía perfectamente que cuando se combina el azufre con el mercurio se forma una sustancia no metálica (el cinabrio) y en su obra describe con detalles el experimento para obtenerla. Para él, el azufre y el mercurio que originan los diversos metales eran sustancias de una pureza tal que respecto de ellas el azufre y el mercurio común eran aproximaciones groseras. Esa falta de pureza en el azufre y el mercurio común y el hecho de que no estuvieran combinados en las proporciones adecuadas eran las causas de que existieran diversos metales y aún no metales, como el cinabrio. Si se lograba obtenerlos en condiciones de altísima pureza y se los combinaba en las proporciones naturales se obtendría en metal más puro y noble: el oro. Consideraba que los defectos en la pureza y en las proporciones originaban la plata, el plomo, el estaño, el hierro, el cobre, etc. Pero dado que todos estos metales estaban formados por los mismos constituyentes que el oro, los accidentes ocurridos en la combinación de ellos podrían rectificarse mediante un tratamiento apropiado. Tal tratamiento, según Jabir, debía llevarse a cabo mediante elixires.

Jabir estaba convencido que tratar de efectuar experimentalmente las transmutaciones era una pérdida de tiempo. Creía que en el mundo material reinaba el orden y que los cambios cualitativos en las sustancias podrían ser explicados sobre bases cuantitativas. Esto lo condujo a desarrollar su “teoría de los balances”. Jabir usó el término “balance” no en el sentido de equilibrar la masas según proporciones estequiométricas sino que hacía referencia a un equilibrio de las “naturalezas” y dedicó gran parte de su obra a tratar de establecer cual era la relación entre las naturalezas que originaban el oro de modo que dicho balance pudiera efectuarse en los metales base para poder lograr la transmutación. De esta manera, la transmutación sería un proceso de ajuste de las relaciones entre las distintas naturalezas de materiales de pureza extrema. El ajuste, según Jabir, sólo puede lograrse mediante elixires específicos para cada transmutación, pero para lograr *cualquier* transmutación se requiere de un elixir maestro. Este gran elixir se presenta en dos grados que difieren solamente en la intensidad de su poder. Mientras que para preparar elixires los alquimistas de Alejandría preferían usar exclusivamente productos minerales, Jabir introdujo el uso de productos animales y vegetales en su formulación. La lista de tales productos que aparecen en los libros de Jabir — médula ósea, sangre, pelos, huesos, orina de leones, de zorros, de gacelas y de burros, aconita, olivos, jazmín, arañuela, cebolla, jengibre, pimienta, mostaza, pera, anémona, etc. — muestran que era mucho más que un teórico y en sus libros se refleja que era un hábil experimentador.

Si bien sus concepciones teóricas son complejas, algo oscuras y hasta ridículas para una mente moderna, cuando daba las instrucciones para una preparación se expresaba con perfecta claridad. Por ejemplo, en su “Libro de las preparaciones” describe la preparación de hidróxido de plomo blanco:

Tome una libra de litargirio, muélala hasta obtener un polvo muy fino y caliente suavemente con cuatro libras de vinagre de vino hasta que el vinagre se reduzca a la mitad de su volumen original. Entonces tome una libra de soda<sup>126</sup> y caliente con cuatro libras de agua fresca hasta que el volumen del líquido se reduzca a la mitad. Filtre las dos soluciones hasta que queden perfectamente claras y luego agregue lentamente la solución de soda a la de litargirio. Se formará una sustancia blanca que se deposita en el fondo. Vuelque cuidadosamente el líquido sobrenadante y deje que el residuo se seque por evaporación. Obtendrá una sal tan blanca como la nieve.

Jabir clasificó a los minerales en tres grupos:

(a) los *espíritus*, que son las sustancias que se volatilizan completamente por calentamiento, como el mercurio, el azufre, el arsénico, el rejalgar ( $S_2As_2$ ), el oropimente ( $S_3As_2$ ), el alcanfor y el amoníaco.

---

<sup>126</sup>  $CaCO_3$

(b) los *metales* que son sustancias fusibles, maleables, sonoras y que poseen lustre. Reconocía siete metales: oro, plata, plomo, estaño, cobre, hierro y *khar sini* (que aparentemente sería una aleación de cobre, cinc y níquel)

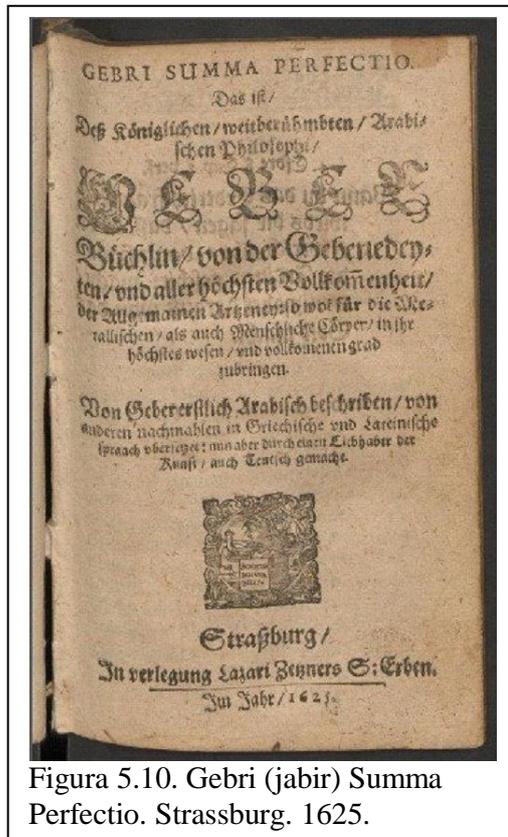


Figura 5.10. Gebri (jabir) Summa Perfectio. Strassburg. 1625.

(c) Sustancias fusibles o no que no son maleables que pueden ser pulverizadas.

Si bien en la obra de Jabir se destaca que la actividad principal es la transmutación de metales inferiores en oro, se registran también innumerables reacciones químicas que no tienen que ver con ese objetivo. Por ejemplo, en “El arcón de la Sabiduría” presenta la receta más antigua que se conoce para preparar ácido nítrico. En otro de sus libros señala la manera de reconocer cobre en una muestra observando el color verde o azul del ensayo a la llama. También describió procesos para la obtención de aceros, métodos para refinar metales, técnicas para teñir telas y cueros, para hacer barnices que impermeabilicen telas o para proteger al hierro de la oxidación, un método para fabricar tinta luminosa a partir de marcasita en vez de usar oro. Menciona el uso de dióxido de manganeso (el jabón de vidriero) para eliminar el tono verdoso en la fabricación del vidrio. En su obra aparecen por vez primera métodos de obtención de amoníaco tanto a partir de sustancias minerales o animales. En varios de sus libros se describen con detalle (y claridad) operaciones típicas como calcinación, cristalización, disolución, volatilización y sublimación y reducción dando, en muchos casos, explicaciones

que permitan entender los cambios que ocurren en esos procesos.

Nunca se podrá precisar cuánto de la obra de Jabir se debe a los ismaelitas que la completaron. Pero queda la impresión de que fue un hombre de un calibre intelectual excepcional.

## 5 – 4. La Turba Philosophorum

Uno de los libros de Jabir cuenta una reunión (ficticia) entre antiguos filósofos que incluían a Hermes, Pitágoras, Sócrates, Aristóteles y Demócrito, en la cual se discutieron los problemas de la Alquimia. Esta es, posiblemente, la primera referencia a una célebre obra alquímica llamada *Turba Philosophorum* o “Convención de filósofos”, el origen de la cual ha intrigado a los académicos durante siglos. La *Turba* aparece por primera vez en un manuscrito en latín en el año 1150 y la primera edición impresa apareció en Basilea en 1572. El texto tiene la forma de debate entre un gran número de filósofos y fue considerada por generaciones de alquimistas como una de las obras más importantes sobre ese arte.



Figura 5.11. Turba philosophorum

La versión en latín muestra signos inequívocos de haber sido traducida del árabe y el contenido de las exposiciones revela claramente que, al menos, una parte debió derivar de la alquimia griega.

En el texto en latín, intervienen nueve filósofos presocráticos que expresan sus teorías: Anaximandro expone sobre el *apeiron*, lo ilimitado; Anaxímenes trata sobre el aire; Anaxágoras presenta sus concepciones sobre las entidades primarias; Empédocles discute la doble función del aire en separar el agua de la tierra y en mediar entre el agua y el fuego; Arquelao trata sobre la tierra, (el elemento más compacto), y el fuego, (el elemento más fino) rigiendo sobre el Universo, Leucipo habla sobre los elementos, aunque sin dar detalles pero, aparentemente, haciendo referencia a lo pleno y lo vacío (tal como había propuesto Diógenes Laercio), Efantus discute la diferencia entre el Mundo Superior y el Mundo Inferior; Pitágoras cuestiona la posibilidad de simultaneidad de los cuatro elementos y Xenófanes postula la coexistencia de los cuatro elementos.

El tema central de *Turba Philosophorum* es una discusión cosmológica sobre la doctrina de los cuatro elementos y su influencia en el desarrollo de la Alquimia y constituye la evidencia más antigua de la influencia de los presocráticos en el pensamiento de los alquimistas islámicos.

### 5 – 5. Razi (Rhazes)

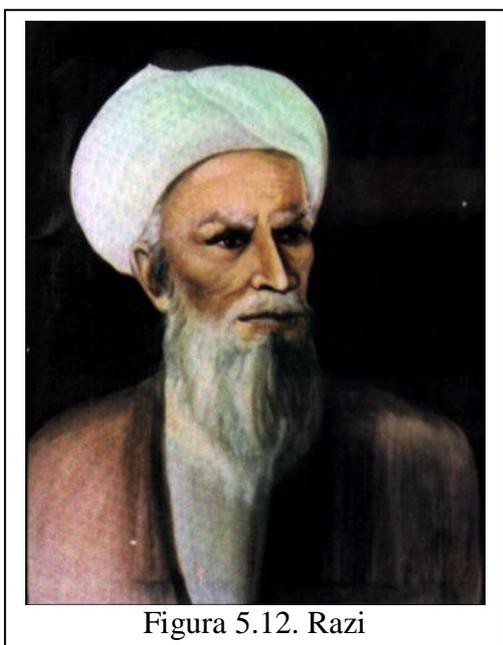


Figura 5.12. Razi

Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyya, nació en el año 825 en la ciudad de Ray, nombre antiguo de la ciudad de Rhague, cerca de Teherán. De allí que se lo conozca como “al Razi” (el hombre de Ray). En esa época, Ray era un importante centro cultural y Razi aprovechó las oportunidades intelectuales que la ciudad ofrecía. Estudió filosofía, lógica, metafísica y poesía y fue particularmente aficionado a la música, siendo un excelente intérprete del laúd. A los treinta años tuvo oportunidad de viajar a Bagdad y allí se interesó por la Medicina. Se dedicó con ahínco a su estudio destacándose en su práctica de tal manera, que su tratado sobre esta disciplina le daría una gran fama no sólo en el Islam sino en toda Europa Occidental, cuando en el siglo XI fue traducido al latín. Así, por ejemplo, describía la forma de diferenciar los primeros síntomas de viruela y sarampión. Todavía en el siglo XVII, algunos de los temas del Tratado de Medicina de Razi, como los referidos a ginecología y oftalmología, eran de lectura obligatoria en las universidades de Holanda.

Razi contribuyó al diseño del gran hospital de Bagdad y luego de su construcción volvió a Ray donde se hizo cargo del hospital local, pero al poco tiempo fue llamado para hacerse cargo de la dirección general del hospital de Bagdad.

Al igual que la mayoría de los médicos de la Edad Media, Razi estudió Alquimia y escribió varios libros sobre el tema. No todos se han encontrado, pero uno de ellos “El libro del secreto de los secretos” fue traducido al alemán con comentarios y aclaraciones de Julius Ruska, uno de los mejores expertos en historia de la Alquimia. Gran parte de los estudios alquímicos de Razi, fueron analizados por Herbert E. Stapleton quien sostuvo que su nivel intelectual era comparable con del de Galileo o el de Boyle.

Razi consideraba que existían cinco principios eternos: el Creador, el alma, la materia, el tiempo y el espacio. Los cuerpos estaban formados por cuatro elementos indivisibles y entre ellos el espacio estaba vacío. Esos elementos o átomos eran eternos y poseían cierto tamaño. Las características

de cada elemento, — tierra, aire, agua y fuego —, como ser, su levedad o pesadez, su transparencia o color o su dureza estaba determinada por el tamaño de los espacios que mediaban entre sus átomos. Esos espacios eran los que determinaban el sentido del movimiento de los elementos: el agua y la tierra se mueven hacia abajo. El aire y el fuego se mueven hacia arriba.

Razi creía que la transmutación era posible y que esa transmutación era uno de los objetivos principales de la Alquimia y que mediante elixires adecuados podría lograrse no sólo la conversión de un metal en oro sino obtener esmeraldas o rubíes a partir de cuarzo o vidrio. Coincidió con Jabir en que los constituyentes de los metales eran el azufre y el mercurio pero sostuvo que, para que la transmutación pudiese ocurrir, era necesario un tercer constituyente de carácter salino. Esta idea de los tres constituyentes, azufre, mercurio y sal, imprescindibles para la transmutación de metales sería adoptada por la mayoría de los alquimistas posteriores.

El Libro del secreto de los secretos, muestra que Razi estaba más interesado en los aspectos experimentales de la alquimia que en sus aspectos teóricos ya que el esquema de ese libro semeja un manual de laboratorio. De los materiales que describe, se deduce que su laboratorio estaba muy bien equipado tanto en lo instrumental — materiales de vidrio y porcelana, mecheros de alcohol, braseiros y atanores, morteros, filtros, etc., — como en materiales de trabajo, — todos los metales conocidos, una enorme variedad de minerales, ácidos, álcalis, sales y productos orgánicos.

Los procesos químicos que describe la obra de Razi incluyen: destilación, calcinación, disolución, evaporación, cristalización, volatilización y sublimación, filtración, formación de amalgamas y ceración<sup>127</sup>. Para los ensayos de transmutación, debía seguirse un cierto orden. Primero, cada sustancia a emplear debían purificarse por destilación, calcinación u otro proceso apropiado. Habiendo liberado a la materia de sus impurezas, la etapa siguiente era la ceración para que resulte un producto que funda fácilmente y que no libere humos cuando se lo deje caer sobre una placa metálica caliente. Después de la ceración, el producto debía disolverse en un medio alcalino, con soda o amoníaco. Luego se mezclaban las soluciones de las sustancias que intervienen en la formulación en las proporciones adecuadas de “espíritus” que poseían. La mezcla así obtenida debía coagularse o solidificarse. Si el experimento resultaba exitoso, el producto obtenido era un “elixir”.



Figura 5.13. Razi. Tratado de anatomía.

La manera puntillosa en que Razi describió el trabajo en el laboratorio hizo que un “subproducto” de la Alquimia fuese un cuerpo de conocimiento químico confiable en continuo crecimiento. Y por eso Razi mereció el reconocimiento de los alquimistas que le sucedieron.

El Tratado de Anatomía de Razi está escrito con un lenguaje muy sencillo y empleando una lógica muy simple. Por ejemplo, en las consideraciones preliminares a la primera sección (Figura 5.13) dice.

<sup>127</sup> Proceso de convertir una sustancia en un sólido pastoso y fusible.

“El Creador, que es poderoso y grande, creó los huesos para que sean los apoyos y los soportes del cuerpo. Ya que en ciertos momentos es necesario que una parte del cuerpo se mueva con exclusión de otras, Él no creó los huesos del cuerpo como un solo hueso, al contrario, creó un gran número y le dio a cada uno de ellos la forma que conviene para la función a la cual está destinado. Aquellos que, en ciertas circunstancias, deben moverse juntos y en otras se mueven separados de los otros, Él los reunió mediante una cosa que hizo crecer de las extremidades de uno de ambos huesos y que se relaciona con la otra extremidad. Esta cosa se llama ligamento...”

## 5 – 6. Abu Alí ibn Sina (Avicena)

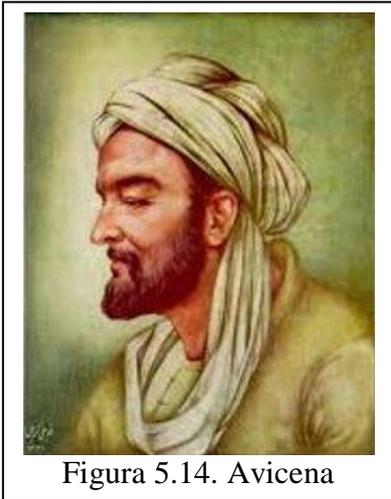


Figura 5.14. Avicena

Abu Alí ibn Sina ha sido descrito como “el Aristóteles de los árabes” y es considerado uno de los más prestigiosos hombres de ciencia que tuvo el Imperio árabe a pesar de ser de origen persa. Nació en Afshana, cerca de Bukhara en el año 980. Siendo niño, su familia se trasladó a Bukhara donde Abu Alí estudió el Corán y poesía árabe. Su capacidad era tal que al poco tiempo hubo que contratarle tutores que le enseñasen, matemáticas, geometría, lógica y leyes. Siendo adolescente, su afán de conocimientos lo llevó a estudiar Medicina por su cuenta e hizo tales progresos que a los dieciséis años, varios médicos venían a su casa a aprender métodos de tratamiento. A los diecisiete años, fue nombrado médico de uno de los príncipes y con el tiempo fue ocupando cargos destacados llegando a ser “gran visir” (primer ministro) de Shams al Daula, en Hamadhan, donde falleció en 1036 ó 1037.

Avicena produjo una asombrosa cantidad de trabajos científicos, filosóficos, literarios y médicos y su fama trascendió las fronteras del mundo árabe para ser reconocido en la Europa Occidental. En conjunto escribió más de 100 libros y, si bien algunos son muy breves, su célebre “Canon de Medicina” contiene alrededor de un millón de palabras. En esa obra, mostró ideas originales sobre psiquiatría, afecciones nerviosas, tratamiento de diversas enfermedades, mostrando, por ejemplo, que la tisis es contagiosa, y que ciertas enfermedades pueden transmitirse por el suelo o por el agua. En la sección farmacológica del Canon, menciona unas 760 drogas, incluyendo narcóticos como la mandrágora, el opio, la cicuta y el cannabis. Durante varios siglos, el Canon fue un texto de lectura obligatoria para la formación de médicos, tanto en Oriente como en Europa.

Al igual que Razi, Avicena estaba interesado en la música y sus estudios sobre teoría musical estuvieron muy por delante de los que, en esa época, eran corrientes en Europa. En temas de Física, se interesó sobre la transmisión del calor, la energía, la gravedad, el movimiento y sugirió que la luz se desplaza a una velocidad finita. Escribió sobre la filosofía de la Matemática e hizo observaciones astronómicas. Entre sus inventos, merece destacarse una especie de vernier para mediciones muy precisas de longitudes.

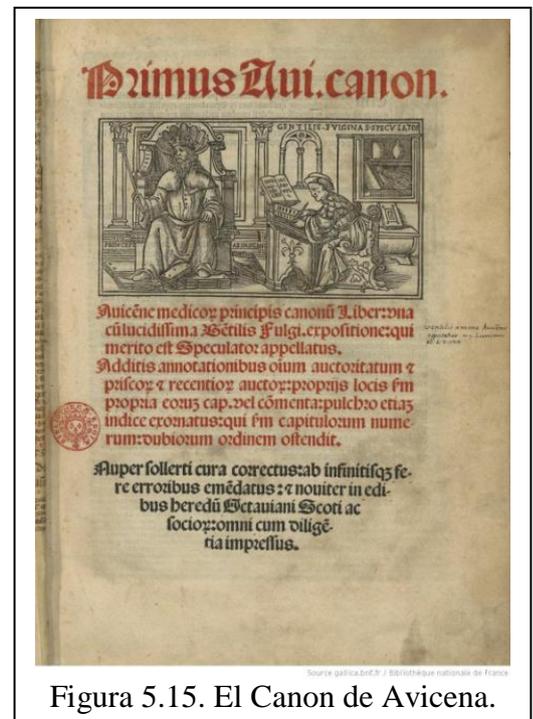


Figura 5.15. El Canon de Avicena.

En lo que respecta a la Alquimia, sus opiniones están principalmente reflejadas en “El libro de los remedios” que escribió entre 1021 y 1023. Concordaba con Jabir en cuanto a que la constitución de los metales esta dada por los “principios inmediatos” azufre y mercurio. Afirmaba que si el mercurio es puro y está unido a azufre de pureza tal que no induce la combustión, (pureza que no podrían obtener los alquimistas), entonces el producto es plata. Si el azufre es aún más puro, al extremo de ser de color blanco, sutil e incombustible, cuando solidifica al mercurio se forma oro. Si el mercurio es de buena calidad pero el azufre que lo solidifica es impuro y tiene la propiedad de la combustibilidad, entonces el producto es cobre. Si el mercurio está “corrompido”, sucio, faltar de cohesión y terroso y si el azufre es también impuro, entonces el producto será hierro. En el caso del estaño, Avicena pensaba que resultaba de la unión de mercurio de buena calidad y azufre impuro y que como consecuencia de esa impureza, la unión de los dos principios no era firme sino que se adosaban capa sobre capa, lo que explicaba el conocido “grito del estaño”<sup>128</sup>. El plomo, según Avicena, se formaría probablemente a partir de un azufre impuro y fétido por lo que la solidificación habría sido imperfecta.

Sobre la base de los requisitos que deberían cumplir el azufre y el mercurio, Avicena se mostró escéptico de que el hombre pudiera lograr la transmutación. Al respecto escribió:

Hay pocas dudas que los alquimistas pueden lograr metales que ante nuestros sentidos se parezcan al oro y la plata, pero las sustancias alquímicas no son idénticas en sus principios y en su perfección a los que la naturaleza hace. Los alquimistas pueden hacer perfectas imitaciones blanqueando un metal rojizo para que parezca plata y tiñéndolo de amarillo para que sea muy parecido al oro. Pueden colorear un metal blanco para que parezca cobre y pueden liberar al plomo y al estaño de buena parte de sus defectos e impurezas. Pero en los metales así tratados la naturaleza de su esencia permanece inalterada. Se alteran ciertas cualidades para inducir a error en la determinación de su naturaleza. “Yo no niego que tal grado de precisión en la imitación pueda alcanzarse hasta para engañar al más inteligente, pero la posibilidad de la transmutación nunca me resultó clara. Ciertamente la considero imposible escindir una combinación metálica para formar otra. Las diferencias que distinguen a una especie metálica de otra probablemente no sean aquellas propiedades que percibimos mediante los sentidos, sino meros accidentes o consecuencias. Las diferencias esenciales específicas no se conocen. Y si una cosa no se conoce ¿Cómo uno se puede empeñar en producirla o destruirla?”

Las opiniones de Avicena acerca de la transmutación provocaron muchas polémicas entre los alquimistas de la época y algunos como el visir al-Tughra'i intentaron rebatirlos. Pero, al igual que en otras ramas del conocimiento, Avicena fue un adelantado y los alquimistas contemporáneos prosiguieron empeñosamente en la búsqueda de los elixires sin que las dudas los preocupen y sin disminuir su entusiasmo.

## 5 – 7. Sobre fraudes alquímicos

A lo largo de la historia de la Alquimia siempre hubo pícaros y charlatanes cuyas artimañas descreditaban los intentos honestos de lograr la transmutación. E. J. Holmyard cuenta que uno de esos truhanes llegó a Damasco con unas limaduras de oro que había mezclado con carbonilla, harina, cola de pescado y otras drogas, formando una pasta. Con la pasta hizo unas bolitas pequeñas que dejó

---

<sup>128</sup> El estaño se presenta en tres formas alotrópicas, estaño gris que cristaliza en el sistema cúbico y que a 18 °C se transforma en estaño blanco que cristaliza en el sistema tetragonal. Por encima de los 161 °C la estructura cristalina del estaño blanco es rómbica. Cuando se dobla una barra de estaño se oye un ruido crepitante, conocido como “grito del estaño”, que se debe a la fricción y a la rotura de los cristales.

secar. Se vistió como derviche<sup>129</sup> y, por unas monedas, le vendió las bolitas a un boticario diciéndole que era una droga llamada “tabarmaq de Khorassan” y que tenía excelentes propiedades medicinales. Luego se vistió con una rica capa, contrató un sirviente y fue a la mezquita donde entabló conversación con varias personas notables. Les dijo que era un experto alquimista y que se había hecho muy rico con su arte. Su alarde llegó rápidamente a los oídos del visir quien ordenó su presencia en la corte. El propio Sultán le expresó su deseo de ver una transmutación, algo a lo cual el charlatán se avino a demostrar siempre que lo proveyesen de las drogas necesarias. La receta que él iba a aplicar incluía una cierta cantidad de tabarmaq de Khorassan y, mientras todas las demás drogas que necesitaba se obtuvieron rápidamente, el tabarmaq no se podía conseguir. El charlatán insistió en que el tabarmaq era imprescindible para la transmutación por lo que el Sultán ordenó buscarlo en todas las boticas de Damasco. Finalmente la encontraron y el boticario que las tenía contó que la había obtenido de un derviche. Cuando trajeron las bolitas a la corte, el charlatán ordenó que colocaran todos los ingredientes en un crisol y que se lo calentase fuertemente. Cuando estaba lo suficientemente caliente ordenó retirar el crisol del fuego que lo enfríen y que vuelquen su contenido. Al volcarlo rodó una pequeña pepita de oro.

Profundamente impresionado por el éxito del experimento, el Sultán ordenó premiar al alquimista y que busquen quien pudiese proveerlo de tabarmaq. A pesar de una búsqueda exhaustiva por todo Damasco y sus alrededores, no se pudo encontrar ni una sola bolita de ese material ni quien pudiese suministrarla. Entonces el alquimista le dijo al Sultán que conocía una caverna en Khorassan donde había cantidades apreciables de tabarmaq y le sugirió que envíe una expedición para traer una buena cantidad de ese material. Tal como había previsto el embaucador, el Sultán no quiso que la fuente del tabarmaq fuese conocida por todo el mundo y que cualquiera pudiese obtener oro. Por lo que le encomendó al alquimista que fuese sólo a esa caverna. El charlatán argumentó que tenía otros compromisos y teatralizó su reticencia pero, al final, aceptó el encargo. El Sultán lo proveyó de todo lo que podía necesitar para la travesía, camellos, tienda, un hornillo, comida, ropa de seda y de abrigo, carpetas y, además, una buena suma de dinero. Equipado de esta manera, el embaucador partió y fue la última vez que lo vieron.

## 5 – 8.- La Tabla esmeralda

Antes de ocuparnos de los alquimistas musulmanes posteriores, deberíamos hacer una breve referencia a la *Tabula Smaragdina* o Tabla esmeralda, ya que las primeras versiones conocidas de este dogma alquímico están escritas en árabe. La tabla se adjudica a Hermes Trismegistus, el “doctor de las tres partes de la sabiduría del mundo” un personaje mítico, identificado con Toth, dios egipcio de la matemática y de la ciencia, a quien se le adjudica también haber escrito unos ... ¡¡36.000 libros de Química!!.

La Tabla esmeralda resume los principios de los cambios en la Naturaleza, por lo que constituye la raíz de la doctrina alquímica. Expresa una cierta idea, que predominaría entre los alquimistas, de que hay una correspondencia interactiva entre las actividades terrenales y las celestiales y que las múltiples formas en las que se presenta la materia, devienen de un único origen. Un alma o espíritu universal impregna tanto el macrocosmos como el microcosmos y esta unidad en la diversidad implica la posibilidad de la transmutación. En la Tabla, el Sol y la Luna parecen representar el oro y la plata, pero muchos alquimistas llegaron a considerar que en el texto hacían referencia al azufre y al mercurio.

---

<sup>129</sup> Los derviches son una de las formas de los *sufis*. Son musulmanes devotos que en algunos aspectos se parecen a los monjes cristianos.

A lo largo de los siglos, los comentaristas han dado diversas interpretaciones del *dictum* de la Tabla, pero hubo cierto consenso en que el “poder” del espíritu cósmico debía ser concentrado en un medio material, la piedra filosofal o el elixir, que les permitirían a los alquimistas llevar a cabo las transmutaciones

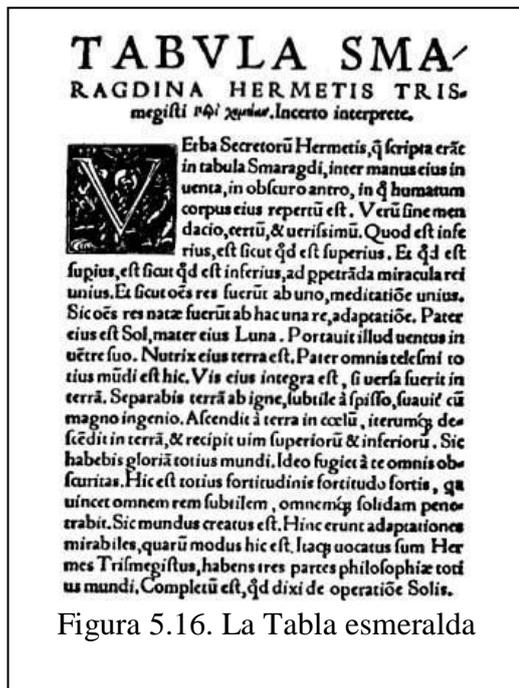


Figura 5.16. La Tabla esmeralda

Cualquiera sea su significado, no hay duda que la Tabla Esmeralda es uno de los documentos alquímicos más antiguos. Una leyenda cuenta que, en su forma original, fue encontrada después del diluvio en una caverna cerca de Hebrón, por Sara, la mujer de Abraham. Según esta versión, estaba escrita por Hermes Trismegistus, en caracteres fenicios, sobre una placa de esmeralda, de allí el nombre. Otras versiones le adjudican el descubrimiento de la Tabla a Alejandro Magno y a Apolonius de Tyana.

A partir de los mitos, es imposible deducir el origen de la tabla. En 1923, Holmyard descubrió una síntesis de la Tabla en uno de los libros de Jabir. Poco después, Julius Ruska descubrió una versión en árabe de la Tabla en un libro llamado “El secreto de la creación” atribuido a Apolonius de Tyana. Los datos más fehacientes indican que la versión en árabe fue una traducción de una versión en sirio y que esta, a su vez, deriva de una versión en griego pero que no provienen del antiguo Egipto, en don-

de era originaria la creencia en Hermes ya que en la Tabla se menciona al diluvio universal, algo desconocido por los antiguos egipcios.

Una tradición árabe cuenta que hubo tres personas llamadas Hermes. El primero de ellos, llamado Hermes Trismegistus, vivió antes del diluvio y era nieto de Adán. Escribió numerosos libros sobre el conocimiento terrenal y celestial y construyó las pirámides de Egipto. Fue el primer patrono de la ciencia y de las matemáticas y el primero en vestir ropa cosida. El segundo Hermes, vivió en Babilonia después del diluvio. Brilló en ciencia, medicina, filosofía y matemáticas y fue el maestro de Pitágoras. El tercer Hermes, vivió en Egipto y fue médico y filósofo, que escribió un libro sobre animales venenosos u otro sobre alquimia y el arte alquímico u que fue un excelente arquitecto.

Los mitos acerca de Hermes y su sabiduría, que crecieron y se tornaron más circunstanciales con el transcurso del tiempo, fueron aceptados por los alquimistas como explicación del origen de la Alquimia, particularmente de lo que se llamó el “arte hermético”. La literatura hermética tuvo gran influencia en el desarrollo de la alquimia árabe y, además, influyó en diversas creencias religiosas, místicas, mágicas, astrológicas entremezcladas con la doctrina alquímica. Particularmente, fue notoria la creencia de que los cuerpos celestes no sólo influyen sobre el destino del hombre sino que pueden facilitar o impedir la transmutación.

## 5 – 9. Maslamah ibn Ahmad

Durante el califato de al Hakam II, quien gobernó en España entre el 961 y el 976, se destacó un brillante grupo de estudiosos españoles de origen árabe. Entre ellos se encontraba Abu-l-Qasim Maslama Ibn Ahmad Al-Faradi al-Hasib al-Qurtubi al-Majriti, que si bien nació en Córdoba (Qurtubi) se lo conoció como “al Majriti” (el madrileño) pues vivió muchos años en Madrid. Buena parte de su educación la recibió en Medio Oriente donde estuvo en contacto con los llamados Ejjwán-e-

Safa' (Hermanos de la Pureza), un círculo místico y erudito de Basora, cuyas "Cartas" cubrían un vasto rango de conocimiento contemporáneo.



Figura 5.17. Maslama (940? – 1007)

Maslama se destacó por sus trabajos sobre Astronomía, que incluyen la adecuación de ciertas tablas astronómicas persas a la cronología árabe, un cometario sobre el *Planisphaerium* de Ptolomeo y un tratado sobre el astrolabio, — estas dos últimas, traducidas al latín — A él se le adjudica la autoría de "*Rutbat al - Hakim*" (El peldaño del sabio) y una obra mágica llamada *Gayat al-Hakim* (El acierto del Sabio) que fue traducida en 1256 al español por orden de Alfonso X, "El Sabio" Rey de Castilla y León bajo el título de "Picatrix" (una alteración de un texto de Hipócrates).

*Rutbat al-Hakim* apareció en 1009, casi dos años después de la muerte de Maslama, por lo que algunos autores sostienen la falsedad de su autoría mientras que otros creen que fue completada por sus discípulos. En la obra se detalla cual debe ser el entrenamiento preliminar de un aspirante a alquimista. Eso debe incluir: el estudio de Matemática usando los textos

de Euclides y de Ptolomeo; el estudio de las ciencias naturales como las enseñaron Aristóteles y Apolonius de Tyana. Luego el estudiante debe adquirir la habilidad manual, adiestrar sus ojos para la observación y la mente para la reflexión sobre sustancias químicas y sus transformaciones. Dado que el comportamiento de la Naturaleza es invariable, nunca hace la misma cosa de distinta manera, el alquimista, al igual que el médico, debe esforzarse para seguir a la Naturaleza.

En lo que respecta a la experimentación química, *Rutbat al-Hakim* es comparable a los tratados de Jabir. Entre otras, contiene instrucciones muy precisas y claras para la purificación del oro y la plata, tanto por copelación como por otros métodos, En este trabajo el autor demuestra por primera vez el principio de conservación de la masa, que ocho siglos después sería atribuido a Lavoisier. Maslama describe la preparación de lo que hoy llamamos óxido de mercurio. En su síntesis, el autor observó una regla química fundamental que no se aplicaría universalmente hasta el siglo XIX, la de la experimentación cuantitativa:

*"Tomé mercurio natural, libre de impurezas, y lo coloqué en una vasija de vidrio con forma de huevo. Introduje ésta en otra vasija con forma de olla, y coloqué el aparato completo sobre un fuego muy vivo (...). Calenté el aparato día y noche durante cuarenta días, después de lo cual lo abrí. Encontré que el mercurio, cuyo peso original era de un cuarto de libra, se había convertido completamente en un polvo rojo, suave al tacto, con el mismo peso que tenía inicialmente".*

En el 1004, Maslama fundó en Madrid una Escuela de Matemáticas y Astronomía donde se formaron sus discípulos al-Kirmani; Ibn Al-Samh; Ibn Al-Saffār e Ibn Al-Jayyāt, quienes completaron sus trabajos sobre Astronomía.

Entre los numerosos trabajos de Maslama se cuentan el "Tratado del Astrolabio"<sup>130</sup>, que se conserva en la biblioteca del Monasterio de El Escorial con el número 967 del Fondo Árabe; el "Ex-

<sup>130</sup> El astrolabio es un antiguo instrumento que permite determinar la posición de las estrellas sobre la bóveda celeste. Consiste en una placa circular graduada (placa madre o *mater*) con una aguja giratoria y un punto de mira que se apunta hacia la estrella elegida. En el borde de la placa hay una escala graduada y en la parte superior lleva una argolla que permite suspender el instrumento para hacer las mediciones. La parte delantera de la placa es ligeramente cóncava y en ella se insertan dos discos, uno interno, fijo, que lleva grabadas las coordenadas de la esfera celeste correspondiente a la latitud en la que se ubica. El disco externo es giratorio y representa un planisferio con las posiciones del Sol, la Luna

tracto de las Tablas de Al-Battani, para posición de los astros y ecuaciones de los planetas”; el “Libro de Aritmética práctica”; la “Teoría de la perfección de las ciencias numerales” (en árabe *Fi taiman ilm al-adad*), y también el “Cálculo comercial” (*al-Mu’amalat*).

## 5 – 10. Muhammad ibn Umail al Tamini

Debido a que vivió en reclusión, se conoce muy poco sobre la vida de Muhammad ibn Umail (900 – 960). Según un documento vaticano se lo indica como “el andaluz”, aunque sus obras son originarias de Egipto. Fue contemporáneo de Maslama y sólo parte de su obra se ha conservado. Uno de sus trabajos se llama *Kitab al ma’al waraki wal-ard an najmiyah* (El agua de plata y tierra estrellada) y es una valiosa descripción de los trabajos de alquimistas anteriores y contiene su oda alquímica *Risalah ash Shams ila l’ hilal* (Epístola del Sol a la Luna creciente). Durante la Edad Media, ambos trabajos fueron traducidos al latín, el primero bajo el nombre de *Tabula Chemica*, aunque fue adjudicado a un “Senior Sadik, hijo de Haumel”, el segundo como “*Epistola Solis ad Lunam Crescentum*. La *Tabula Chemica* provee un ejemplo del grado en que la alquimia islámica aceptó y desarrolló la doctrina hermética.

Durante los siglos XII y XIII, la Alquimia comenzó a desarrollarse en Occidente a la vez que fue decayendo el número de alquimistas islámicos cuyos trabajos tuvieran cierta jerarquía. Buena parte de los libros que escribieron los alquimistas islámicos de esa época son meros compendios de obras anteriores o comentarios sobre las mismas. Entre los pocos autores que se destacan, pueden citarse a Ibn Arfa Ras, quien, en 1196 - 1197, escribió un poema alquímico titulado “Partículas de oro” el que se caracteriza por detalles prácticos de ese arte, pero también por su calidad literaria. Otro escrito notable de la Alquimia islámica del siglo XIII es “El conocimiento adquirido respecto de la cultivación del Oro” que se debe a Abu’l Qasim al Iraqui. El autor defiende, sin hesitación, las enseñanzas alquímicas sobre la unidad esencial de los metales y la posibilidad de su transmutación. En otra obra, el autor expone los aspectos sociales de la Alquimia, entre ellos, la obligación de guardar secreto respecto de su trabajo. La obra de Abu’l Qasim fue comentada en un extenso trabajo de Aidamur al Jildaki, inserto en un libro titulado *Nihayat al talab* (El final de la búsqueda). Tampoco se conoce mucho de la vida de Aidamur. Era de origen persa. Estudió medicina y alquimia en Damasco. Vivió un tiempo en El Cairo y luego viajó durante diecisiete años para contactarse con alquimistas de su época y obtener escritos alquímicos. Luego se dedicó a escribir alrededor de 25 libros sobre el tema, algunos muy voluminosos. Su valor reside en la cantidad de citas que incorporó a esos libros. En muchos casos, los trabajos originales que Jildaki cita en sus libros, se conservan en la actualidad. Esto permite comprobar que Jildaki fue un copista cuidadoso, lo que hace que sean confiables las citas de obras que en la actualidad no se encuentran. Falleció en 1342 – 1343.

En 1954, M. Taslimi realizó un estudio minucioso de “El final de la búsqueda” encontrando que sólo en ese libro, Jildaki cita cuarenta y dos obras de Jabir y un gran número de obras de diversos autores, incluyendo a Ibn Umail, Avicena, Maslama, Khalid ibn Yazid y Razi. Otro de los libros de Jildaki contiene un comentario sobre el “Libro de los siete ídolos” que se supone que escribió Apollonius de Tyana.

Si bien con posterioridad a Jildaki, no hubo alquimistas islámicos notables, ello no significa que el arte alquímico fuera dejado de cultivarse por musulmanes estudiosos.

---

y las estrellas más brillantes del lugar. La aguja con el visor permiten calcular el ángulo que forma la estrella a observar con los cuerpos celestes del disco externo. Hasta la aparición del sextante, fue el principal instrumento de observación astronómica.

**Bibliografía**

- Berthelot, M., (1885)** : *Les origines de l'Alchimie*, George Steinheil Editeur. Paris.
- De Koning, P., (1903)**: *Trois traités d'Anatomie arabes: Muhammed ibn Zakariyyà Al Rràzi, Ali ibn Al Abbas, Ali ibn Sina*. E. J. Brill, Leide.
- Holmyard, E. J., (1990)**: *Alchemy*. Dover Publications Inc. New York.
- Partington, J. R., (1957)**: *A Short History of Chemistry*, 3th. Ed., S. Martin's Press, New York.
- Sarton, G., (1931)**: *Introduction to the History of Science*. Volume II. Carnegie Institution of Washington.
- Sherwood Taylor, F.: (1949)**: *The Alchemists*. Henry Schuman, Inc., Publishers, New York.
- Stapleton, H.E., "The antiquity of Alchemy", *Ambix* 5 (1-2) 1- 43 (1953)**



## **VI. LA ALQUIMIA EN LA EDAD MEDIA.**

### **6 – 1. Introducción.**

A partir de la conversión al cristianismo del Emperador Constantino<sup>131</sup> las obras de los filósofos griegos y latinos fueron consideradas paganas y hasta herejes, por lo que su divulgación y su conocimiento fueron decayendo. El decreto del Emperador Diocleciano<sup>132</sup> ordenando quemar todos los libros sobre Alquimia había hecho que esta práctica comenzara a ser clandestina y ejercida cada vez por menos practicantes.

La expansión árabe<sup>133</sup> permitió que muchos estudiosos musulmanes rescataran esos textos olvidados, los tradujeran al árabe, agregándoles aclaraciones y comentarios. A partir del año 1144, cuando Robert de Chester (Robertus Ketensis) traduce el “Libro de la composición de la Alquimia” se produce el proceso inverso, comienzan a traducirse los textos árabes al latín y con ello se reaviva el interés de los estudiosos europeos por los clásicos griegos, particularmente por los escritos de Aristóteles, por obras de escritores latinos, así como por muchos textos sobre Alquimia. Resurgió así la Alquimia como una mezcla de ciencia, filosofía y mística.

El peso intelectual de Aristóteles y el hecho de que la Iglesia adoptara la filosofía aristotélica como doctrina oficial hizo que muchos estudiosos de la Alquimia —entre ellos miembros prominentes de la Iglesia— aceptasen la teoría de los cuatro elementos. Como con la combinación adecuada de esos elementos se podía obtener cualquier sustancia, los practicantes de la Alquimia creían en la posibilidad de la transmutación y dedicaron sus esfuerzos a lograrla. Si bien no lograron transmutar metales “viles” en oro, en esa tarea, fueron perfeccionando técnicas de laboratorio, descubriendo nuevas reacciones y nuevas sustancias.

### **6 – 2. Roger Bacon.**

Roger Bacon nació, probablemente, en 1214 en Ilchester, una villa del Condado de Somerset. Inglaterra. Parece haber pertenecido a una familia rica, que, posteriormente, en la lucha entre Henry III y los barones (1258 – 1265), sacrificó su fortuna por la causa del rey. Siendo muy joven, estudió

---

<sup>131</sup> El Emperador Constantino (Caius Flavius Valerius Aurelio Constantinus) nació el 27 de febrero de 272 y falleció el 22 de mayo de 337. Su “conversión” al cristianismo se suele ubicar en la promulgación del Edicto de Milán el 28 de febrero de 313, que estableció plena libertad de culto a los cristianos, aunque recién fue bautizado poco antes de morir en el 337

<sup>132</sup> 244-311 d.C.

<sup>133</sup> Período empezó desde el año 622 d. C, cuando Mahoma organizó en la ciudad de Medina una comunidad de fieles que pronto se volvió fuerte como para unificar toda la Península Arábiga. Esta comunidad fue ampliando sus dominios por el Norte de África y, en el 711 invadió la Península Ibérica. En su expansión, el poder del Islam también sometió al Imperio Bizantino. Tras ocho siglos de expansión y dominio, el poderío musulmán declinó hacia el año 1236. La expansión árabe está detallada en la Sección 1 (Mahoma) del Capítulo 5 “La Alquimia islámica”

en la Universidad de Oxford, bajo la influencia del filósofo y erudito inglés Robert Grosseteste, obispo de Lincoln y con Adam Marsh, un franciscano inglés, erudito y teólogo, quien lo guió en Matemáticas y Teología. Se graduó de Master of Arts, pero no obtuvo el grado de *Doctor of Divinity* (Doctor en Teología). Sin embargo, se lo llamó *Doctor Mirabilis*. Posteriormente, quizás alrededor del año 1236, estudió y dictó clases en la Universidad de París. Se afirma que más tarde viajó a Italia donde le dedicó un libro al Papa Inocencio IV. Regresó a París donde fue docente y conferencista en la Universidad de París. Estando en Francia, conoció a "uno de los hombre más modestos y más sabios de la época", que se había dedicado al estudio de la química, las matemáticas, la astronomía y, sobre todo, a aquellas aplicaciones prácticas de la ciencia experimental que llevaron a Bacon a llamarlo "el amo de experimentos". Ese hombre fue Pierre Pêlerin de Maricourt (en latín, Petrus Peregrinus de Maharncuria). Entre los interesantes experimentos que realizaba Maricourt se destacan los de magnetismo y, en 1269, publicó el primer tratado existente sobre las propiedades de los imanes que incluye la primera discusión detallada de las características de una brújula.

Quizás influenciado por Marsh y por Maricourt, entre 1251 y 1257 Bacon ingresó a la Orden de los Franciscanos. Aparentemente, al poco tiempo tuvo dificultades con sus superiores. Poco después de que, en 1254, Gerardo de Borgo San Donnino publicara el *Liber introductorius ad Evangelium æternum*,<sup>134</sup> la Orden Franciscana nombró un censor de las publicaciones de los miembros de su propia congregación. El carácter díscolo y contestatario de Bacon parece haber influido bastante en las discusiones con sus superiores. Además, tuvo discusiones teóricas con dos dominicos famosos, Alberto Magno y Tomas de Aquino.

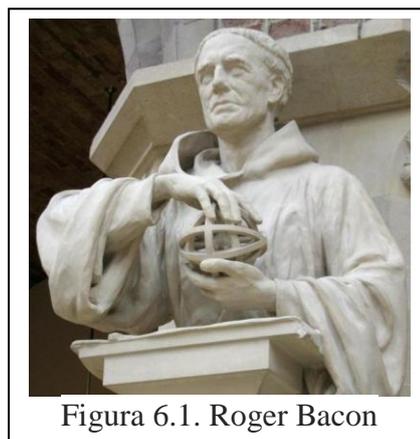


Figura 6.1. Roger Bacon

En 1266, el Papa Clemente IV (Guy de Foulques) quien había tenido, desde Francia e Inglaterra, buenas referencias de Bacon, le ordenó que le envíe secretamente y tan pronto como fuera posible, copias de sus trabajos. Esto fue una gran oportunidad que Bacon aprovechó, pero parece que el pedido papal que eludió la censura de la Orden franciscana, irritó a los superiores provocando que éstos lo detestaran aún más. En 1268 le envió cuatro copias de sus libros al Papa, pero desgraciadamente, el Pontífice falleció poco tiempo después de recibirlos.

En 1277, Stephen Tempier, Obispo de Paris, publicó sus 219 tesis filosóficas y teológicas condenando, entre otras posturas al Averroísmo<sup>135</sup>; a partir de entonces la censura de la Orden franciscana se tornó más severa. La crítica de Bacon a la autoridad, su independencia de pensamiento, y su tendencia a discutir lo llevaron nuevamente a conflictos con sus superiores en la Orden, y ese año fue condenado por Girolamo Masci, el Ministro General de la Orden, a confinamiento de por vida por "enseñar novedades sospechosas".

En 1288, Masci fue electo Papa y tomó el nombre de Nicolás IV pero falleció el 4 de abril de 1292. El 25 de mayo de ese año, al morir el archienemigo de Bacon, el Ministro General de la Orden, Raymond de Gaufredi, lo puso en libertad, lo que permitió que poco tiempo después, Bacon regresara a Oxford.

En 1485, el historiador John Rous, (1420 – 1492) escribió "el noble doctor Roger Bacon fue enterrado en la iglesia Grey Friars de los franciscanos, en Oxford, en el año 1292, en la fiesta de San

<sup>134</sup> Por ese libro, el Papa Alejandro IV, condenó a Gerardo de Borgo a prisión perpetua.

<sup>135</sup> Averroísmo es un término aplicado a la propuesta filosófica del filósofo Averroes (o Ibn Rushd, nacido en 1126 Córdoba, España; fallecido en 1198, Marruecos), basada en las interpretaciones del aristotelismo, en un intento de conciliarlas con el Islam.

Bernabé Apóstol (11 de junio)". Esta afirmación fue puesta en duda, ya que en 1292, Bacon escribió *Compendium studii theologiae*. Otros historiadores se inclinaron a sostener que falleció en 1294. Una torre, conocida tradicionalmente como "Estudio de Fray Bacon" se mantuvo hasta 1779 en el Folly Bridge, en el lado sur de Oxford.

Bacon fue esencialmente un enciclopedista. Su obsesión fue la idea de la unidad del conocimiento, pero del conocimiento tangible. A lo largo de su vida dedicó todos sus esfuerzos para captar y explicar esa unidad que según él se podía corroborar mediante experimentos.

A través de sus escritos, Bacon denunció crudamente los males de la escolástica, de hecho con demasiada virulencia, lo que en vez de generar resultados prácticos le granjeó la antipatía y hasta el odio de muchas de las personalidades relevantes de la ciencia y la teología de su época, entre ellos Alberto Magno y Tomás de Aquino. Tomó conciencia de la necesidad de que los filósofos y teólogos ampliaran sus bases de conocimientos; comprobó que no estaban familiarizados con los datos científicos disponibles y que tenían deficiencias en sus conocimientos de matemática y de lingüística. Su mayor mérito intelectual fue su vindicación del espíritu experimental. Él no fue un gran experimentador ni un gran matemático pero, en su época, vio mejor que nadie que sin experimentación y sin matemáticas, la filosofía natural quedaba reducida a puro palabrerío. También hizo hincapié en la *utilidad de los conocimientos*, algo tan importante como la unidad del conocimiento. Tanto en su *Opus Majus* como en su *Opus Tertium* insistió repetidamente sobre la utilidad del conocimiento empírico. Estas dos percepciones *unidad* (que debe ser descubierta experimentalmente y probada con la ayuda de la Matemática) y *utilidad*, lo llevaron a concepciones enteramente novedosas del conocimiento, del aprendizaje y de la educación.

Al igual que los demás pensadores cristianos de su época, Bacon creía que la Biblia contenía — ya sea explícita o implícitamente — todo el ámbito del conocimiento. Por otra parte, para entender la Biblia a fondo, se requerían todas las artes y las ciencias, ya que la creencia generalizada era que los patriarcas y profetas tuvieron pleno conocimiento de todas las ciencias, incluyendo a la magia y a la Astrología. Por lo tanto, en su esquema, la reina de las ciencias era la Teología y todas las demás ramas del saber eran sus auxiliares. Todo el sistema baconiano de investigación y búsqueda del conocimiento deriva de estas dos ideas rectoras: la Biblia con su lenguaje difuso y sus alegorías contiene todo el conocimiento que debe ser extraído mediante la experimentación y la clave para interpretar ese conocimiento se obtiene mediante la Teología. No se puede entender su actitud hacia la filosofía natural si no se toman en cuenta sus dos premisas principales.

Refiriéndose a la *scientia experimentalis*, Bacon sostuvo que “todas las ciencias, excepto esta, para probar sus conclusiones emplean meramente argumentos como las ciencias puramente especulativas, o recurren a experiencias universales e imperfectas” mientras que “ella sola, tiene verdaderamente los medios para descubrir la perfección de lo que puede hacer la naturaleza, lo que se puede obtener mediante la laboriosidad del arte o del fraude” ya que ella sola puede distinguir lo que es verdadero de lo que es falso por “encantamientos, conjuros, invocaciones, rechazos y sacrificios” [Bridges, Vol. II, p. 172]

Su concepción del método experimental no tenía como fin la búsqueda de la verdad objetiva sino corroborar experimentalmente los conocimientos científicos expresados en las Escrituras. Bacon debe ser juzgado por haberse enfrentado a las posturas intelectuales de su época pero no se le debe acreditar livianamente una perspectiva empirista que, en realidad, sólo surgió siglos más tarde con Francis Bacon, John Locke y David Hume. Por otra parte, para Bacon “experiencia” implicaba algo más que la observación y la experimentación. Para él incluía la iluminación de la fe, la intuición espiritual, la inspiración divina y esta experiencia esotérica era “mucho mejor” que la experiencia de la filosofía de la ciencia.

Las ideas de Bacon no tuvieron gran aceptación en su época. Su temperamento confrontativo lo predispuso mal ante sus contemporáneos. Su criticismo inmoderado hacia otros pensadores destacados lo llevaron a posiciones antagónicas antes que conciliadoras. Bacon detestaba a los dominicos Alberto Magno y Santo Tomás, no sólo porque estaba celoso de sus tremendos éxitos sino también porque sabía que sus síntesis, si bien eran presentadas como completas —y fueron aceptadas como tales— eran incompletas en muchos aspectos esenciales. Al igual que la mayoría de los monjes franciscanos, él era agustiniano (es decir, platonista) mientras que ellos eran aristotelianos. Quizás Bacon no fue tan buen filósofo como Santo Tomás, quien convirtió a Aristóteles al cristianismo uniéndolo “filósofo oficial de la Iglesia”<sup>136</sup> Si bien los conceptos filosóficos de Bacon eran coherentes, él no tuvo la habilidad para construir una estructura filosófica sintética y sólida. Tampoco fue tan buen naturalista como Alberto Magno, pero fue lejos mejor científico que ambos, tanto en el campo de la matemática como en filosofía natural además de ser un enciclopedista mucho más completo y profundo.

A diferencia de los sistemas dogmáticos, como el tomismo, los pensamientos de Bacon parecían estar —y de hecho lo estaban— desconectados entre sí. Su filosofía era más un método, o un punto de vista, que un sistema. De allí que no sorprende la escasa repercusión que tuvo en su época. Tan es así que gran parte de su obra permaneció durante siglos sin ser publicada. Recién en 1541 y 1542 se publicaron algunos de sus escritos y sus libros más importantes fueron editados recién en 1733.

Santo Tomás fundó una escuela casi comparable con la Academia de Platón o con el Liceo de Aristóteles. Bacon no fundó nada, no tuvo seguidores ni continuadores. No obstante, con el auge del empirismo y las concepciones modernas de ciencia, los científicos fueron redescubriendo su obra y en el séptimo centenario de su nacimiento encararon la tarea de completar su publicación.

La revalorización de la obra de Bacon no se debe a su estructura sistemática sino a su originalidad que excedió largamente a la de sus contemporáneos. Así, mientras que Santo Tomás se convirtió en un símbolo del medievalismo, la de Bacon se considera precursora de la ciencia moderna.

Oponiéndose a los escolásticos de su época, que interpretaban las Sagradas escrituras y los libros clásicos a partir de traducciones al latín, muchas veces incompletas, erróneas o interpoladas por los copistas, Bacon sostuvo que la mejor manera de conocerlas era recurriendo a las fuentes. Por eso se abocó al estudio del griego —idioma del cual escribió la primera gramática. También estudió árabe, hebreo y caldeo. Esto le permitió discutir con más profundidad y con mayor rigor científico la Astronomía de al-Bitrūjī, la Óptica de al-Haytham y recomendar cambios en la traducción de la Biblia al latín.

Ya hemos dicho que Bacon fue un enciclopedista y como tal se ocupó de una gran variedad de temas pero lo hizo en forma bastante desordenada. Acostumbraba a reescribir algunos de sus temas muchas veces y de utilizar el mismo material una y otra vez en diferentes formas. Este es el motivo principal que dificulta la tarea de ordenar su bibliografía. Una manera de hacerlo es utilizar la secuencia cronológica de su obra.

c. 1243. *Epistola de accidentibus senectutis*. Probablemente comenzada antes de 1236; dedicada a Inocencio IV (1243 – 1254). Veinte años después de la muerte de Bacon, Arnaldo de Villanova le dedicó al Rey de Nápoles un libro titulado *De Conservatione juventutis et Retardatione senectutis* donde hay párrafos enteros copiados del capítulo *De juvene a senectute tardando, et sene ad juventem reduciendo Liber*, de Bacon.

<sup>136</sup> Santo Tomás adaptó la definición aristotélica de hombre como animal racional que busca la felicidad a través de la virtud, pero en vez de referirla a la virtud griega, como la plena correspondencia entre lo que un objeto — humano o no — cumple y el fin para lo que fue creado, por la virtud teologal. Esa definición de Aristóteles es la que sostiene el cristianismo hasta el presente.

c. 1236 – 1251 (probablemente entre 1245 y 1247). *Quæstiones in Aristotelis metaphysica* y una discusión sobre un texto pseudo aristotélico *Quæstiones super librum de plantis*.

c. 1256 – 1266. *De speculis comburentibus*, que trata sobre los espejos cóncavos y su capacidad de producir ignición. También en esa época escribió un tratado sobre el arte y la naturaleza: *De mirabili potestate artis et naturæ* (capítulos 1 a 6).

1263 – 1265. *Comptus naturalium*, Un tratado sobre el calendario, en tres partes.

Antes de 1266. Comenzó la compilación de su *Compendium philosophiæ* (o *Scriptum principale*). Un fragmento de la parte metafísica, *Metaphysica de viciis contractis in studio theologiæ* fue, ciertamente, escrita en 1266 o antes. El *Compendium philosophiæ* iba a consistir en cuatro volúmenes con el tratamiento de seis ciencias (de ahí, otro nombre original que propuso para esa obra fue *Liber sex scientiarum*); a saber, vol. 1, la Gramática y la Lógica; vol. 2, Matemáticas; vol. 3, Física; vol. 4, la Metafísica y la Moral. Probablemente, cuando recibió la orden de Clemente IV (mandato papal del 22 de junio de 1266<sup>137</sup>) Bacon ya se había dado cuenta que su plan era demasiado ambicioso y había utilizado parte del material para comenzar a escribir la *Opus majus*, un tratado enciclopédico de varias ciencias pero de desarrollo más acotado.

1266 – 1267. *Opus majus. Tractatus de multiplicatione specierum* (posiblemente un poco antes). *Opus minus. Opus tertium*.

*Opus Majus* estaba dividida en siete partes: (1) Causas de error; (2) Filosofía vs. teología; (3) El estudio de las lenguas; (4) Matemáticas (incluyendo astronomía, música, geografía, etc.); (5) Óptica o perspectiva; (6) La ciencia experimental; (7) La moral.

El *Tractatus de multiplicatione specierum* es un tratado de Física que trata sobre la propagación de la fuerza y la acción a distancia. Fue escrito, probablemente, antes de 1266 y, posiblemente era una parte del *Compendium philosophiæ*. Una copia del *Tractatus* fue enviada al Papa junto con la *Opus majus*.

*Opus minus* fue a la vez una introducción y un complemento a la *Opus majus*. Sólo se conocen fragmentos de esta obra. Contiene notas adicionales sobre Astrología (*De notitia caelestium*) y sobre los principales puntos de la *Opus majus*. Se ocupa de algunos temas de la alquimia: *In enigmatibus* que es un tratado de Alquimia práctica; *De rerum generatione de Elementis*, que es una exposición de lo que él llamó “Alquimia especulativa” y de Medicina (*Remedia studii*).

*Opus tertium* era una obra de la misma naturaleza que la anterior, es decir, una especie de suplemento al *Opus majus*. Se ocupa de las relaciones de las diferentes ciencias entre sí, con la física (el vacío, el movimiento y el espacio), las matemáticas, la alquimia, la astronomía, etc.

1271. *Compendium studii philosophiæ*. Esta fue su última obra.

En lo atinente a la Astronomía, estaba muy al tanto de las concepciones griega y árabe. Pero nunca pudo decidirse entre el modelo de Ptolomeo y el de Abū Ishaq Nūr al-Dīn al-Bitrūjī. Si bien consideraba que el sistema de Ptolomeo se adaptaba mejor a las observaciones, el de al-Bitrūjī era más consistente con los principios de la filosofía natural.

<sup>137</sup> Algunos historiadores sostienen que este mandato fue el segundo mandato que emitió el Papa. El primero habría sido secreto y en él Clemente IV le había pedido que escriba una enciclopedia abarcativa de todas las ciencias.

Bacon, creía en la Astrología y fue un estudioso de la misma. Sostuvo que había que distinguir entre una Astrología legítima y una prohibida a la que consideraba mera superstición. Sobre Astrología escribió *Tesaurus spirituum*, cuatro tratados sobre las distintas influencias de los planetas.

En lo que respecta a la Mecánica, conoció algunos de los escritos de Jordanus Nemorarius (*De ponderibus; Elementa ponderis super demonstrationem*) e investigó temas tales como la fuerza y su expresión matemática y la imposibilidad de la existencia del vacío. Siguiendo a Adelard de Bath, explicó la imposibilidad de vacío mediante una teoría de la continuidad universal. Por otro lado lo usó como argumento en contra de la pluralidad de los mundos. Le dio considerable importancia a los problemas relativos a la llamada “acción a distancia” y trató de interpretar el fenómeno no sólo para acciones mecánicas sino también la manera en que se transmite la luz y, especialmente en Astrología, para tratar de dar una explicación del cómo se transmiten las influencias de los cuerpos celestes sobre el ser humano.

También escribió varios tratados sobre Óptica. Sus concepciones estaban basadas, esencialmente, sobre las de Alhazen. A las ideas de al-Haytham les agregó pequeñas adiciones y aplicaciones prácticas. Hizo experimentos con espejos y lentes, principalmente lentes para hacer igniciones y previó — vagamente — la posibilidad de construir tanto el microscopio compuesto como el telescopio. Sus ideas influyeron sobre Leonard Digges, (1515 – 1559) el inventor del teodolito. Tuvo una cierta comprensión de la aberración de esfericidad y de que se podía corregir mediante el uso de superficies transparentes paraboloideas e hiperbólicas. A diferencia de Grosseteste sostuvo que el pasaje de la luz a través de un medio no puede ser instantáneo. La luz no es una emanación de partículas sino la transmisión de un movimiento (*Opus majus*, Bridges, Vol.2, 72) Sin embargo, esto está expresado de manera poco precisa como para ser considerado una anticipación de la teoría ondulatoria de la luz. La Óptica lo apasionaba y gastó una considerable cantidad de dinero en esos experimentos ópticos. Le envió una carta al Papa para inducirlo a que él mismo experimentase (*Opus tertium*, Brewer, 111).

Su interés por la alquimia está suficientemente demostrado por el hecho de que uno de los cuatro libros de su *Compendium philosophiae* está completamente dedicado a la misma, por la cantidad de espacio que se le da a la alquimia en la *Opus minus* y la *Opus tertium*, y por el *Tractatus expositivus enigmatum Alchemiae* que le envió a Clemente IV.

Bacon escribió varios tratados médicos que derivan esencialmente de escritos árabes y que muestra poca originalidad (excepto uno de ellos). Como creía en la Astrología, insistió sobre los aspectos astrológicos de la medicina.

El más extenso y el más conocido de estos escritos, el *Liber de retardationes accidentium Senectutis*, también fue el más pobre. Fue escrito relativamente temprano (y probablemente fue su primera publicación) cuando sus ideas no se habían organizado por completo. Ya mencionamos que, a pesar de su mediocridad, fue plagiado, c 1309 – 1311, por Arnaldo de Villanova.

La filosofía de Bacon está plasmada en sus comentarios aristotélicos, en la *Metaphysica de vielis contractis in studio theologiae* (c. 1266) de la cual sólo ha quedado un fragmento en *Opus majus* y, finalmente, en su último trabajo *Compendium studii theologiae* (1292). Para apreciarla correctamente, se debe tener en cuenta que Bacon, más que se estrictamente un filósofo, fue un enciclopedista que, a partir del conocimiento presente intentó avizorar la evolución futura de la Humanidad. Esa complejidad resultante de tratar de prever el futuro a partir del conocimiento presente, hizo que sus disquisiciones filosóficas aparecieran muchas contradicciones, algunas aparentes y otras reales. Sus conocimientos de idiomas, le permitieron estudiar (y criticar) a fondo a filósofos, teólogos u eruditos como Aristóteles, San Agustín, Ishaq al-Isra'ill, Ibn Gabirol, Ibn Sina, Ibn Rushd, Pedro Alfonso, Grosseteste y otros franciscanos ingleses. Se lo puede encuadrar como agustiniano (es de-

cir, platonista), un realista audaz y pluralista, antagónico del tomismo. No obstante, admiraba profundamente a Aristóteles. En una época en la que los estudiosos de Aristóteles recurrían a las traducciones al latín, el excelente dominio de la gramática griega le permitió a Bacon tener un conocimiento más preciso de la obra del filósofo de Estagira.

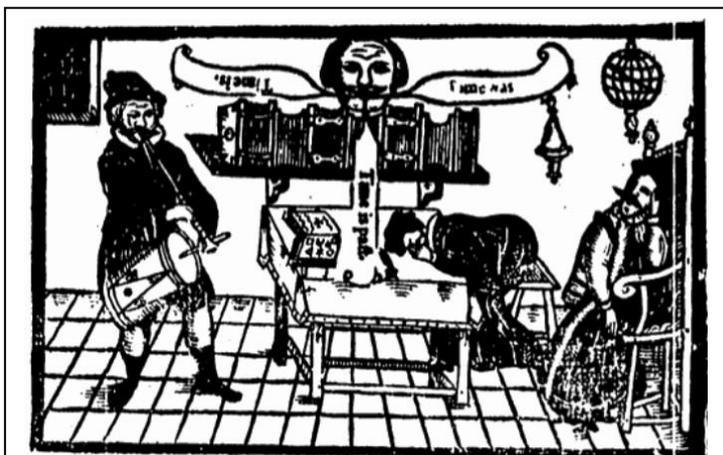


Figura 6.2. Imagen en la edición de 1630 del libro de Greene. Bacon y Bongay duermen mientras la cabeza de bronce dice "Time is" y "Time was".

Los experimentos hechos o sugeridos por Bacon, sus predicciones acerca de la factibilidad de producir inventos revolucionarios, no fueron apreciados en su época. Luego de su muerte, su obra se fue eclipsando y no pudo ser apreciada por un tiempo considerable. Pero desde fines del siglo XIV y principios del siglo XV sus obras fueron investigadas por distintos estudiosos y fueron mal interpretadas. Donde Bacon afirmaba que tal o cual experimento podía conducir a un determinado invento práctico, se interpretaba que él realmente lo había logrado. Con el tiempo surgió, poco a poco, la leyenda de que Fray Bacon era un taumaturgo<sup>138</sup> y se le fueron atribuyendo todo tipo de poderes mágicos.

Esta leyenda se remonta al siglo XIV y alrededor de 1385 en un país tan lejano como Dalmacia ya se hablaba de los poderes mágicos de Bacon<sup>139</sup>. Se decía de él que podía "convertir a los demonios en mujeres y hacer malabarismos con gatos entre los vendedores ambulantes". La leyenda creció rápidamente en los siglos XV y XVI, y fue rápidamente popularizada por una obra de Robert Greene (1560 -1592?): "*The Honorable Historie of Frier Bacon and Frier Bongay*" que fue publicada en 1594 y reeditada en 1630 y por un "libro de bolsillo" impreso en Londres a principios del siglo XVII, bajo el título "*The Famous Historie of Fryer Bacon Containing the wonderfull things that he did in his Life: Also the manner of his Death; With the Lives and Deaths of the two Coniurers, Bungye and Vandermast*". (Reimpreso en 1627 y 1630).

En el libro de Greene, Bacon y su asistente y camarada Bongay construyen una cabeza de bronce y, con la ayuda del Diablo, se proponen dotarlo de habla. Preparan todo de manera que la cabeza debe comenzar a hablar al mes, pero el Diablo impone la condición de que todo el trabajo se perdería si no lo oyen antes de que termine de hablar.

Bacon estuvo observando a la cabeza día y noche durante tres semanas, pero estaba tan cansado y al sentir que la somnolencia lo abatía, le encargó a sus sirviente Miles que lo despertara cuando la cabeza comenzara a hablar. Poco tiempo después, la cabeza dijo: "Es el tiempo". Pero Miles temió despertar a su amo por tan poco y dejó que siguiera durmiendo. Al cabo de un tiempo, la cabeza dijo "El tiempo fue" y volvió a quedar en silencio. Finalmente exclamó "El tiempo ha pasado" e inmediatamente se rompió en pedazos. El ruido despertó a Bacon quien al ver los restos de la cabeza maldijo duramente a su sirviente.

Estas historias actuaron como bolas de nieve y con el tiempo le fueron adjudicando a Bacon otros hechos inverosímiles.

<sup>138</sup> El término procede del griego y significa literalmente "que obra hechos maravillosos".

<sup>139</sup> Ese año, un tal Petrus de Trau escribió que Bacon era tan versado en filosofía natural que había hecho un puente condensando el aire entre Inglaterra y el continente y luego de cruzarlo, lo destruyó volatilizándolo el aire.

Sus conocimientos de las propiedades ópticas, mecánicas y magnéticas de las sustancias, lo llevaron a aventurar la creación de futuros inventos que aprovecharían esas propiedades. Previendo diversas formas en las que, mediante el conocimiento científico, se podría ejercer un dominio sobre la Naturaleza, en su visión de futuro pronosticó:

“Voy a hablar solamente de cosas realizadas por el arte y la Naturaleza, en las que no seré nada mágico y, en primer término, por la figuración del arte, se podrán hacer instrumentos de navegación sin hombres que remen, como grandes barcos que viajen a través de los ríos o los mares, que sean movidos por un solo hombre, y que navegarán más rápidamente que si estuvieran llenos de hombres. También carros que se moverán con una fuerza inenarrable sin que ninguna criatura viviente los conduzca. Del mismo modo, se podrá hacer un instrumento con el que se pueda volar, si uno se sienta en el medio del instrumento y enciende un motor mediante el cual las alas compuestas artificialmente, pueden batir el aire a la manera de un pájaro que vuela.”<sup>140</sup>

“Pero con las formas físicas sucederán cosas más extrañas, ya que mediante lentes ópticas y espejos enmarcados, una cosa parecerá ser muchas; como un solo hombre parecerá ser todo un ejército y un sol o una luna parecerán ser diversos. También se podrán articular lentes ópticas para que las cosas alejadas parezcan más cercanas a nosotros, como lo hiciera Julius Cæsar quien en las costas de Francia observó y marcó donde estaban situados los castillos en Inglaterra.”<sup>141</sup>

“En lo relacionado con un mayor tamaño de las formas, se deberán traer los haces de luz y acumularlos mediante diversas flexiones y reflexiones a cualquier distancia que queramos, para quemar todo lo que se oponga a ellos, como lo atestiguan los lentes ópticas que queman por delante y por detrás; pero lo más grande y principal de todas las cosas que imaginé, es describir los cuerpos celestes en forma corporal, de acuerdo con su longitud y anchura, y que puedan verse esos cuerpos en sus movimientos diarios. Para un hombre sabio, estas cosas son dignas de un reino.”<sup>142</sup>

“... Y carros armados con guadañas<sup>143</sup>, plenos de una maravillosa habilidad para funcionar sin el beneficio del animal y para encontrar todos los obstáculos y romperlos<sup>144</sup> como los que, en la anti-güedad usaron nuestros para combatir”.

“Es posible inventar un dispositivo, de pequeño tamaño pero de gran eficacia, tanto para bajar como para elevar los pesos más grandes, lo que podría tener aplicaciones en muchos accidentes. Por este medio, un hombre podría levantarla o bajarla para liberarse a si mismo o a sus camaradas del peligro de quedar aprisionado por un peso muy grande; y ese dispositivo sólo tendría tres dedos de alto y cuatro de ancho”<sup>145</sup>.

“Un hombre podrá hacer un instrumento por el cual, sin peligro corporal puede caminar en el fondo del mar u otras aguas. Eso fue, según lo aseguró el Astrónomo pagano<sup>146</sup>, lo que usó Alejandro Magno para descubrir los secretos de las profundidades.”<sup>147</sup>

<sup>140</sup> De la traducción al inglés del Capítulo IV *De mirabili potestate artis et naturae*, p. 533 *Opera Inedita*, edición de Brewer.

<sup>141</sup> *Ibid.* Capítulo V, p. 534.

<sup>142</sup> *Ibid.* Capítulo V, p. 535.

<sup>143</sup> *Currus falcatis*. Estos carros de guerra provistos de guadañas laterales de un metro que al girar con las ruedas cortaban todo lo que estuviera en la dirección de su movimiento, fueron usados por los persas en las llamadas guerras médicas contra los macedonios (490 – 478 a. C.). Leonardo da Vinci diseñó algunos de esos carros.

<sup>144</sup> A. G. Little. *Part of the Opus Tertium of Roger Bacon, Including a Fragment now Printed for the First Time*. Aberdeen, The University Press, 1912, p. 18.

<sup>145</sup> *Friar Bacon, his Discovery of the Miracles of Art, Nature and Magick*, traducción al inglés de *Epistola de secretis operibus naturæ et de nullitate magiæ*, por el Dr. John Dee, Simon Millar, London, 1659, p.18.

<sup>146</sup> Se refiere a Claudio Ptolomeo.

Este aspecto de la leyenda de Bacon ha sido reforzada por “el descubrimiento en un antiguo castillo en el sur de Europa” de un antiguo manuscrito escrito en clave y atribuido a Bacon. Si es auténtico, Bacon debe ser acreditado con la invención y el uso real del telescopio y del microscopio compuesto, y con el descubrimiento de los tubos seminíferos, los núcleos de las células, los espermatozoides, etc. Tales invenciones y descubrimientos en ese momento habrían sido realmente mágicos.<sup>148</sup>

El valor de la obra de Bacon no se debe a su estructura sistemática sino a su originalidad —que excedió largamente a la de sus contemporáneos—, y a su visión de que su método allanaría el camino para la ciencia futura. Así, mientras que Santo Tomás se convirtió en un símbolo de la cultura medieval, la obra de Bacon se considera precursora de la ciencia moderna.

### 6 – 3. Albertus Magnus

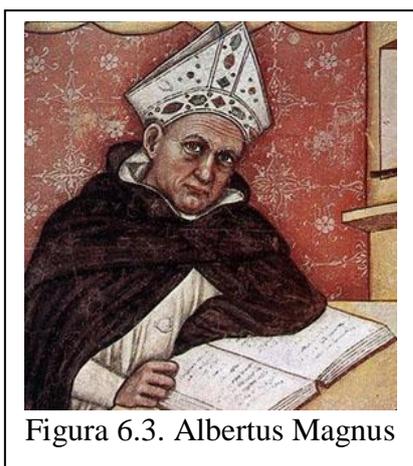


Figura 6.3. Albertus Magnus

Albrecht von Bollstadt, el hijo mayor del Conde de Bollstadt más conocido como Albertus Magnus, Santo y Doctor Universalis de la Iglesia, nació en Lauingen, Suabia, probablemente, en 1193<sup>149</sup> aunque Félix Archimède Pouchet ha sugerido que fue en 1205<sup>150</sup> y Padre Pierre Mandonnet, calculó que fue en 1206<sup>151</sup>. Albertus estudió en la Universidad de Padua y en la de Bologna y en 1223 tomó los hábitos en la congregación de Santo Domingo. Unos años más tarde fue nombrado lector o profesor en un convento de Colonia. En 1233 fue lector en conventos de Hildesheim y Friburgo y durante dos años en Ratisbona y en Estrasburgo.

Entre 1245 y 1248 fue docente en varios conventos dominicos de Alemania. Luego fue a París donde dio clases hasta 1248. Regresó a Colonia y en 1254 fue nombrado Provincial de la Orden de los Dominicos en Alemania. Ejerció el Obispado del Ratisbona entre 1260 y 1262 pero retornó a Colonia donde falleció el 15 de noviembre de 1280.

Fue filósofo, teólogo y docente y es considerado uno de los hombres más instruidos de la Edad Media. A diferencia de Roger Bacon, no sabía griego ni árabe, por lo que no pudo estudiar los textos originales de los filósofos, pero en su época ya estaban disponibles en latín casi todas las obras de Aristóteles, de Platón y de autores neo-platonistas. Hizo un estudio profundo del *Timæus* y del *Liber de causis*. Escribió una cantidad importante de tratados referentes a diversos temas de Teología, Filosofía y Ciencias naturales, aunque no escribió sobre Matemáticas. A pesar de mantener posiciones filosóficas y científicas opuestas, Roger Bacon lo comparó con Aristóteles, Avicena y Ave-

<sup>147</sup> *Friar Bacon, his Discovery of the Miracles ...* p. 18.

<sup>148</sup> William Romaine Newbold, *The Chipper of Roger Bacon* Isis, 11, 141-145.

<sup>149</sup> En su libro *Historia ecclesiastica* (1317) Bartolomeo Fiacconi, más conocido como Tolomeo da Lucca (1236 – 1327) afirmó que Alberto Magno tenía más de ochenta años cuando murió en 1280, y que cerca de tres años antes de su muerte había perdido en gran medida el control de sus facultades intelectuales, por lo que parece que hay pocas razones para cuestionar como fecha de su nacimiento, 1193.

<sup>150</sup> Pouchet, F. A., (1853): *Histoire des sciences naturelles au Moyen Âge, ou Albert le Grand et son époque*. J. B. Baillière, Paris, p. 210.

<sup>151</sup> In *Diet. Theol. Cath.*, (1909 –) Also *Revue Thomiste* V, 95, Siger de Brabant, 2nd edition (1911 and 1908), p. 36.

roes<sup>152</sup>. Entre los discípulos más famosos de Albertus se cuentan Santo Tomás de Aquino y Thomas de Cantimpré. Sus obras fueron usadas, durante siglos, como fuente de información.

Aunque Ptolomeo de Lucca menciona a Albertus Magnus y a Tomás de Aquino como illo durante el pontificado de Alejandro IV, (1253 – 1261), gran parte de los escritos del primero son, probablemente, anteriores a este período. Es de suponer que Albertus ya era famoso cuando el joven Tomás de Aquino viajó desde Italia a Colonia para estudiar con él, en 1244 ó 1245.

Vincent de Beauvais escribió el *Speculum naturale* alrededor del 1250 y en esa obra el autor cita muchos de los escritos de Albertus, por lo que deben haber aparecido antes de esa fecha. Entre los trabajos de Albertus citados por Vincent de Beauvais se encuentran: *De anima* (III, 41), *De sensii et sensato* (V. 108), *De somno et vigilia* (XXVI, 23), *De animalibus* (XVII, 71). El tratado sobre el sueño y la vigilia se encuentra en un manuscrito escrito en 1258<sup>153</sup>. Su famoso tratado sobre Mineralogía, *Liber de mineralibus et lapidibus*<sup>154</sup>, se considera escrito después de 1250, porque Vincent de Beauvais no lo cita, fue utilizado durante generaciones.

En 1256, a pedido del Papa Alejandro IV escribió un trabajo contra el averroísmo:<sup>155</sup> *De unitate intellectus contra Averroem*.

Las ideas filosóficas de Albertus son difíciles de encuadrar, debido a la falta de precisión en el uso de los conceptos. De hecho, no fue tan filósofo ni teólogo como Santo Tomás de Aquino, pero fue mucho mejor científico que este último. Sostuvo que el conocimiento científico no puede ser adquirido por la mera lectura de un texto antiguo y sin investigación, reconociendo que el experimentalismo tiene una cuota importante de valor.

Para tener una idea de la magnitud de la obra de Albertus, basta mencionar que en 1890 Auguste Borgnet recopiló la mayor parte de sus tratados en una colección de 38 volúmenes titulada *B. Alberti Magni, Ratisbonensis Episcopi, Ordinis Prædicatorum: Opera Omnia*.

<sup>152</sup> *Opus tertium*, ed. J. S. Brewer, p. 30, 1859.

<sup>153</sup> Bibliotheca Amploniana. (Erfurt Universität, Amplo) Quarto 296.

<sup>154</sup> Si bien este tratado sobre los minerales y las rocas ha sido siempre aceptado como auténtico, llama la atención por las opiniones de Albertus vinculadas a la magia y a la astrología. También hay algunos comentarios llamativos. Así, menciona que habiendo estado en París, uno de sus asociados vio que el Emperador Frederik II (1212 – 1250) tenía un imán que en vez de atraer al hierro lo rechazaba. Probablemente, luego de la muerte de Albertus, le fueron agregando comentarios y notas a sus manuscritos, lo que se comprueba al comparar los textos. Entre los diversos textos de que se dispone se encuentra el Manuscrito BN 6514 de la Biblioteca Nacional de Francia, escrito alrededor del 1300 y comentado por Marcelin Berthelot en 1893, los *Códices Latini Monacenses* (CLM) números 353, del siglo XIII. Folio 55: *Lapidarius*, folio 69: *liber de mineralibus*; CLM 540A, anno 1298, folios. 1 – 106, libri *V mineralium*; CLM 23538, siglos XII– XIV, 54 folios., *de mineralibus* libri V; Amplon. Quarto 189, de alrededor de 1300 – 1320, folios. 40-67, *liber de mineralibus et lapidibus*; Amplon. Quarto 293, siglo XIII, folios. 57 – 85, quatuor (*vel potius quinque*) *libri mineralium domini Alberti Magni*.

<sup>155</sup> Se pretendía encontrar raíces cristianas y no islámicas, para interpretar a aristóteles.

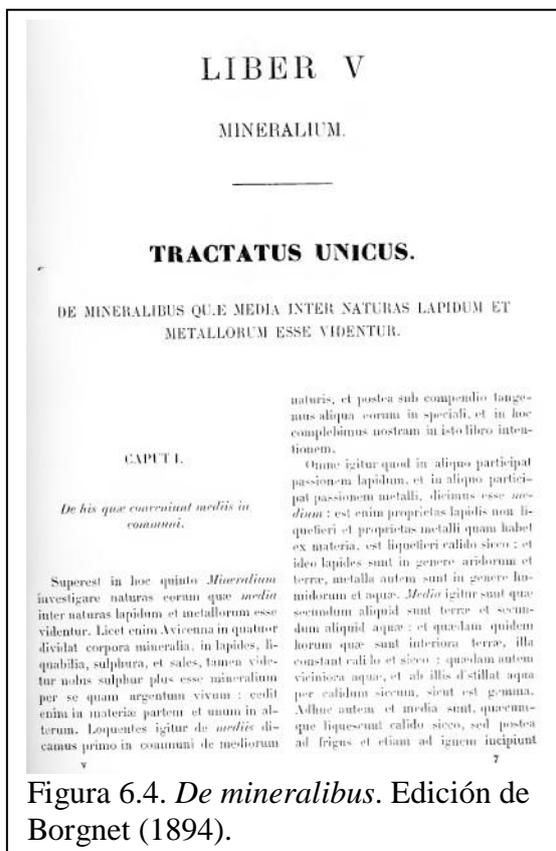


Figura 6.4. *De mineralibus*. Edición de Borgnet (1894).

un epítome sobre el *Almagesto* de Ptolomeo<sup>159</sup> y de una *Summa Astrologiae*<sup>160/161</sup>. Bastante a menudo se encuentra un breve compendio de toda la filosofía natural atribuida a Albertus, de los cuales el más común es la *Philosophia pauperum* o "Introducción a los libros de Aristóteles sobre Física, cielo, Universo, generación y corrupción, meteorología y el alma"<sup>162</sup>. Esos compendios son espurios o, si están basados sobre los escritos de Albertus, no agregan nada de importancia. Finalmente debemos notar que hay un grupo de trabajos que yacen en el borde de la ciencia natural y la oculta y que han sido considerados como espurios: tratados sobre Alquimia y Quiromancia, el *Speculum astronomiae*, el *De secretis mulierum*, el *Liber aggregationis* y el *De mirabilibus mundi*. Sobre algunos de ellos trataremos en otros capítulos.

Dentro de la vasta obra escrita por Albertus, se encuentra *De mineralibus* un tratado de Alquimia que contiene la descripción de un gran número de sustancias químicas (ácido sulfúrico, sulfatos, alum, arsénico, etc.) Este libro fue el resultado de múltiples investigaciones realizadas en mi-

<sup>156</sup> Björnbo hizo notar que hay un trabajo sobre espejos o catóptrica atribuido a "Albertus el Predicador" de varios manuscritos, pero que no está incluido en las ediciones de los trabajos de Albertus y que nunca ha sido publicado *Ah-handl. s. Gesch. d. Math.* 26, (1911), p. 139.

<sup>157</sup> CLM 453, Siglo XV, folio. 87.

<sup>158</sup> Corpus Christi 125, fol. 16r, "Incipit tractatus fratris Alberti de Colonia de plantationibus arborum". Colección Ashmole 1471, Fines del Siglo XIV, folios. 137-43, "Incipit tractatus Alberti de plantationibus arborum et de conservatione vini .../... Explicit tractatus Alberti de plantationibus arborum et de conservatione vini. aliqui tamen asserunt Euclidem hunc librum fecisse."

<sup>159</sup> Vienna 5292, Siglo XV, folios. 1r - 65v. Epitome in *Almagestum* Cl. Ptolomæi. Quizás sea el mismo que el CLM 56, 1434-1436 d. C., folios. 1-122, "Almagesti abbreviatum per mag. Thomam de Aquino," que inicia con "Omnium recte philosophantium. ..."

<sup>160</sup> Vienna 5309, Siglo XV, folios. I27r-S5v, *Summa astrologiae*, "In hoc tractatu brevi .../... habencia probabilitatis."

<sup>161</sup> Este autor no ha podido examinar o comparar a la mayoría de ellas; pero en los catálogos donde se dan las palabras de apertura y cierre, hay diferencias, al igual que en los títulos. Además, es posible que algunos de ellos puedan ser partes de otros tratados

<sup>162</sup> Este está incluido en la edición de Borgnet.

nas, afloramiento de minerales y laboratorios alquímicos. Albertus escribió que no pudo encontrar las opiniones de Aristóteles sobre los minerales. Es que Aristóteles no escribió sobre este tema. Quien sí lo hizo fue Teofrasto, su continuador en la Academia.

Además de los manuscritos mencionados anteriormente, el libro de los minerales se encuentra en varios manuscritos del siglo XIV, como los Manuscritos Digby<sup>163</sup> 119, 26; 183, i; 190, i; el manuscrito Ashmole<sup>164</sup> 1471, fols. 1 – 48; el manuscrito Merton<sup>165</sup> 285; el manuscrito S. Marco<sup>166</sup> XIII, 18, fols. 1– 31, "*Explicit liber de lapidibus secundum fratrem Albertum qui liber oculo intitularur*" ; CLM 16129, fols. 25 – 112; BN<sup>167</sup> 7156, 2; BN 7475, 8.

La primera edición impresa data de 1495. La obra está dividida en cinco libros. El primero trata sobre las rocas en general y está dividido en dos partes: la primera describe los caracteres generales y la segunda, los caracteres accidentales. El libro segundo trata sobre las piedras preciosas. Está dividida en tres partes: Las causas de sus poderes, la descripción de las especies por orden alfabético y sobre las piedras grabadas.

En este tratado, Albertus le atribuye a las gemas y rocas particulares, maravillosos poderes que están copiados, o son similares a las que Marbod de Rennes, (1035 – 1123), publicó en su *Libellus de lapidibus* o las descripciones de Costa ben Lucca, y Constantino el Africano. Sin embargo, vale la pena hacer notar del tema en general, lo que dice sobre sus virtudes ocultas. Él afirma que muchos dudan si las piedras realmente tienen las facultades para curar úlceras, contrarrestar los venenos, conciliar los corazones humanos, y ganar victorias. Tales escépticos sostienen que una sustancia compuesta, como una gema, sólo puede ejercer sus poderes teniendo en cuenta las facultades de los elementos que entran en su composición y las proporciones de esa composición. Albertus concede que los milagros realizados por medio de piedras parecen "más prodigiosos y maravillosos" que los producidos por sustancias simples, que la constitución física de las piedras no parece justificar la existencia de tales poderes en ellas, y que "la causa de la virtud de las piedras es, de hecho, oculta". Pero él sostiene que tales virtudes ocultas están bien establecidos por la experiencia, "ya que vemos que un imán atrae al hierro y la adamantita<sup>168</sup> restringe esa virtud."<sup>169</sup> Albert afirmó que vio con sus propios ojos como un zafiro eliminó las úlceras.

En la primera parte del Libro I, Albertus analiza las "causas" de la existencia de las rocas. Siguiendo a Aristóteles, al considerar la *causa material* sostiene que las rocas son una mezcla íntima de un cierto tipo de tierra con un tipo de agua. En esa mezcla predomina la tierra, porque todas las rocas son "pesadas y volcadas sobre el agua se hunden hasta el fondo". Aún ciertas piedras como la piedra pómez) que flota en el agua, al reducirla a polvo, también se hunde en el agua. Para justificar la existencia del agua en las rocas, citó el ejemplo de Avicena, que para formar un ladrillo se necesita arcilla seca y agua.

En cuanto a la *causa eficiente*, Albertus afirmó que en la generación de una roca existe una conjunción de múltiples factores: una materia apropiada, un lugar adaptado, una acción específica proveniente de los astros<sup>170</sup> y un poder formativo específico, como el semen característico de una espe-

<sup>163</sup> *Catalogi Codicum Manuscriptorum*, Bibliothecæ Bodleianæ, University of Oxford.

<sup>164</sup> Colección de manuscritos de la Oxford, Bodleian Library.

<sup>165</sup> Merton College, University of Oxford.

<sup>166</sup> Biblioteca Medicea Laurenziana. Convento de San Marco. Florencia.

<sup>167</sup> Biblioteca Nacional de Francia.

<sup>168</sup> Mineral mitológico al que se le asignaban poderes excepcionales.

<sup>169</sup> *Mineralium*, II, i, 1.

<sup>170</sup> Albertus señaló que la reproducción de esa acción astral, es el principal obstáculo que debe vencer el alquimista para lograr la transmutación.

cie. Ese poder dispone de dos medios de acción: el calor, que controlado por el poder, regula la humedad de la roca y el frío que provoca la contención del agua en la roca.

Cada especie mineral tiene una forma, un aspecto y ciertas propiedades que resultan de su poder formativo específico. El conjunto de todos estos rasgos constituyen la *causa formal* de esa especie.

En cuanto a la *causa final*, Albertus afirmó que no da lugar a discusiones “en las ciencias naturales la forma es ella misma un fin”.

Imbuido en las concepciones imperantes en su tiempo, no pudo dejar de creer en las propiedades mágicas de las piedras preciosas. Así escribió “se dice que la esmeralda viene de los nidos de los grifos”<sup>171</sup>. Él agregó que una experiencia de su propio tiempo probó que esta gema “si es buena y verdadera” no permite continuar firmemente la relación sexual<sup>172</sup>. Por eso, el Rey de Hungría, que llevaba un anillo con una esmeralda sobre su dedo, cuando fue al aposento de su esposa, rompió la esmeralda en tres piezas. “Y es probablemente por eso que se dice que esta piedra inclina a quien la lleva a la castidad”

El libro tercero está dedicado a los metales en general. Se divide en dos partes: la primera trata sobre la constitución de los metales y su obtención y la segunda sobre las características de los metales (fusión, solidificación, maleabilidad, etc.) El cuarto libro trata de los diferentes metales en particular, donde hace una descripción de las propiedades de los siete metales conocidos en su época: mercurio, plomo estaño, plata, cobre oro y hierro. El libro quinto está dedicado a las sustancias que se dicen intermediarias: sal, azufre, alumbre, marcasita (un sulfuro de hierro), natrón (carbonato de sodio), óxido de cinc, electrum.

En cuanto a la constitución de los metales, Albertus sostuvo que, al igual que las rocas, están constituidos por tierra y agua, siendo muy importante la proporción de esta última ya que, mientras que las rocas no son fusibles, los metales funden a mayor o menor temperatura según la proporción de agua que contengan. Siguiendo a Avicena, afirmó que en el interior de los metales se forman dos intermediarios, el azufre y el mercurio los que, según sus proporciones expresan las características externas de cada metal. Él resaltó la ubicuidad del azufre en los minerales y en los yacimientos, así como su reactividad, especialmente al estado fundido. También detalló las propiedades del mercurio, en particular su capacidad de formar amalgamas.

Influenciado por la creencia en las propiedades mágicas de las piedras preciosas, Albertus cuenta una historia como experiencia personal a fin de ilustrar “los muchos efectos de las rocas y las plantas que se conocen por la experiencias y por las cuales los milagros funcionan”. El incidente trata con una esmeralda y un sapo, un animal que uno inferiría que estaría sujeto diariamente a los experimentos de Albertus: “Estaba contemplando una esmeralda pequeña pero de gran belleza. Cuando estaba probando sus virtudes, alguien se adelantó y dijo que si con la esmeralda se trazaba un círculo alrededor de un sapo y luego se colocaba la gema frente a los ojos del sapo, podían suceder dos cosas; si la esmeralda tenía una virtud débil, se quebraría por la mirada del sapo o, si la gema estuviera en la plenitud de su vigor natural, el sapo reventaría. Sin demora, se colocó un sapo dentro del círculo trazado por la esmeralda y al mantenerla frente a la vista del sapo, al cabo de unos instantes se quebró como una nuez y parte de los trozos voló fuera del círculo. Luego el sapo comenzó retroceder como si se hubiera liberado de la influencia de la esmeralda.”<sup>173</sup>

<sup>171</sup> II, ii, I7. (El grifo es un animal mitológico cuya parte superior del cuerpo es de un águila y la parte inferior es de un león).

<sup>172</sup> II, ii, 11.

<sup>173</sup> *De veget. et plantis*, VI, ii, i. “Smaragdus enim nuper apud nos visus est parvus quidem quantitate et mirabiliter pulcher, cuius cum virtus probari deberet, ad stitit qui diceret, quod si circa bufonem circulus smaragdus fieret et postea

En el tercer libro, referido a los minerales, Albertus criteriosamente discute sobre la Alquimia citando, especialmente, a Hermes y a Avicena. Él afirmó que de todas las artes, la Alquimia es la que más cerca imita a la Naturaleza.<sup>174</sup> Albertus se refiere a los diversos metales como especies distintas y apenas acepta las afirmaciones de Hermes, Gilgil, Empédocles, y otros alquimistas que en cada uno de los metales hay varias especies y naturalezas, unas manifiesta y otra oculta<sup>175</sup>, una externa y otra interna, una superficial y otra profunda. Albertus entonces considera la observación de Avicena —erróneamente atribuida por algunos a Aristóteles— que los alquimistas no pueden alterar las especies, pero puede hacer que parezcan iguales, como cuando colorean el cobre de manera que parezca ser oro.<sup>176</sup> Sin embargo, Avicena también había remarcado en su “Alquimia” que las especies quizás puedan ser reducidas a su primera materia y a continuación con la ayuda de la técnica, transformarse en las especies del metal deseado.

Albertus creía que, así como los médicos a través de sus medicinas purgan la materia corrupta y luego restauran la salud, así los hábiles alquimistas puedan purificar una gran masa de mercurio y azufre, los que de acuerdo con Avicena eran los materiales constituyentes de todos los metales, y luego combinarlos en una relación apropiada de elementos y virtudes celestiales para obtener la composición del metal que ellos quisieran obtener<sup>177</sup>. Pero aquellos que sólo colorean de amarillo a un metal blanco, mientras las especies de este último permanecen en el material son, indudablemente, impostores y no hacen verdadero oro o verdadera plata. Lamentablemente, en mayor o menor medida, la mayoría de los alquimistas proceden de esta manera y Albertus sometió al fuego oro hecho por ellos y encontró que, después que el metal pasó la prueba de fuego unas seis o siete veces, fue finalmente consumido.

Albertus sugirió que la transmutación de los metales por medio del arte humano es posible, aunque consideró que los alquimistas no empleaban el método correcto. Repitió el argumento de Alejandro de Afrodisia, que las virtudes ocultas de gemas se deben a la mezcla de los elementos presentes en ellas, como lo prueba el funcionamiento de la alquimia, en los que las sustancias simples afectan poco, pero cuando se mezclan producen efectos realmente maravillosos<sup>178</sup>. Y como un ejemplo de la influencia ejercida por la Luna, afirmó que los alquimistas calificados trabajan durante el encerado de la luna, porque entonces producen metales más puros y gemas más puras, sobre todo cuando son muy expertos y no se apresuran en sus operaciones, sino que esperan el momento oportuno en el que el proceso se verá favorecido por la virtud celestial<sup>179</sup>. En sus tratados aristotélicos, él no trató sobre la Alquimia plenamente, aparentemente porque la consideró como un tema separado de la física, lindante con el campo de la magia natural.

En su libro *La Chimie au Moyen Age*,<sup>180</sup> Berthelot da la impresión de que hay un solo tratado de Alquimia atribuido plenamente a Albertus Magnus. Este lo describe como un trabajo serio y metódico pero dado a conocer poco después de la muerte del autor.

---

*lapis oculis bufonis exhiberetur, alterum duorum, quod aut lapis frangeretur ad visum bufonis si debilem haberet lapis virtutem, aut bufo rumperetur si lapis esset in naturali suo vigore: nec mora factum est ut dixit et ad modicum temporis intervallum, dum bufo adspiceret lapidem nee visum averteret ab ipso, crepitare coepit lapis sicut avellana rumperetur et exilivit ex annulo una pars eiusdem, et tunc bufo qui ante stetit immobilis, coepit recedere ac si absolutus esset a lapidis virtute.”*

<sup>174</sup> III, i, 2.

<sup>175</sup> *Mineral*, III, i, 8.

<sup>176</sup> *Ibid.*, III, i, 9.

<sup>177</sup> *Ibid.*, III, i, 4.

<sup>178</sup> *Mineral.*, II, i, 5.

<sup>179</sup> *De causis elementorum*, I, ii, 7 (Borgnet, IX, 615).

<sup>180</sup> I, 290.

En los manuscritos parece haber varias, casi una docena, de diferentes obras de Alquimia atribuidas a Albertus<sup>181</sup>. Sólo en la biblioteca de la Universidad de Bolonia parece que hay seis tratados alquímicos diferentes atribuidos a Albertus, y tres de ellos en un solo manuscrito<sup>182</sup>.

En un manuscrito del Museo Británico, hay uno bastante largo "*Practica of Brother Albert in alchemy which is called by the same the Secret of Secrets*", en siete libros. Sin embargo, el texto cita la obra de Albertus *De mineralibus*, donde se indica que, en general, los latinos han descubierto muy poco por sí mismos de forma experimental mediante la Alquimia, sino que han sido dependientes de traducciones de otras lenguas, pero que "Albert, de Ratisbona, fue la corona de los latinos "estudiado y descubierto algunos secretos por la experimentación, de los cuales da testimonio en su *De mineralibus*."<sup>183</sup>

En realidad, Albertus está citado en una lista de los viejos maestros que trabajaron en este arte —Alejandro Magno, Dioscórides, y otros. En el Museo Británico hay otro manuscrito, mucho más breve, atribuido a Albertus Magnus: "Sobre las cosas ocultas de la Naturaleza."<sup>184</sup>

Lo que parece ser otro breve tratado sobre Alquimia atribuido a Albertus se encuentra en un manuscrito de la Biblioteca de Cambridge. El mismo concluye con la declaración: "Y yo Albertus digo que he probado estas dos operaciones, y que no hay otro trabajo perfecto hecho por mí, excepto estas dos obras, las que son verdaderas. También Euclides y muchos filósofos están de acuerdo conmigo al afirmar que todo el valor de este arte consiste en Mercurio y la Luna y en el Mercurio y el Sol, y usted debe saber que todos los demás son vanos e ilusorios. A Dios Gracias".<sup>185</sup>

De estos diversos tratados de Alquimia atribuidos a Albertus que ahora consideraremos con más detalle, hay uno que se ha incluido en las ediciones de sus obras, y, probablemente, el más genuino de todos ellos. Se atribuye a Albertus en una lista manuscrita de los escritos de los dominicos elaborados antes de 1350, y también por Pignon. También es un tratado inusualmente inteligible para una obra de alquimia y el que mejor se presta para una descripción y resumen.

Después de una apertura en tono devoto con alabanzas a Dios y la invocación de su ayuda, el autor procede a contar cómo fue atravesando muchas regiones, provincias, ciudades y castillos trabajando mucho por el bien de la ciencia que se llama Alquimia, y cómo fue inspeccionado diligente-

<sup>181</sup> Se han examinado y comparado la mayoría de ellas; pero en los catálogos donde se dan las palabras de apertura y cierre hay diferencias, al igual que en los títulos. Además, es posible que algunos de ellos puedan ser partes de otros tratados.

<sup>182</sup> MS 138, Siglo XV, folios. 171-83, "Semita recta fratris Albert! Magni"; folios. 233-5, "Speculum secretorum philosophorum Alberti Magni de secretis naturæ," apertura, "Ad instructionem multorum" y cierre, "penuriam librorum"; folios. 235-7, "Liber xii aquarum Alberti Magni," apertura "Ovorum vitella," y cierre, "omne corpus."

En la misma biblioteca MS 139, Siglo XVI, además de Semita recta en los folios 3-35— esta vez, Albertus no es nombrado como autor — ocurre en los folios. 107-21, "Incipit libellus ab Alberto compositus. Quoniam ignorantis .../... dum regnat lupiter." También en MS 270, II, Siglos XV – XVI, folios. 77, "Alberti Magni Alchymia. Callixtenes unus philosophorum .../... siccum."

<sup>183</sup> Arundel 164, escrito in 1422, folios 127V-131, "De occultis nature," apertura "In mutue allocutionis tractatu," y cierre "sicut qui cum arcu sine chorda sagittat deo gratias."

<sup>184</sup> CUL 220, Siglo XVI ocupando dos hojas en una miscelánea alquímica. Su apertura es, "Aqua Mercurius et oleum sulphuris. Opus istud multis diebus abscondebatur ..."

Posiblemente, los siguientes sean también tratados distintos. Pero Berthelot no encontró sus Incipits ni sus Explicits: CLM 12026, Siglos XV, folio. 32, Alberti de Colonia ars alchymiae; Wolfenbüttel 676, anno 1444, siguiendo a la Semita recta en los folios. 34-36, Varia Alberti Magni chymica; Riccard. 119 siguiendo a la Semita recta, que lleva el No. 32 en esta miscelánea experimental, viene con el No.33, una Alchymia atribuida a Albertus Magnus, mientras que el segundo tratado como el No. 37 (al folio. 1771) es Alberti quidam Tractatus.

<sup>185</sup> Está incluido en el vol. 21 de la edición of Lyons, 1651, por R. P. Jammy; y por Borgnet, vol. 37, 545-73. Alberti Magni libellus de alchymia. Preciamente ha sido impreso en Basilea, 1561, y Urcel 1602-1608, Theatrum chemicum, pp. 485-527. Es lo mismo que el tratado llamado Semita recta in the MSS. Otro MS sobre ello está en Corpus Christi 226, Siglo XV, folios. 59-69.

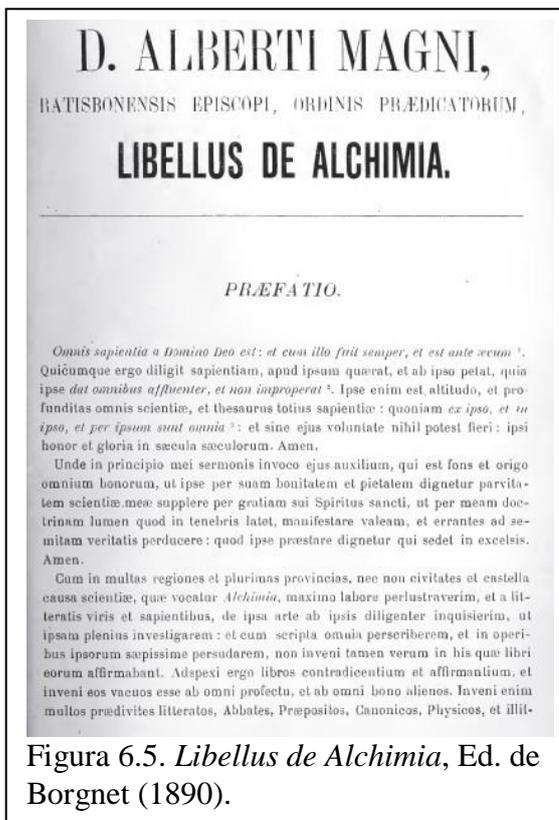


Figura 6.5. *Libellus de Alchimia*, Ed. de Borgnet (1890).

mente los libros sobre el tema escritos por los hombres de la erudición y del aprendizaje, pero no encontró nada cierto en ellos. También se encontró con "muchos hombres, académicos, abades, comandantes, canónigos, médicos y personas analfabetas muy ricos", que han gastado mucho dinero y trabajo sin resultado. No obstante, él no se desesperó, sino que mediante expensas y trabajo infinitos, manteniendo los ojos abiertos y en constante movimiento de un lugar a otro, encontró, por fin, lo que buscaba "no por una ciencia propia, sino por la gracia del Espíritu Santo".

Por ello, el más humilde de los filósofos, tiene la intención de escribir a sus amigos y asociados sobre este arte, verdadero, fácil e infalible, de modo que viendo no vean y oyendo no entiendan. Y les conjura para mantenerlo en secreto y no mostrar su libro a los tontos.

Después de este prólogo, el primero de los cincuenta y siete capítulos, en su mayor parte breves, en el que el tratado se divide, enumera varios "errores" que han hecho que los esfuerzos anteriores de los al-

quimistas sean un fracaso. El autor también apunta a una nota experimental clave para su trabajo, afirmando que después de ver tantos fallos, decidió escribir trabajos verdaderos y aprobados y lo mejor que todos los filósofos tienen para ofrecer: trabajos en las que él se ha ocupado y que él ha probado experimentalmente y que no escribiría nada que no haya visto con sus propios ojos.<sup>186</sup> Después, sugiere una derivación de la palabra "alquimia"<sup>187</sup> y una teoría sobre el origen de los metales y para "la prueba de que la alquimia es un verdadero arte"<sup>188</sup>, el autor establece ocho preceptos para los alquimistas deben seguir. El alquimista debe trabajar en silencio y en secreto o él podrá ser arrestado por falsificador. Él debe tener un laboratorio, "una casa especial lejos de la vista de los hombres en la que haya dos o tres habitaciones en las que pueden llevarse a cabo los experimentos."<sup>189</sup> Él debe observar el tiempo y las estaciones; por ejemplo, el proceso de sublimación no se puede realizar con éxito en invierno. Él debe ser un trabajador diligente, perseverante, incansable y constante. En sus operaciones debe observar el debido orden: primero la trituración; entonces la sublimación; tercero, la fijación; cuarto, la calcinación; quinto, la disolución; sexto, la coagulación; procesos que se explican más adelante en los capítulos 30 a 35. Todos los vasos que utiliza deben ser de vidrio. Él debe luchar tímidamente contra príncipes y potentados, y, por último, debe tener un montón de dinero. Luego los capítulos cuatro a ocho tratan el tema de los hornos, y el capítulo nueve dice cómo esmaltar vasijas de barro.

En el décimo capítulo, además de discutir cuáles son los cuatro "espíritus" de los metales que los tiñen o les dan color, el autor expresa su opinión en cuanto a la medida en que los metales pueden ser transmutados.

<sup>186</sup> "Videns ergo tot errare iam decrevi scribere vera et probata opera et meliora omnium philosophorum in quibus laboravi et sum expertus nihil aliud scribam nisi quod oculis meis vidi." O quizás él haya querido decir que sus trabajos eran mejores que los de todos los filósofos.

<sup>187</sup> Alchimia est ars ab Alchimo inventa et dicitur ab archymo Graece quod est massa Latine, cap. 2.

<sup>188</sup> Cap. 3, "Probat artem Alchimiae esse veram." Hecho esto, el capítulo continúa con los ocho preceptos que siguen.

<sup>189</sup> "domum specialem extra hominum conspectum in qua sint duae camerae vel tres in quibus fiant operationes."

Albertus creía que los metales pueden ser producidos por la alquimia y que son equivalentes a los metales naturales en casi todas sus cualidades y efectos, salvo que el hierro alquímico no es atraído por la adamantita, y que el oro de la alquimia no estimula el corazón humano ni cura la lepra y que una herida infligida por el oro alquímico se hincha, mientras que una hecha por el oro natural no lo hace. "Pero en todas las demás operaciones, forjado, pruebas, y color, perdurará para siempre." En los dos capítulos siguientes el autor discute acerca de lo que es el Elixir y los tipos de medicamentos. Luego dedicó varios capítulos a la descripción de diversos minerales, productos químicos, tintes y colorantes, sustancias como el mercurio, el azufre, oropimente, arsénico, sales de amonio, sal común y varias otras sales, azul, minio, albayalde, etc. A continuación, nos instruye en diversos procesos tales como el blanqueamiento del mercurio o del azufre, del oropimente o del arsénico, la fabricación de polvos, la formación de soluciones y los procesos de destilación que, finalmente conducen, en los dos últimos capítulos, a dos breves recetas para la elaboración de los metales preciosos. El plan general de este tratado y su conformación son similares a muchos otros de Albertus. En este tratado, cabe destacar también la ausencia de la mística y de los procedimientos de magia.

En la obra de Albertus, ya hemos señalado algunos casos de maravillas realizadas mediante hierbas atadas al cuerpo o suspendidos del cuello. En su tratado sobre las plantas, él citó libros que tratan sobre ligaduras físicas<sup>190</sup> para que las plantas produzcan efectos divinos, algo con lo que la magia está especialmente vinculada. Sin embargo, en su tratado sobre los minerales, después de afirmar que las maravillas realizadas por las imágenes grabadas en las piedras no pueden ser explicados mediante las leyes de la ciencia física, sino que requieren conocimientos de "Astronomía" de magia y de nigromancia<sup>191</sup>, añade que las ligaduras y suspensiones de piedras parecen operar de forma natural y pertenecer más a la ciencia física.<sup>192</sup> Él cita a Sócrates, probablemente a través del texto de Costa ben Luca, en el sentido de que las ligaduras y suspensiones son uno de los cuatro tipos de conjuros, y que afectan a la mente, provocando depresión o euforia, por lo que afecta a la salud del cuerpo. Esta actitud algo escéptica parece influir poco en Albertus, ya que dice que, por el momento, sólo tiene la intención de tratar las ligaduras y suspensiones de las piedras, por lo que procede a enumerar ejemplos a lo largo de una página y media, procedentes en gran parte del tratado de Costa ben Luca. En su tratado sobre los animales, Albertus cita nuevamente a Costa ben Luca quien escribió que los perros no muerden al portador del corazón de un perro<sup>193</sup>. Otros dicen que no van a ladrar a alguien que tiene en su mano el diente de un perro negro " y, por eso, por la noche los ladrones llevan con ellos tal tipo de diente." En el libro de los sesenta animales —obra probablemente atribuida a Razi— Albertus encuentra que en pacientes que sufren de ictericia deben suspenderle del cuello un diente de perro.

Albertus no trata expresamente el poder de las palabras o encantamientos. Es raro que repita algún encantamiento y se debe recordar que las palabras que él citó del libro sobre los halcones fueron acompañados por una palabra de advertencia. Su creencia en el poder de los caracteres o imágenes grabadas en las piedras preciosas puede ser mejor tratarla en relación con su actitud hacia la astrología.

Otra de las obras de Alquimia atribuidas a Albertus Magnus fue recopilada por Petrus Bonus en su *Margarita preciosa novella*. (circa 1330) y se supone que fue completada por alguno de sus discípulos luego de su muerte. Sin abandonar el estilo de Albertus, la obra parece un poco más or-

---

<sup>190</sup> Él mismo menciona los "libro de los encantamientos de Hermes el filósofo y de Costa ben Luca" Parece que tenía en mente la "carta de los encantamientos, imploraciones y suspensión del cuello, de ben Luca, y el que Albertus usó para las ligaduras físicas en su tratado sobre los minerales.

<sup>191</sup> II, iii, 5.

<sup>192</sup> II, iii, 6.

<sup>193</sup> XXII, ii, 18.

denada al estilo de las obras sobre Alquimia de esa época. Fue impresa en Aldine<sup>194</sup> en 1546, en una edición de Janus Lacinius. En el texto, el redactor cuenta las enseñanzas de Albertus sobre diferentes temas. En el Anexo 1 de este capítulo podrá encontrarse un recorte de este texto, para comprender mejor sus características.

#### 6 – 4. Tomás de Aquino.



Figura 6.6. Santo Tomás de Aquino.

Tomás de Aquino nació en Roccasecca (en Campania) en 1225, en el seno de una familia noble. Fue educado en Monte Cassino y en Nápoles y tomó los hábitos en la Orden de los predicadores, en Nápoles, en 1244. Asistió a las clases y conferencias que dictaba Albertus Magnus tanto en París como en Colonia. En París estudió desde 1252 hasta 1259, luego de lo cual enseñó, hasta 1268, en diversos centros de la corte papal (Anagni, Orvieto, Roma y Viterbo). Durante este período estableció una amistad con William de Moerbeke. En 1269 regresó a París y en 1272 viajó a Italia. Falleció el 7 de marzo de 1274 en el Monasterio de Fossanuova, entre Nápoles y Roma.

Fue llamado por los eruditos “*Doctor angelicus, communis, Universalis*. Fue canonizado en 1323.

Muchos estudiosos lo consideran el príncipe del escolasticismo cristiano. En ese aspecto realizó una obra muy extensa desde 1252.

Estuvo muy influenciado por la filosofía musulmana, principalmente por al –Ghazzali y por Ibn Rushd, pero su punto de vista personal se oponía fundamentalmente al Averroísmo. También influyó en sus pensamientos la filosofía judía, especialmente a través de las obras de Šchlomoh ben Yehudah ibn Gabirol, Bahya ben Joseph ibn Pakuda y, por sobre todo, por Maimónides (Moshé ben Maimón). A pesar de su antisemitismo<sup>195</sup>, sus escritos fueron cuidadosamente estudiados y analizados por escritores judíos, como se comenta más adelante.

Aprovechando las nuevas traducciones del griego al latín que preparó William de Moerbeke, muchas a su propio requerimiento, se convirtió en el más grande expositor cristiano de las doctrinas de Aristóteles. De hecho fue uno de los primeros filósofos cristianos que entendió a fondo estas doctrinas en toda su pureza en oposición a las fantasías del neoplatonismo.

A través de toda su actividad su objetivo fue conciliar el aristotelismo y la filosofía musulmana con la Teología cristiana. Si bien se interesó en la ciencia, fracasó por completo en entender su verdadero espíritu y métodos y no se le puede acreditar ninguna contribución científica. Su mente era demasiado dogmática para aceptar conocimientos que contravenían sus principios. Su maestro, Albertus Magnus, fue un hombre de ciencia más genuino aunque ninguno de los dos pudo superar a Roger Bacon en el empirismo científico.

<sup>194</sup> Imprenta de Venecia.

<sup>195</sup> Santo Tomás de Aquino, afirmó en *Summa contra gentiles* (aprox. 1258-1264): “Sería lícito mantener a los judíos, a causa de su crimen, en servidumbre perpetua y entonces los príncipes podrían considerar los bienes de los judíos como pertenecientes al estado. Los judíos son los esclavos de los príncipes”

Sus opiniones sobre Astronomía las tomó en parte de Simplicius de Cícilia (490 – 560) cuyos comentarios parece que le fueron presentados por Moerbeke y que Tomás incorporó a la doctrina cristiana de Occidente.

Él creía que la magia era real, pero maligna, y la distinguía cuidadosamente tanto de la ciencia como de los milagros cristianos. Sus opiniones sobre la Astrología y la adivinación le merecían la misma distinción.

Santo Tomás fue un expositor claro y contundente, ecléctico con respecto a sus fuentes, pero firme con respecto a sus concepciones dogmáticas, muy moderado en la redacción de sus manuscritos y lo más simple y económico posible en su enseñanza. Fuera de sus convicciones religiosas manifestó, a menudo, independencia de pensamiento.

Sus exposiciones no fueron demasiado originales, pero mostraron una congruencia admirable.

Entre sus obras, figura un comentario sobre los cuatro libros de Pedro el Lombardo (1254 – 1256), *Quæstiones disputatæ* (1256-1272); *Quæstiones quodlibetales* (1263-1272); Comentarios sobre el Timeo de Platón, sobre el filósofo romano Anicius Manlius Severinus Boëthius, sobre Dionisio el areopagita, el discípulo de San Pablo, sobre el *Liber de causis*. Sus trabajos más importantes fueron sus comentarios aristotélicos (*Peri hermeneias, Analytica Posteriora, Physica, De coelo et mundo, De generatione et corruptione, Meteorologica, De somno et vigilia*), escritos en Italia y en París y su famosa *Summa theologica*, que comenzó a escribir en 1267 y que a su muerte quedó inconclusa (su amigo, Fray Reginaldo de Piperino escribió un suplemento a la *Summa*)

Otros escritos importantes fueron *De principiis naturæ* (1255); *Summa contra Gentiles* (1258 – 1264), escrita por sugerencia del compilador de los decretos eclesiásticos Raymond de Penyafort, *De occultis operationibus naturæ* (1269 – 1272); *Compendium theologiæ* (1271 – 1273). Considerando que no llegó a sus cincuenta años, la masa de sus escritos es, realmente, notable.

A pesar de su antisemitismo, las ideas filosóficas de Tomás de Aquino llamaron la atención de muchos estudiosos judíos. Esto está probado por la existencia de unas cuantas traducciones al hebreo. Leone Romano (1292 – 1350) tradujo, al menos, uno de los tratados de Santo Tomás sobre las ideas, *Ma'amar ha-mashalim*<sup>196</sup>. Después de 1470, Elihau ben Iosef Chabillo tradujo las *Quæstiones disputatæ, Quæstio de anima, De animæ facultatibus*, bajo el título *Ma'amar be-kohot hanefesh*<sup>197</sup>; el tratado *De universalibus*, como *Ma'amar be-'inyan ha-kolel*<sup>198</sup>; y escribió un comentario y preguntas sobre el tratado del *ser y la calidad* al que tituló *She'elot ma'amar be-nimzá ubemahut*<sup>199</sup>. En 1490, Abraham ben Joseph ibn Nahmias tradujo los *Commentaries sobre Metafísica*. Jacob Zahalon (1630 – 1693) tradujo fragmentos de la *Summa contra gentiles* y Isaac ben Judah Abravanel (1437-1508) traduce otros fragmentos en su libro *Mifalot Elohim*<sup>200</sup>

Una de sus concepciones más originales fue su filosofía social y política. La explicó en su *Summa theologica*, en su comentario sobre la *Politica* de Aristóteles y en una obra, *De regimine principum*, que comenzó a escribir para la educación de Hugo de Lusignan, quien sería Rey de Chipre, obra que después de la muerte de Santo Tomás fue completada por su discípulo Ptolomeo de Lucca. Lo esencial de sus enseñanzas es que el Estado existe para el bienestar de sus ciudadanos y no que los ciudadanos existen para el bienestar del Estado; los individuos son la única realidad social; cada grupo debe subordinarse a sus miembros (*Oportet eundem finem esse multitudinis*

<sup>196</sup> “Artículo sobre los ejemplos”.

<sup>197</sup> “Artículo sobre las fuerzas del espíritu”.

<sup>198</sup> “Artículo sobre el todo”.

<sup>199</sup> “Preguntas respecto al artículo Sobre la existencia y la esencia”.

<sup>200</sup> “Las acciones de Dios”

*humanæ qui est hominis unius*) lo cual, para el siglo XIII era una verdadera declaración de derechos humanos.

En la concepción de Santo Tomás, la soberanía viene de Dios, pero reposa esencialmente en el pueblo quien la delega en un Gobierno. (*Regnum non propter regem, sed rex propter regnum*) y esa delegación es un contrato revocable.

Contraviniendo estos principios de democracia, Santo Tomás siguiendo a Aristóteles consideró justificada y útil a la esclavitud. El asimilaba a la esclavitud a otras formas de propiedad. Pero sostenía que el derecho al dominio pertenece a Dios ya que el hombre es solamente un usufructuario.

Al igual que Aristóteles (Política I, Cap. 3), condenó el hecho de cobrar interés por prestar dinero y consideró al comercio como una actividad repugnante (*turpe*).

Durante su vida, sus ideas no influyeron mucho e incluso fueron muy criticadas y en 1270 algunas de sus opiniones fueron censuradas por la Iglesia. En 1277, Stephen Tempier, el obispo de París, conjuntamente con la Universidad de París condenó muchas de las opiniones de Santo Tomás conjuntamente con las ideas de Averroes, condena que fue apoyada por la Universidad de Oxford por iniciativa del dominico Robert Kilwardby. No obstante ello, en 1278 la Orden de Santo Domingo adoptó como doctrina oficial las ideas de Santo Tomás. Esto provocó una fuerte oposición de la Orden de los franciscanos generando un cisma dogmático entre ambas órdenes. Poco a poco fueron prevaleciendo las concepciones religiosas del tomismo y en el Concilio de Viena (1311 – 1311) Tomás fue nombrado “Doctor communis”. Durante el Concilio de Trento (1545 – 1563) la *Summa theologia* fue considerada al mismo nivel doctrinal que las Santas Escrituras y un tiempo después el Papa Pio V lo declaró “el quinto Doctor de la Iglesia”<sup>201</sup>.

La culminación de la glorificación de Tomás de Aquino, ocurrió con la asunción del Papa León XIII, quien el 4 de agosto de 1879 emitió la encíclica *Æterni patris*<sup>202</sup> donde estableció que la filosofía de Tomás de Aquino era superior a cualquier otra filosofía de la Iglesia. Al cumplirse un año de esa encíclica, León XIII, mediante la epístola “*Cum hoc sit*” proclamó a Santo Tomás como el patrón de todas las escuelas católicas, fundó la Accademia Romana di Tommaso y ordenó la publicación de una nueva edición de las obras completas de Santo Tomás.

Si bien hay una cantidad enorme de manuscritos y libros de las obras de Santo Tomás, su producción ha sido compendiada (y superada) por *Sancti Thomæ Aquinatis doctoris angelici Opera Omnia iussu impensa que Leonis XIII P. M. edita* (48 vols., Roma 1882 – 1971).

En lo que hace a la Alquimia hay dos obras: un Tratado de la Piedra Filosofal precedido por una introducción y seguido por un tratado sobre el arte de la Alquimia.<sup>203</sup> También hay algunas indicaciones sobre la Alquimia en *De regimine principum* como parte de la instrucción del Príncipe Hugo.

La traducción al español de los nueve capítulos del Tratado de la Piedra Filosofal se presenta al final de este capítulo, como Anexo 2.

El tratado de Alquimia está dividido en ocho capítulos y es, esencialmente, un conjunto de directivas para operar en el laboratorio. Su texto traducido al español se presenta al final de este capítulo, en el Anexo 3

<sup>201</sup> Los cuatro anteriores fueron San Ambrosio, San Agustín, San Jerónimo y San Gregorio Magno.

<sup>202</sup> Esta encíclica, que establecía a Santo Tomás como la guía oficial de la Iglesia Católica Romana, dio un impulso considerable al movimiento neo-tomista.

<sup>203</sup> Según Robert Steele, (*Singer Studies*, vol.2, 149, 1921) este tratado es apócrifo y fue escrito por Fray Thomas capellán de Robert, el hijo de Charles de Anjou en 1296.

La obra de Santo Tomás fue esencialmente teológica. En los aspectos científicos él no fue muy riguroso, además de estar imbuido de concepciones religiosas que no le permitían estudiar la realidad con objetividad. Fue un brillante discípulo de Albertus Magnus y su producción intelectual fue casi tan prolífica como la de él.

A diferencia de Roger Bacon que fue augustiniano, tanto Tomás de Aquino como Albertus Magnus fueron aristotélicos y entre los méritos de Tomás se encuentra el haber adaptado la definición de hombre aristotélica a la religión cristiana.

Sócrates había dado una definición conceptual de hombre indicando un género próximo: animal y una diferencia específica con el resto de los animales: racional. En una sociedad como la ateniense del siglo V a.C. en la que se diferenciaba a los ciudadanos de los extranjeros y los esclavos, la afirmación de que el hombre es un animal racional, no establecía ninguna diferencia entre el ciudadano y el esclavo, de modo que no permitía justificar la esclavitud.

Aristóteles le agregó otra diferencia específica a la definición de hombre: “que busca la felicidad”. Según él, la felicidad humana sólo se alcanza a través de la virtud, pero con la idea de “virtud” imperante en su época: la adecuación de un objeto o un ser viviente a los fines para los cuales fue creado. Así un instrumento musical era virtuoso si sonaba perfectamente, una herramienta era virtuosa si cumplía adecuadamente con el fin con que había sido creada, un caballo era virtuoso si respondía exactamente a los requerimientos de su jinete. En ese sentido, un esclavo alcanzaría la felicidad siendo virtuoso, es decir, siendo un buen esclavo.

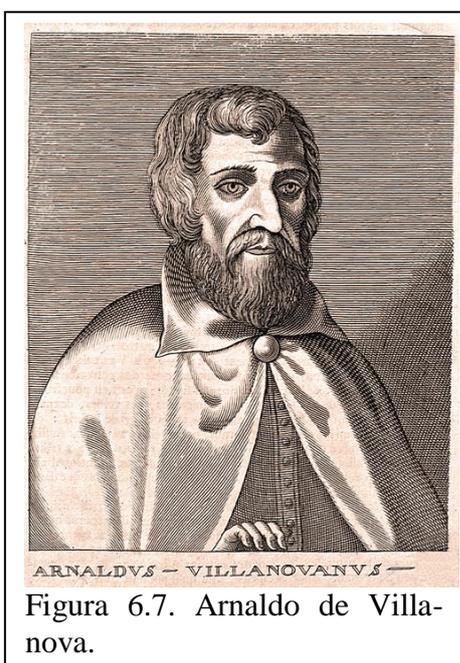


Figura 6.7. Arnaldo de Villanova.

Santo Tomás, tomó la definición de Aristóteles, pero sobre la base de lo dicho por Jesús: “mi reino no es de este mundo”. En ese reino, el hombre no sólo tendría momentos felices, como en la Tierra, sino que alcanzaría la felicidad permanente. Para ello debía ser virtuoso, pero no ejerciendo las virtudes en el sentido dado por los griegos, sino las virtudes teologales, — fe, esperanza y caridad —, y las cardinales, prudencia, templanza, justicia y fortaleza.

La incorporación del aristotelismo a la doctrina católica ha hecho decir a muchos que Santo Tomás convirtió a Aristóteles al catolicismo mil quinientos años después de su muerte.

## 6- 5. Arnaldo de Villanova

Gracias a los trabajos de Jean Astruc<sup>204</sup>, Barthélemy Hauréau<sup>205</sup> y de Marcelino Menéndez Pelayo<sup>206</sup> hoy se dispone de información fidedigna y bastante correcta de la biografía de uno de los personajes relevantes de la Alquimia de la Edad Media: Arnaldo<sup>207</sup> de Villanova, médico, filósofo, teólogo y alquimista catalán, nacido en Valencia en 1235. Provino de una familia muy pobre, porque el propio Arnaldo habló de su juventud como un tiempo de penurias. Sin embargo, aprovechó enormemente la educación que le dieron los dominicos y luego fue a estudiar Medicina a Nápoles. Además del conocimiento de latín, que en esa época era la

<sup>204</sup> Jean Astruc, (1767) : *Mémoires pour servir a l'histoire de la Faculté de Médecine de Montpellier*, Paris.

<sup>205</sup> Barthélemy Hauréau, (1824 - 1856) : *Histoire Littéraire de la France*, Vols. XVI – XXIII, Paris.

<sup>206</sup> Marcelino Menéndez Pelayo (1879): Arnaldo de Villanova, médico catalán del siglo XIII, Madrid. También *Historia de los heterodoxos españoles*, Madrid, 1880, I, 449-87, 720-81.

<sup>207</sup> También conocido como Arnau o Arnaldo.

lengua común, al menos para la escritura, que las personas educadas de Europa dominaban, estudió griego y con mucha dedicación el árabe. De esta manera pudo conocer a los clásicos griegos y a los eruditos musulmanes en sus propios idiomas obviando los errores, bastante comunes, de las traducciones de esos textos al latín.

Descolló en los estudios y su sentido común en la aplicación de los conocimientos hicieron que su fama como médico fuese incrementando con el tiempo por lo que a menudo era convocado para tratar a Papas, a Reyes y miembros de la nobleza, por lo que tuvo que viajar continuamente por toda España, por Francia e Italia y aún por el Norte de África. Su tarea como médico itinerante no le impidió escribir una gran cantidad de libros en lugares como Barcelona, Bolonia, Nápoles, Roma y Valencia y su producción literaria fue aumentando su fama. En 1285 fue llamado a atender al Rey Pedro III de Aragón que estaba agonizando, Arnaldo lo curó y el Rey lo premió con un castillo en Tarragona y una cátedra en la Universidad de Montpellier.

Arnaldo atrajo la atención de los estudiosos no sólo por su carrera como médico famoso sino también por su inserción en la historia eclesiástica, partidario de los franciscanos y amigo de los teólogos de París; por su idea de la venida del Anticristo, que le costó la cárcel; por su lucha contra la corrupción en la Iglesia; así como por sus concepciones sobre la magia y la astrología.

En 1292, Arnaldo escribió, tanto en latín como en hebreo, un tratado sobre el significado del sagrado nombre Tetragrámaton<sup>208</sup> y sobre el misterio de la Trinidad. Este y otros ensayos sobre religión no fueron bien recibidos por muchos teólogos, quienes habrían preferido que dedique sus esfuerzos a la Medicina.

En 1299 Arnaldo fue enviado a París por el Rey Jaime II de Aragón, en una misión diplomática ante el Rey Felipe el Hermoso. Al llegar a París fue arrestado por los oficiales de la Inquisición. Fue liberado bajo fianza al día siguiente, pero tuvo que enfrentar un juicio en París por haber escrito un libro sobre el arribo, a principios del siglo XIV del Anticristo, libro que fue considerado herético<sup>209</sup>. A pesar de su vigorosa protesta ante el Rey de Francia, Felipe el Hermoso, y ante el Papa, Bonifacio VIII no le fue permitido abandonar París hasta 1301, en que pudo viajar a Génova.

Sus problemas no terminaron allí. Él le había mandado a Bonifacio VIII una versión cuidadosamente modificada, en la que el Papa no pudo encontrar mucho qué reprenderle, pero sus enemigos en París contraatacaron enviándole al Papa una copia del original por lo que Arnaldo fue nuevamente encarcelado. Afortunadamente para él, en ese tiempo, Bonifacio tuvo un ataque debido a cálculos renales que Arnaldo pudo curar; de modo que las cosas se tornaron más felices para él. Bonifacio le regaló un castillo en Anagni donde, como ironía del destino, poco después el propio Papa fue encarcelado por agentes de Felipe el Hermoso y donde más tarde falleció.

Después de su liberación —y presumiblemente después de la muerte de Bonifacio en 1303—, Arnaldo viajó a Marsella y luego a Barcelona donde, en 1305, hizo un testamento, en el que estableció la manera de disponer de su biblioteca: ordenó varios legados caritativos y estableció una provisión de bienes para su esposa e hijos. Pero sus precauciones fueron prematuras ya que vivió seis años más. Esos años los aprovechó haciendo innumerables servicios para monarcas reinantes y para escribir libros sobre Medicina y Alquimia. Aprovechó el tiempo para viajar y en esos años visitó, entre otros lugares, Roma, Avignon, Montpellier, Bordeaux y Nápoles, donde se encontró con Raymundo Lullo. En 1311, en un viaje de Nápoles a Génova, falleció en alta mar.

---

<sup>208</sup> Tetragrámaton en griego significa "cuatro letras" es el teónimo יהוה en hebreo, mediante el cual se representa a Dios.

<sup>209</sup> *Tractatus de tempore adventu Antichristi*

Arnaldo de Vilanova expuso una curiosa mezcla de filosofía. En primer lugar, apreció el estudio de la filosofía natural y urgió a que se le diese una mayor consideración en la educación. Él también enfatizó el valor de la experimentación y se lamentó por la dificultad de hacer experimentos en Medicina. Por otro lado, si bien a veces repudió a la magia, sus trabajos abundan en ideas supersticiosas y no veía nada ilógico en tratar de curar las enfermedades con gemas mágicas y mediante la influencia de las estrellas. Aún al tratar a Bonifacio VIII por los cálculos renales incluyó la aplicación de un sello en forma de león. Además, escribió un tratado sobre sellos y amuletos. Después de dar detalles de cómo se deben grabar esos sellos, continuó enumerando sus virtudes.<sup>210</sup> “Este precioso sello, funciona contra todos los demonios, enemigos capitales y contra la brujería y es eficaz aumentando y favoreciendo la ayuda contra todos los peligros y las dificultades financieras (*vectigalibus*), contra los rayos, las tormentas y las inundaciones, contra la fuerza de los vientos y las pestilencias del aire. Su portador es honrado y temido en todos sus asuntos. Ningún daño puede ocurrir sobre el edificio o los ocupantes de la casa donde se halle. Beneficia a los endemoniados, a los que sufren de inflamación del cerebro, a los maníacos, a los que tienen anginas y dolor de garganta a los que tienen enfermedades de la cabeza o de los ojos y a aquellos cuyo reuma desciende del cerebro y, en general, digo que ahuyenta todos los males y confiere bienestar y permite que su portador se abstenga, en lo posible, de impurezas, lujuria y otros pecados mortales y deja que los lleve sobre su cabeza con reverencia y honor” Si este tratamiento portátil “todo en uno” falla, en los casos de manía no hay otra cosa para ella, sino perforar un agujero en el cráneo con el fin de permitir que los vapores nocivos que afectan al cerebro puedan escapar, y en el caso de la pérdida de la visión, esto puede ser debido nada más que al lavado demasiado frecuente de la cabeza.”

Arnaldo escribió diversos trabajos sobre Alquimia (y muchos más le han sido, erróneamente, atribuidos). El más largo de ellos, que es probablemente genuino se llama *El tratado de los tesoros. Rosario de los filósofos y El más grande secreto de los secretos*. Consiste en dos partes que tratan sobre la teoría y la práctica de la Alquimia, respectivamente. Se volvió muy popular y estableció el modelo para muchos otros “Rosarios” alquímicos posteriores. Al igual que muchos alquimistas, Arnaldo manifestó que no iba a ocultar nada ni retener nada, pero que el lector debía estar preparado para el razonamiento oculto y también debía suplementar el “Rosario” con una lectura de otros libros (y reflexionar sobre ellos). Él sostuvo que había adivinado el secreto común a Platón, Aristóteles y Pitágoras. Aceptó la teoría de que todos los metales están constituidos por mercurio y azufre, pero consideró al mercurio como el más importante de los dos elementos. Notó que al calentar azufre con un metal este último es atacado (por la oxidación del azufre en aire) por lo que consideró que estaba oculto en el mercurio. Según su hipótesis, sería posible preparar oro y plata solamente a partir de mercurio, si bien requeriría la introducción de una pequeña cantidad del metal precioso, necesaria para iniciar la reacción, como se diría hoy, para catalizarla. Arnaldo afirmó que el mercurio no puede ser sustituido por plomo y que el mejor mercurio, o *líquido mercurial*, era el que se exportaba de España en contenedores sellados con el sello español.

No está claro qué era esta *aqua vita* “mercurial”, pero Arnaldo escribió que para la transmutación de metales de base, hierro, estaño, plomo, cobre, etc. el líquido mercurial debía ser usado en la proporción de cuatro de líquido por uno de metal, mientras que para preparar el elixir la proporción debía ser doce de líquido a una de oro o de plata. El elixir así obtenido debía ser capaz de transmutar mil veces el peso del metal base en el metal precioso y que este pudiese resistir adecuadamente el ensayo. También describió otros métodos para obtener oro a partir de mercurio incluyendo uno que involucraba la separación del mercurio en los cuatro elementos mediante un fermento y luego recombinarlos en forma de oro. Para que este proceso fuera exitoso, los elementos a recombinar debían estar en proporciones de peso definidas: Así para obtener el oro se requeriría una razón de 1:1 entre el agua y el aire; una relación 2:1 entre el agua y el fuego y una relación 3:2 entre el agua y la tierra, También era necesario regular el calor, la sequedad y la humedad relativa. Agregó que,

---

<sup>210</sup> *Antidotarium*, (Lyon 1509) fol. 243v.

como es usual en todos estos procesos, se debían observar cuidadosamente los cambios de color, siendo la formación de un polvo impalpable de color rojo el signo de que la preparación del gran elixir se había completado y había sido exitosa. Arnaldo agregó una advertencia que cuando se proyecta el elixir no debe disolverse ni fundir, posiblemente, esto se deba a que pueda vaporizarse y entonces se perdería. Sería difícil igualar estas afirmaciones con algún hecho químico conocido, pero si bien Arnaldo comparó el trabajo alquímico con la concepción del nacimiento, crucifixión y resucitación de Cristo.

Arnaldo llevó a cabo personalmente una gran variedad de reacciones químicas. Describió, por ejemplo, su destilación de la sangre humana mediante un alambique. Contó que la primera fracción que destila es un líquido incoloro, que él afirmó era el elemento agua. Cuando comenzaba a destilar un líquido amarillento había que cambiar el receptor. Arnaldo sostuvo que ese líquido estaba formado por el elemento ... aire (!)<sup>211</sup>. Luego al comenzar a destilar un líquido aceitoso de color rojo, había que cambiar nuevamente el receptor. Ese líquido, para Arnaldo, era ... fuego. Mientras que el residuo sólido que quedaba en el destilador era, por supuesto, el elemento tierra. Él remarcó que el fuego obtenido por destilación tenía notorias propiedades medicinales y dio como ejemplo que un noble estaba al mismo borde de la muerte y que, al suministrarle, un poco de fuego, revivió como para confesarse y recibir la extremaunción. Pero, en ningún momento sugirió que alguna porción del destilado pudiese efectuar la transmutación.

Otro de los méritos de Arnaldo fue descubrir el carácter tóxico del monóxido de carbono.

Arnaldo creía que un operador humano puede lograr grandes cosas haciendo uso de las influencias de las estrellas, una idea que desarrolló, sobre todo, en el tratado titulado, *De parte operativa*. En primer lugar, se deben considerar las influencias negativas resultantes de la fuerza que brota sin cesar de las estrellas. Esta influencia no se absorbe a menos que los cuerpos estén predispuestos a recibirla, pero que esta influencia puede ser puesta en una condición favorable por la Naturaleza y, cuando se hace por el Arte, aumentándola cuanto se desee. Todo lo producido por el arte o por la naturaleza recibe del cielo alguna propiedad que le permite actuar sobre otros órganos o de ser accionado por ellos. Por lo tanto, cualquier hombre que conozca las influencias de las estrellas y sepa cómo preparar objetos para recibirlas, puede producir grandes y maravillosos cambios en cosas inferiores. El se refirió particularmente a las gemas, a las cuales la Naturaleza le da poderes especiales. Si por medio del Arte, el alquimista logra reproducir la gema y graba sobre su superficie los ruegos o las imágenes adecuadas a las constelaciones, la dotará de poderes especiales. Así, en el tratamiento de los cálculos renales del Papa Bonifacio VIII, Arnaldo se ayudó con una piedra especialmente grabada.

Al igual que Albertus Magnus y que Roger Bacon, Arnaldo privilegió la experimentación sobre la repetición de las afirmaciones de los antiguos.

De la gran cantidad de obras escritas por Arnaldo, las que más influencia tuvieron es su época fueron las siguientes.

Obras sobre Medicina:

*Medicinalium introductionum speculum*. Un tratado general de Medicina, uno de los más extensos. Fue escrito en Montpellier sobre el modelo de Hunain ibn Ishaq's Isagoge en Tegni.

*Liber de diversis intentionibus medicorum*. Que también trata con generalidades médicas.

---

<sup>211</sup> Arnaldo debería saber que el aire es una gas y no un liquido.

*Regimen sanitatis ad regem Aragonum* (Barcelona 1307). Obra en 19 capítulos. Hay muchos manuscritos, ediciones impresas y traducciones al español y al italiano. Fue traducido al hebreo por Israel ben Joseph ha-Levi en Avignon, 1327, con el título *Ma'amar be-hanhagat ha-bri'ut*,

*De conservanda juventute et retardanda senectute*. Dedicado Roberto de Anjou, Rey de Nápoles y Jerusalem; es de 1309 ó 1311. Es un plagio del *Liber de conservatione juventutis* de Roger Bacon con algunas adiciones, omisiones y modificaciones. Fue traducido al italiano y en 1544 al inglés por Jonas Drummond.

*De considerationibus operis medicinae*. Un extenso tratado que se ocupa en buena parte de las sangrías.

*Medicationis parabolæ secundum instinctum veritatis aeternæ*. Trescientos cuarenta y cinco aforismos médicos compilados, con comentarios, por Arnaldo en 1300, en Montpellier. En 1378, fue traducido al hebreo por Abraham Abigdor.

*Aphorismi speciales (Aphorismi de ingeniis nocivis, curativis et praeservativis morborum speciales corporis partes respicientes)*. Continuación del anterior.

*Liber de parte operativa*. Extenso tratado conteniendo muchas definiciones u algunas prescripciones.

*De regimine castra sequentium*. Instrucciones para la higiene militar.

*Commentum super Regimen salernitanum. (Regla Sanitaria Salernitana)* es un tratado de carácter didáctico en versos latinos redactado en el ámbito de la Escuela Médica Salernitana en los siglos XII y XIII. Se le conoce más comúnmente como *Flos Medicinae Salerni* (La Flor de la Medicina de Salerno) o *Lilium Medicinae* (El Lirio de la Medicina).

*Breviarium practicae a capite usque ad plantam pedis cum capitulo generali de urinis et tractatu de omnibus febris, peste, empiala et liparia*. Enciclopedia de Medicina práctica dividida en 4 libros: (1) cabeza; (2) resto del cuerpo; (3) enfermedades de mujeres; (4) fiebres.

*Tractatus de sterilitate tarn ex parte viri quam ex parte mulieris*. Sobre la esterilidad de hombres y mujeres. Atribuido también Raymond of Moleriis, que fue Rector de la Universidad de Montpellier en 1338.

*Compilatio de conceptione*. Sobre el embarazo. Probablemente idéntico al *Tractatus de impregnatione mulierum*.

*Tractatus de bonitate memoriae*. Recetas médicas para mejorar la memoria.

*LiBellus de arte cognoscendi venena cum quis proponit ea alicui ministrare*. Tratado sobre los venenos, los síntomas que produce y los antídotos que se conocían.

*De sanguine humano*, dedicado a Jacobo de Toledo (*sive de maximo secreto medicinae*), Explicación de como se puede obtener el elixir de la vida mediante la destilación de la sangre.

Entre los escritos sobre Alquimia los más importantes son:

*Thesaurus thesaurorum, Rosarius philosophorum ac omnium secretorum maximum secretum*, etc. Es el tratado más extenso sobre este tema. Fue traducido a varios idiomas.

*Epistola super alchymia ad regem Næpolitanum* (Robert of Anjou).

*De lapide philosophorum* (*De seeretis naturæ; Thesaurus secretus operationum naturalium*).  
Sobre cómo hacer la piedra filosofal.

*Novum testamentum*. En tres partes: (1) piedra filosófica natural; (2) receta para la piedra filosófica artificial; (3) el arte de la transmutación.

*Speculum alchymiaë*. Diálogo entre un maestro en el arte de la Alquimia y su discípulo.

*Practica*. Manejo experimental de la Alquimia.

*Semita semitaë*, dedicated to Benedicto XI (Papa desde 1303 a 1304).

*Quæstiones tarn essentialis quain accidentales ad Bonifacium VIII* Treinta preguntas esenciales y secundarias hechas por el Papa Bonifacio VIII contestadas por Arnaldo.

*Tractatus parabolarum*. Colección de aforismos químicos.

*Rosa novella*. Tratado de la práctica alquímica para hacer la piedra filosofal y descripción de las operaciones de disolución, destilación, calcinación y solidificación.

Algunas obras sobre Astrología y magia:

*Remedia contra maleficia*. Aquí se consideran los maleficios que le crean al hombre impotencia sexual.

*Capitula astrologiæ de judiciis infirmatum secundum motum planetarum* (también llamado *Compendium astrologiæ; Astronomia; Brevis tractatus introductorias ad judicia astrologiæ; Introductorium astrologiæ pro medicis*; etc.). Tratado de Astrología médica.

*Libellus de improbatione maleficeiorum*. Carta a Jaspertus (Jasperto de Bottonach, obispo de Valencia de 1276 a 1288) sobre la magia negra y los exorcismos.

El sentido de este escrito no era que el Papa comenzara a hacer experimentos alquímicos sino mostrarle que en sus trabajos, no empleaba brujería, ni conjuros o encantamientos, ni nada que contraviniese las órdenes que le habían impartido de restringir sus trabajos a temas que no tuviesen que ver, directa o indirectamente con la religión.

## 6– 6. Ramón Llull.

Ramón Llull fue un filósofo y misionero catalán, nacido en Mallorca alrededor de 1232 – 1235. En su juventud, parece haber llevado una vida disipada e inició la composición de una larga serie de poemas de amor. Aún siendo joven conquistó cierta fama como exponente de la literatura española.

Al igual que San Francisco de Asís, a los treinta años experimentó una conversión religiosa y, a partir de entonces, se dedicó a la docencia y a la religión.

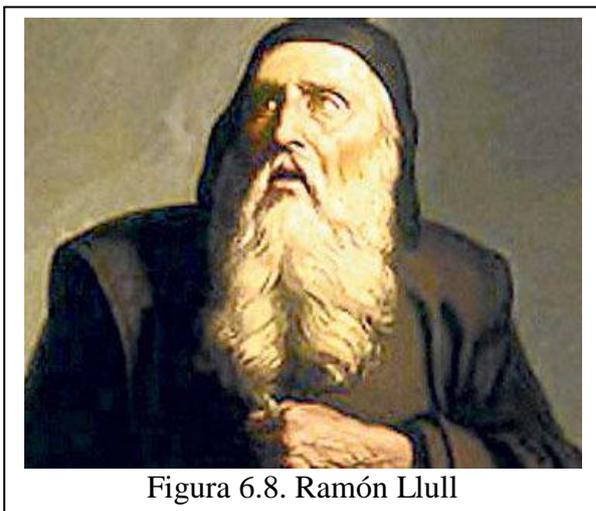


Figura 6.8. Ramón Llull

Fue el tutor de los hijos del Rey de Aragón, Jaime I (El conquistador). En Mallorca estudió árabe durante nueve años con un esclavo moruno. Hizo tres travesías misionales por el Norte de África, en la última de las cuales fue lapidado hasta morir. A su muerte, el catálogo de sus obras incluía más de 150 títulos, número que fue aumentando después de muerto debido a las publicaciones apócrifas que se le atribuían. Entre julio de 1312 y mayo de 1314, siendo un octogenario, entre libros y artículos, escribió unas 40 obras. Se le atribuyen unos ochenta libros de Alquimia aunque la casi totalidad de ellos se consideran apócrifos<sup>212</sup> debido a que en ellos se habla de transmutación y él, si-

guiendo a Avicena, descreyó en la posibilidad de transmutar un metal en otro y así lo manifestó expresamente y en forma reiterada en varios de sus escritos. Sin embargo, la fama que lo rodeaba, tanto en lo social, como el lo político, en lo filosófico y en las cuestiones religiosas dieron motivos más que suficientes para que los alquimistas de su época lo considerasen uno de los suyos. Se llegó a afirmar que tenía la piedra filosofal que le permitía convertirse en un gallo rojo<sup>213</sup> o de haber convertido veintidós toneladas de metal base en oro con el fin de que el Rey Edward III de Inglaterra pudiese equipar un ejército para hacer una Cruzada contra los turcos. Estas historias, totalmente de fábula están vinculadas a otras historias ficticias atribuidas a un cierto John Cremer, supuesto Abate de Westminster quien en su *Testament* escribió que luego de dedicarse a la Alquimia durante más de treinta años y no poder efectuar la transmutación, le pidió ayuda a Dios quien lo transportó a Italia donde convenció a Ramón para que viajase con él Londres y le revelase el secreto de la Obra y lo presentó al Rey Edward III para la transmutación antes comentada<sup>214</sup>.

Entre las obras que escribió se encuentran:

*Liber de Contemplació en Deu*, escrito en Mallorca en 1272, que se considera una de las primeras, o quizás la primera y la más extensa, que es una enorme enciclopedia sobre Teología práctica, incluyendo descripciones satíricas de diversos prototipos, médicos, jueces, etc.

*Ars Magna*, un conjunto de tratados de Lógica. Llull creía que con su método basado sobre la Lógica, podía verificar la validez de cualquier afirmación científica. Su trabajo lo complementó con varios tratados adicionales como *Ars universalis seu lectura artis compendiosae inveniendi veritatem* (probablemente en 1275); *Ars demonstrativa*, Montpellier 1283, *Quaestiones per artem demonstrativam seu inventivam solubiles*. Montpellier, 1287; *Ars inventiva veritatis, seu ars intellectiva veri, quae est instrumentum intellectivæ potentiae*. Montpellier, 1289 (estando en Génova la tradujo al árabe); *Ars amativa boni*, Montpellier, 1290, y un tratado sobre la lógica del filósofo árabe Al-Gazzeli.

También escribió libros religiosos y sobre la conversión de los gentiles, como el *Libre del gentil*, 1272 – 1273, que curiosamente tiene un parecido conceptual del libro de Jehuda Ha-levi *Kitab alhiujjah wal-dali*, que trata de la conversión de los gentiles al judaísmo.

<sup>212</sup> Algunos de ellos habrían sido escrito por Raimundo de Tárrega, “el neófito” (c. 1335 – 1371) un judío converso que ingresó a la Orden de los dominicos.

<sup>213</sup> W. B. Yeats, *Stories of Red Hanrahan & The Secret Rose & Rosa Alchemica*, Serenity Publishers, 2009, pp. 119-120. También: Holmyard, E., (1957): *Alchemy*, Hamondsworth, Middelsex, p. 127.

<sup>214</sup> Ashmole, E., (1652); *Theatrum Chemicum Britannicum*, Brooke, London. En la página 443 afirma que del oro de la Torre de Londres, el Rey mandó acuñar una moneda con su imagen y en el reverso llevaba la inscripción *Iesus autem transiens per medium ibat*. Acuñar monedas con el (pseudo) oro alquímico era una tradición en la Edad Media.

Escribió sobre temas militares, como el *Liber de militia* y uno muy popular en su época: *Libre del orde de cavayleria*, (1274), traducido en su época al latín, francés y al inglés.

Para su hijo, Dominic, escribió varios libros sobre educación infantil: *liber doctrinae pueriles* (1274 – 75) que trata de la formación de los niños en diversos temas, como religión, las siete artes, las diversas ciencias y cómo entrenar la mente.

También escribió una novela épica *Blanquerna* donde describió las aventuras de un héroe de ese nombre en tierras tan lejanas como Tartaria, Abisinia, Turquía o Grecia.

Incursionó en la poesía, especialmente en catalán. Entre sus poemas se destacan *Desconort* (Desconsuelo), escrito en Roma en 1295, considerado como su mejor obra en verso, *Le cant de Ramon* (París, 1299) y *Medicina de peccat* (Remedio para el pecado)

En 1295 – 1296, estando en Roma, escribió *Arbre de ciencia* (El árbol de la ciencia) una enciclopedia sobre el conocimiento científico y la relación entre las ideas de las diversas ciencias.

Entre sus libros de Física se encuentran: el *Liber de natura*. Escrito en Famagosta, Chipre en 1301, donde trata el estudio de la Naturaleza y la relación entre la física de la naturaleza y la Lógica. El *Liber de lumine*. (Montpellier 1303) es un tratado de Óptica cuya redacción es muy confusa y el *Liber novus physicorum compendiosus*. Escrito en París en 1309, en él aplica a la Física su método de análisis descripto en su *Ars nova*.

Escribió un solo tratado sobre Matemáticas, el *Liber de nova y compendiosa geometria* y un tratado sobre Astronomía: *Tractatus Novus de Astronomia*, París, 1297. En él critica a la geomancia<sup>215</sup> pero recurre a la Astrología.

Su obra comprende también varios tratados de Medicina, los que demuestran que sus conocimientos sobre ese tema eran muy superficiales, aún para su época.

Varios de los trabajos sobre Lull aparecieron recién a fines del siglo XIX, entre ellos: M. Andre, *Le bienheureux Raymond Lulle* 3<sup>a</sup>. edición, París, 1900; S. M. Zwemer, *Raymund Lull, First Missionary to the Moslems*, York, 1902; W. T. A. Barber, *Raymond Lull, the illuminated doctor: A study in medieval missions*, London, 1903; J. H. Probst, *Caractère et origines des idées du bienheureux Raymond Lulle*, Toulouse, 1912. Barber hace un profundo análisis de los escritos de Lull y, por las referencias que incluyen algunos trabajo, llega a la conclusión que aún hay muchos manuscritos por conocerse. La *Revista Lulliana*, fundada en 1901, ha contribuido publicando muchas obras de Lull.

## ANEXO 1 . Traducción de parte de la obra de Albertus Magnus

<sup>215</sup> Método de adivinación que interpreta las marcas en el suelo que quedan al arrojar varias piedras y que responden a varios patrones geométricos que se corresponden con diversas posibilidades de ocurrencia de eventos futuros. Fue muy popular en la Edad Media y el Renacimiento.

La obra de alquimia atribuida a Albertus Magnus fue recopilada por Petrus Bonus publicada como *Margarita preciosa novella* (circa 1330). Se supone que fue completada por alguno de sus discípulos luego de su muerte. Sin abandonar el estilo de Albertus fue impresa en Aldine en 1546, en una edición de Janus Lacinius. En el texto, el redactor cuenta las enseñanzas de Albertus sobre diferentes temas. A continuación se presenta una traducción de algunos de esos temas:

“Solamente a los lectores inexpertos y superficiales les pueden parecer que hay desacuerdos entre los diferentes exponentes de este arte. De Hermes, que llama al cuerpo disuelto agua perenne que coagula Mercurio, hasta el último sabio, todos están en una sustancial y maravillosa armonía. El tema del que se ocupan es la flor de las flores, la rosa de rosas, el lirio de los lirios. Entonces, alégrate joven, en tu juventud, y aprende a recoger flores, porque te he puesto en el jardín del Paraíso. Hazte una corona para la cabeza, regocíjate y disfruta de los placeres de este mundo, alabando a Dios y ayudando a tu vecino. Ahora voy a abrir para ti la fuente de los conocimientos, y hacer que entiendas las cosas oscuras de este Arte.

Alberto nos enseñó que primero hay que recoger las flores, es decir, purgar los espíritus, luego fijarlos por repetidas sublimaciones en un frasco cerrado, luego disolverlos y entonces coagularlos. Primero hablaré en general.

#### *De los espíritus*

La transmutación de los cuerpos metálicos es llevada a cabo por los espíritus minerales, cuya abundancia, pureza y digestión les imparten un gran poder de digestión y purificación. Por espíritu entendemos aquello que tiene el poder natural de vivificar a un cuerpo y tornarlo inmutable. Seguramente no causará sorpresa que un espíritu muy purificado y maduro efectúe impactantes cambios en el cuerpo de un metal. La cantidad de metal será ciertamente mucho más grande, pero las cualidades del espíritu son activas mientras que las de los metales son pasivas y así, una cantidad muy pequeña de espíritu puede producir un efecto muy grande. Sin embargo, para que el espíritu pueda tener tal potencia, es necesario purificarlo y digerirlo muy bien, para que pueda introducirse en los cuerpos metálicos y que sea imposible que ellos puedan salir de tales cuerpos.

La preparación de los espíritus está suficientemente ejemplificada para nosotros por la forma en que los metales son procreados naturalmente. En la generación natural de oro, el espíritu se sublima por el calor mineral de la tierra. La tierra seca, cuando se calienta, calienta las impurezas, bebe hasta las cosas más fluidas, y conserva las partes más groseras. Las partes acuosas, aéreas, e ígneas, siendo más sutiles y volátiles, se desplazan hacia arriba. Al imitar a la Naturaleza, el Arte ha inventado una sublimación a través de la cual purificamos los espíritus mediante el elemento seco que consume sus cosas superfluas. Para sus propios fines, la Naturaleza sublima, prematuramente, algo de mercurio y de azufre en las entrañas de la tierra coagulándolos prematuramente en hierro. Yo, sin embargo, que deseo purificar el azufre y el mercurio, puedo suspender la coagulación hasta que los espíritus sean liberados de toda grosería y la humedad por sublimación. Cuando la Naturaleza es asistida por el hombre, es mucho más potente que cuando se la deja actuar por sí misma.

#### *Sobre la purificación de los espíritus*

La purificación de los espíritus consiste en la remoción de todos sus superfluidos, pero sin comprometer lo esencial. Hay tres clases de espíritus: minerales, vegetales y animales. A su vez, los espíritus minerales son tres: azufre, mercurio y arsénico, que actúan naturalmente en los metales y que, preparados por el Arte, se unen naturalmente a los metales. De ellos, el azufre es el gran principio activo, el mercurio es el gran principio pasivo mientras que el arsénico representa las operaciones secundarias del mercurio. Pero los tres se unen en la composición del Elixir.

El azufre es un cuerpo grasoso, compuesto de tierra sutil, fuertemente saturado de agua y de una grasa, untuoso, con humedad del aire, capaz de fundir por calentamiento y coagular por el frío. Tiene tres humores, dos de los cuales son humores superfluidos, mientras que el tercero está indisolublemente unido a la tierra purificada.

Tome azufre puro y brillante, macháquelo hasta reducirlo a partículas pequeñas, incorpórole una cantidad igual de sal común, cocine a fuego lento durante dos horas, revolviendo bien todo el tiempo, hasta que la mezcla se convierte en una masa negra. Deje que se enfríe: tome una buena lejía fuerte, hecha de agua natural combinado con cal viva y cenizas de vid. Pulverice el azufre y la sal, hágalos hervir con agua de lejía sobre un fuego muy fuerte, revolviendo con frecuencia, hasta que se extraiga toda la sal, con la untuosidad de la misma. Seque el azufre, añada más sal en la misma proporción que antes, y repita la última operación. Reitere la operación tres veces, y luego sublime de la siguiente manera: Hierva alumbre en una olla de barro sobre un fuego fuerte durante media hora. Cuando se calcine, agregue una cantidad igual de limaduras de hierro o de cobre, rocíe la mezcla con vinagre y mezcle bien. Con dos partes de este compuesto combine una parte de azufre, y humedezca de nuevo con vinagre. Seque la mezcla al Sol, o mediante un fuego suave, y coloque en un recipiente así: Cubra el fondo del recipiente con la mezcla de alumbre y limaduras de hierro hasta una pulgada de espesor. A continuación, ponga el azufre, etc., y sobre ello, otra capa de la mezcla. Caliente a fuego suave durante tres horas: tape la boca del recipiente y aumente gradualmente la intensidad del fuego durante veinticuatro horas. Deje enfriar y recoja lo que haya sublimado. El fuego debe ser suave al principio y fuerte después. Tenga presente agitar con frecuencia el contenido del recipiente, y que el recipiente esté lo suficientemente elevado por encima del fuego para evitar que el compuesto se queme. Repita la sublimación siete veces, hasta que el azufre se torne prácticamente blanco, seco y libre de toda la humedad o corrupción. El signo de esta perfección es un brillo cristalino y radiante.

Se fija y se completa de la siguiente manera. Tome vinagre fuerte, tres veces destilado; mezcle con él, el azufre purificado antes mencionado, y una quinta parte de su peso de sal armoniac tres veces sublimada. Mezcle todo con el vinagre en un jarro de pórfido. Ponga todo en un frasco de cristal de cuello largo. Cierre y coloque el frasco en estiércol de caballo, hasta que todo se disuelva. Deje enfriar entre cenizas, manteniendo la boca del frasco abierta. Continúe calentado a fuego lento hasta que todo se coagule: entonces tendrá azufre que tiñe, y que permanece fijo en el fuego. Con él se puede transmutar Mercurio, Venus y Júpiter en plata.

### *Sobre el mercurio*

El mercurio es un cuerpo mineral, compuesto por tierra sulfurosa sutil mezclada con agua que en parte es elemental y en parte metálica. Su sustancia térrea debe ser purgada para eliminar su terrosidad sulfurosa y su sustancia acuosa que se encuentra como humedad doblemente superfluida. Cuando es purificada, se une con azufre purificado para producir el glorioso Elixir y la perfección completa del oro y de la plata, así como la sangre menstrual de la mujer se combina con el esperma masculino para hacer una persona.

### *Su preparación*

Vuelque mercurio sobre el material a purificar, caliente y coagule un poco, machaque el material e incorpore con una cantidad doble a un sublimador de modo que quede entre dos capas de sedimento. Caliente hasta que pierda su superfluidéz, la humedad térrea y se torne muy blanco. Machaque con el sedimento hasta que forme una masa homogénea. Rocíe con vinagre o con orina. Coloque sobre un fuego muy suave ya que arde con facilidad. Antes de abrir el sublimador, deje que se enfríe ya que su vapor es muy tóxico. Aunque se purifique mucho el mercurio por sublimación, él no penetra en el cuerpo del metal o permanece en su interior, como lo hace el azufre o el arsénico.

Su sustancia, si bien es muy pura, no funde fácilmente; la fusibilidad de los metales se debe a sus contenidos en azufre más que en mercurio. Por lo tanto, es necesario efectuar la ceración<sup>216</sup>. Los mejores medios para la ceración son: sal amoníaco, salitre, bórax, aceite capilar y el aceite de huevos que, además, requiere de prensado para achicar el tamaño de las partículas y lograr que penetren unas en las otras. Tome mercurio altamente purificado con un séptimo de su peso de sal amoníaco tres veces sublimada, y una cantidad igual de sal común y rocíe con aceite de cabellos el lugar donde los componentes se están secando. Seque en un recipiente de vidrio entre cenizas calientes o al sol. Machaque y rocíe con aceite capilar y seque nuevamente. Machaque nuevamente y haga una pasta con aceite capilar; luego haga secar. La señal de que el material es apropiado para la ceración es que cuando la sustancia se vuelca sobre una placa de plata tiene la fluidez de la cera. Si fuera necesario, esta operación debe repetirse hasta alcanzar la fluidez requerida. Tome vinagre fuerte tres veces destilado (al cual le agregará la décima parte de sal amoníaco tres veces destilada) haga una pasta y coloque esa pasta en un frasco de vidrio. Cierre el frasco cuidadosamente e insértelo en estiércol de caballo y coloque todo sobre fuego suave durante unos veintiséis días, Retírelo del fuego, escurra y haga coagular sobre cenizas calientes hasta tener una masa dura y seca, dejando el frasco abierto hasta que desaparezca la humedad. Pruebe, colocando un poco de material sobre una placa de hierro al rojo: si se mantiene sin disminución y no produce humo se ha fijado apropiadamente. Si produce humo, no se ha fijado y deberá repetir el proceso de coagulación. El mercurio puede ser cambiado a Luna mediante el método descrito en la sección del azufre. Si sobre este mercurio bien coagulado coloca un peso igual de mercurio común con un décimo o un séptimo de sal amoníaco tres veces sublimada y hace una pasta con aceite de cabellos o de huevos y lo disuelve y luego coagula, se fijará más rápidamente. Para obtener la sustancia roja, haga la pasta con aceite, una cuarta parte del azufre antes mencionado, una séptima parte de sal amoníaco, un tercio de cal y de aceite rojo (que enseguida describiremos). Disuelva y coagule como se ha dicho. Si se proyecta sobre la Luna, la transmutará en verdadero oro.

#### *Del arsénico.*

El arsénico es un mineral compuesto de tierra y agua. Es oleoso como el azufre, pero tiene más tierra que aceite y contiene más azufre, terroso y grosero. Su purgación mediante la primera sublimación se hace mediante sustancias que secan y consumen la fluidez oleosa que es su primera fluidez... La superfluidez acuosa, que es su segunda humedad, debe ser evaporada.

En el nombre de Dios, tome arsénico denso, lúcido, rojo o amarillo, muélalo hasta tamaño muy pequeño con una vez y media su peso de limaduras de hierro o de cobre. Rocíe con vinagre, seque y colóquelo sobre el fuego hasta que no emita más vapor. Cierre el recipiente y aumente la intensidad del fuego más y más hasta que sublime; enfríe y extraiga lo que aparece fuera del sedimento; coloque nuevamente entre dos capas de su sedimento, cada una de ella de espesor de una pulgada y sublime como antes hasta que sea de color blanco, puro, cristalino y libre de toda humedad o superfluidez. Esto puede lograrse mediante cinco o seis sublimaciones. Disuelva y coagule tanto el blanco como el rojo como se hace con el azufre. El arsénico es menos potente que el azufre para la coagulación del mercurio, pero es posible extraer de él una virtud ígnea.

#### *Cómo la mencionada purificación del azufre transforma al mercurio, al cobre y al estaño en plata*

Tome una libra de mercurio vivo, cinco libras de estaño fundido y purificado, amalgame y pulverice en un mortero de mármol con una cantidad igual de sal común tostada en el horno hasta que la sal se vea bastante negra. Lave con agua, hasta que todo lo negro desaparezca; deje secar y agregue de nuevo sal, etc. Repita el proceso hasta que la sal y el agua dejen de tener color negro. Añada

---

<sup>216</sup> Proceso frecuentemente mencionado en alquimia. Se realiza añadiendo líquido a una sustancia de manera continua mientras ésta se calienta. El resultado obtenido de este proceso, normalmente, suele ser una sustancia más suave, dándole una apariencia cerosa.

nuevamente la misma cantidad de sal y cocine a fuego lento machacando durante una hora hasta que la sal esté seca. Cuando el mercurio comienza a volatilizarse, agregue más mercurio vivo y estaño fundido tal como hizo antes y repita el proceso hasta que desaparezca el color oscuro. Así se purifican el mercurio y el estaño de su negrura sulfurosa por batido constante y asación<sup>217</sup> con sal. ¡Yo mismo me he visto en la necesidad de repetir la operación de limpieza doce veces! Luego deje que ambos fundan juntos (es decir, el mercurio y el estaño) y vierta sobre la masa una séptima parte en peso de nuestro purificado y fijado azufre sosteniendo con pinzas hasta que todo se haya disuelto. Retire rápidamente del fuego y vuélquelo sobre vinagre destilado y la masa se mostrará blanca, suave y friable. Coloque todo en un recipiente de barro que en la parte superior tenga una abertura adecuada para recibir el material y cierre el recipiente con su correspondiente tapa. Coloque el recipiente sobre el fuego durante tres días para que la masa sea bien digerida por el calor y el azufre. Después de ese tiempo, invierta el recipiente cerrado, no sea cosa que el mercurio pierda el contacto con el azufre coagulante. Así, toda la masa se vuelve blanca, pura, maleable y fija: plata. Tenga en cuenta que el bórax es preferible antes que todas otras cosas en materia de consolidación y ductilidad.

#### *Cómo el mencionado azufre actúa sobre el estaño*

Funda estaño, aplique un fuego fuerte al metal fundido hasta que todo el humo se haya desprendido; hierva en vinagre fuerte durante medio día y escurra a través de un trapo. Mezcle con una cantidad igual de sal, hasta que la mezcla tome color negro; renueve la sal doce veces, tal como se dijo anteriormente. Entonces Júpiter estará preparado para la recepción de la Medicina. A continuación, mezcle el estaño fundido con una séptima parte de su peso de azufre, tal como se describió anteriormente, sujetando el recipiente con pinzas hasta que el azufre se disuelva y se incorpore. El estaño se vuelve fusible y maleable de la siguiente manera: Ponga sobre el fuego una cacerola con un poco de bórax calcinado, disuelva el bórax con un buen vino, vierta en la cacerola la cal de estaño y haga hervir hasta que todo el vino se haya evaporado. Entonces, sature la cal con sangre de cerdo, avive el fuego para que la cal funda, con lo que estará lista para recibir el medicamento. Después de recibirlo, encontrará a Jove<sup>218</sup> “amable y bien compuesto”, sin dureza, y en un estado adecuado para ser el compañero y amigo de la Luna preparada. La Luna, así preparada, se purga primero con plomo, después se vuelca sobre varillas y se enciende, como se dijo antes, diez veces, apagándolo con sangre de cerdo. Entonces se lamina, y se funde. Su purgación será entonces completa y se le agregará una décima parte de azufre durante la fusión. Y ésta será la Luna que, tal como se ha dicho antes, es la amiga de Jove.

#### *Cómo el mencionado azufre se adiciona a Venus.*

Tome cobre preparado de la manera correcta, fúndalo, agregue una décima parte del mencionado azufre, se volverá de color citrino. Luego vuélquelo sobre varillas inmersas en sangre de cerdo y el cobre tendrá las más prominentes cualidades de la plata y se aleará muy bien con ella. Para mutar esta plata a oro, guíese por las siguientes instrucciones:

Tome azufre, muélalo hasta obtener un polvo fino, caliéntelo en un recipiente de barro, a fuego suave, durante siete días, hasta que desaparezca el color anaranjado. Debe hervirlo en orina destilada y refinada. Mantenga el fuego moderado para que no pierda la untuosidad sino sólo la tintura, esto es, el color citrino. Remueva la orina que recibe el color del azufre y agregue más orina hasta que todo el color haya desaparecido. Vuelque todo en un recipiente y destile a fuego bajo hasta que el líquido se pone primero anaranjado y luego rojo. No se necesita el agua clara que destila primero. Destile hasta que aparezca un sedimento negro y guárdelo para otro propósito. Esta es la Tintura, es el *fuego chíbrico* que es una palabra secreta. Tome parte de ese fuego y destile por segunda vez el

<sup>217</sup> Asacion es el cocimiento que se hace de alguna cosa con su propio zumo sin algún líquido o humedad extraña.

<sup>218</sup> Jove = Júpiter, estaño.

agua que primero fue anaranjada y luego roja. Hierva el mencionado fuego en vinagre fuerte, cocinando sobre fuego suave hasta extraer la causa de la combustión. Para este propósito, hierva hasta que el vinagre se consuma. Agregue el fuego preparado y seco, haga una pasta con tres partes del mencionado azufre blanco agregándole una parte de sal amoníaco en polvo. Disuelva, coagule y precipite sobre la plata preparada de la manera que se ha dicho y obtendrá el mejor oro.

### *Sobre vegetales y animales.*

Se ha supuesto, por la autoridad de Santo Tomás, que la Piedra de los Filósofos es triple: mineral, vegetal y animal. Su materia más aproximada, nunca fue expresamente nombrada por los Sabios, pero la característica mineral se ha adjudicado al mercurio, vegetal a la quintaesencia del vino y la animal a la sangre humana. Por eso, ahora diremos unas palabras sobre la Piedra Animal y la Piedra vegetal ya que ellas sí han sido mencionadas en los escritos de los Sabios y porque queremos que nuestra obra sea tan perfecta como sea posible.

Entre los vegetales, los primeros lugares los ocupan el grano, el espíritu del vino y la sal del tártaro; entre las cosas animales sensibles están; el cabello humano, la sangre, la orina y los huevos. Ellos deben ser puros, cada uno en su clase y, entonces, debe sometérselos a putrefacción, de modo de separarlos en sus cuatro elementos. Después de la putrefacción, disuelva y destile durante veintidós días. Coloque en una cucúrbita sobre fuego moderado y recoja el líquido blanco destilado en otro recipiente. Los líquidos rojo y amarillo que destilan deben recogerse en recipientes separados. La destilación puede hacerse introduciendo la cucúrbita en estiércol de caballo. Continúe la destilación hasta que cese la emisión de vapor y que en el destilador sólo quede una tierra negra y seca. El agua blanca destilada se llama, simplemente, agua. El agua roja se llama “agua de la vida”. Los espíritus deben ser sometidos a ceración, disueltos, coagulados y fijados. Toda el agua que tiene color citrino o rojo, que queda aún en las heces casi secas, contiene agua, aire, fuego y aceite. Para prepararla, coloque todo el líquido sin el sedimento negro en un alambique y destile sobre un fuego muy bajo. Mediante este proceso se separará primero el agua y luego el aceite, el que podrá reconocer por su viscosidad, color y su densidad respecto del aire; y también por el hecho de que flota en el agua. En esta segunda destilación encontrará al fuego como algo rojo, negro y seco en el fondo, como la tierra de la primera destilación. De esta manera Ud. separará los cuatro elementos. El agua y el aceite también se rectifican por destilación hasta que adquieren una luminosidad cristalina y brillantez, sin rastros de sedimentos.

Queda así rectificado el sedimento de la segunda destilación, llamado fuego. Macháquelo, séquelo al Sol, calcine sobre un fuego suave hasta que tome el color rojo o anaranjado, cuanto más rojo, mejor. Para rectificar la tierra, machaque la tierra seca, satúrela con agua, séquela sobre un fuego muy bajo o al Sol, macháquela y agregue agua hasta que la tierra haya absorbido el doble de su volumen de agua. Seque nuevamente y calcine sobre un fuego fuerte, agregue el doble de su volumen de agua, seque nuevamente y agregue siete veces su volumen de agua. Repita la operación por cuarta vez con siete veces la cantidad de agua, calcine, sature con un séptima parte del volumen de agua agregado, colóquelo en una ampolla de vidrio, agregando una pizca de bombax<sup>219</sup>; deje que se disuelva colocando la ampolla sobre estiércol de caballo muy caliente durante tres días o más; extraiga el contenido y satúrelo que lo que resta de los siete volúmenes de agua, calcine y adquirirá un color muy amarillo. Por una repetición constante de saturación y calcinación, a la larga se volverá muy blanco y será una perla de gran precio.

Habiendo rectificado los cuatro elementos, prepare el elixir de la siguiente manera: Seque y machaque bien la mencionada tierra, satúrela con su aceite (es decir, con su “aire rectificado”), séquelo hasta que, al colocarlo sobre una placa de cobre al rojo, fluya como cera y adquirirá las propiedades

---

<sup>219</sup> Extracto de las flores del árbol *Bombax Ceiba*.

de la plata. Machaque con su agua y deje que se disuelva colocándolo sobre estiércol de caballo durante tres días; coagule sobre cenizas calientes y obtendrá su más preciado tesoro. Los Sabios dicen que vertiendo una libra sobre cien libras de cobre bien preparado, las cambiará en real y pura plata. Si quiere obtener el Elixir que transmute la plata en oro, siga las instrucciones de más arriba, pero agregando a las tres partes de tierra rectificada una parte de fuego y haga un pasta de todo esto con su aceite, tal como se describió; disuelva y coagule de la misma manera, vierta una libra sobre cincuenta libras de plata preparada y las transmutará en verdadero oro.

Cabellos y huevos deben ser putrefactos bajo estiércol de caballo caliente. No descarte los espíritus que se forman por la putrefacción en estiércol. Ya que sólo con ellos se puede hacer una digestión correcta. Note que el espíritu superior de los huevos se dice que están en las capas externas y que se blanquean sólo por calcinación. En primer lugar deben ser purgados de la tela<sup>220</sup>, luego machacados y lavados en un plato liso y luego colocados en un recipiente de barro resistente con varias aberturas para que escape el humo. Coloque el recipiente sobre un fuego muy fuerte (tal como el que se usa para fundir el vidrio durante un día y una noche; sature con su agua y su aceite hasta se vuelvan fluidos como la cera, machaque esta sustancia con su agua de rectificación, séquelos. Machaque y sature constantemente, hasta que haya absorbido su propio peso de agua. Siga machacando hasta que se disuelva en su propia agua. Cuanto más a menudo la medicina se disuelva, tanto más eficaz será. Para hacer que el metal sea maleable, dúctil, y susceptible a la acción de la Medicina, deberá sumergirse diez veces en sangre de cerdo, batido sobre placas delgadas, colocado entre capas de sal común y tártaro de bórax, machacados con una cantidad moderada de sangre de cerdo, lo que hará que el metal sea fusible. El mismo proceso hará al metal más duro si es demasiado blando. Si el medicamento no entra correctamente en el cuerpo metálico, puede subsanar el defecto con aceite de huevos o de cabellos y sal armoniac. Si penetra bien, pero no permanece, esto se debe a un defecto de la fijación, y debe ser subsanada por repetidas inceraciones, disoluciones y coagulaciones. Si no tiñe bien, la culpa es de su purificación; repita las sublimaciones, y añada más cantidad del cuerpo metálico. Por otra parte, los metales que han de ser transmutados, primero deben ser altamente purificados; y la propia medicina debe poseer el máximo grado de pureza y la digestión.

A fin de que los espíritus tiñan al metal en forma permanente, primero deben ser limpiados, luego incerados, después disueltos y finalmente reducidos a la forma cristalina. Por medio de la sublimación, lo puro se separa de lo impuro. Los cuerpos se calcinan a efectos de purgarlos de accidentes que corrompen el espíritu y afectan la potencia de la Tintura. La disolución se practica con el propósito de unir permanentemente los cuerpos a los espíritus. Ellos se coagulan por que los polvos se usan más fácilmente que los líquidos.

Primero, disuelva los cuerpos, luego forme una pasta con agua o su propia sustancia líquida y coagule de la siguiente manera: Cierre el recipiente, colóquelo sobre cenizas calientes y déjelo durante dos días hasta que haya coagulado. Luego vuelque un poco de la sustancia coagulada sobre una placa metálica calentada al rojo, si hay evaporación, notará que su operación no ha sido correctamente realizada. Por lo tanto, Ud. debe agregar más sustancia y realizar nuevamente el proceso. A menos que los espíritus estén unidos al cuerpo por vínculos indisolubles, ellos no resisten la prueba del fuego. Entonces, cualquiera que quiera tener éxito en este Arte, debe conocer, los procesos de sublimación, calcinación, disolución, destilación, coagulación, inhumación e inceración; en síntesis, como preparar baños, operar con hornos y recipientes. Por lo tanto, vamos a describir brevemente algunas de esas operaciones.

#### *Inceración.*

<sup>220</sup> Este autor no puede explicar el por qué se menciona la tela.

La inceración consiste en saturar cierta sustancia con algún líquido con el propósito de disolver o unir más íntimamente, sus partes, o para facilitar su mezcla o purificación antes de su sublimación, cuando la sustancia está saturada con un líquido penetrante o una sustancia desecante (como la sal común).

### *Sublimación*

La sublimación tiene lugar cuando algo es elevado por el aire desde el fondo del a la parte superior recipiente. En el caso que sea líquido, el proceso se llama destilación. Se usa para hacer que los espíritus sean más aptos para recibir la Medicina. Los medios son un fuego bajo que se incrementa gradualmente. También se usa para llevar a los cuerpos a una unión permanente con los espíritus. Tales cuerpos, primero se deben calcinar y luego sublimar con los espíritus y esta operación requiere un fuego potente desde el comienzo.

### *Asación*

La asación, consiste en poner sustancia inceradas en un vaso de vidrio y secar sobre cenizas calientes antes de someter al fuego, teniendo cuidado en agitar la sustancias de cuando en cuando con una varilla de madera.

### *Calcinación*

La calcinación es la pulverización de una sustancia secándola sobre el fuego y así privándola de su humedad consolidante. No hay una mezcla plena y perfecta de cuerpos y espíritus, a menos que ambos sean reducidos a líquidos, que es la materia prima de los metales. Pero esto no se puede hacer en tanto ellos tengan su humedad natural, que causa su fusión, liquefacción y que se muevan en el fuego, tal como lo hace el agua, manteniendo partes continuas en el líquido, fortaleciéndolas de modo que se las pueda administrar hasta que se reduzcan completamente a líquido. Cuando las sustancias han sido así pulverizadas, se mezclan y saturan más rápidamente con vapores.

### *Disolución*

Es la reducción de un cuerpo calcinado en agua. El cuerpo debe ser primero calcinado luego saturado con el agua disolvente y luego secado al fuego, luego colocado en el recipiente donde la disolución tendrá lugar. Todo lo que permanezca no disuelto debe ser preparado por la misma serie de operaciones. Disuelva haciendo un agujero de dos codos<sup>221</sup> de profundidad en un lugar húmedo y estable. Llène el agujero con agua hasta que sea absorbida y agregue también un poco de arena. Coloque en el agujero el recipiente que contiene la sustancia a disolver, selle la boca del recipiente con cera, envuelva el recipiente con paja y cubra la cera con arena húmeda y déjelo por siete días o más y todo se habrá disuelto en el agua. Otra forma de disolución es mediante el baño de María. Repita la operación hasta que esté perfectamente realizada.

### *Destilación*

La destilación es la purificación de un líquido que cae gota a gota y se realiza por medio de un filtro o vaporizando el líquido por el fuego y condensándolo nuevamente. También se puede realizar con líquidos en un baño de María.

### *Inhumación*

---

<sup>221</sup> 1 codo = 44,44 cm.

Consiste en colocar una sustancia soluble en estiércol para lograr su disolución (en cuyo caso se mezclan mediante vinagre, una parte de excremento de paloma con dos partes de estiércol de caballo) o para desarrollar una sustancia embriónica que ya haya comenzado a germinar. Haga un agujero de dos codos de ancho y dos de profundidad, donde no sople el viento ni incidan los rayos del Sol. Encienda en el hoyo un fuego con carbón y manténgalo durante seis horas. Retire las cenizas y luego llene el agujero con estiércol de caballo, hasta cubrir una altura de un pie. Cubra los costados del agujero con una mezcla de excremento de paloma y estiércol de caballo; hunda un orinal en el agujero y coloque sobre él un pequeño plato. Dentro del orinal coloque el recipiente con la sustancia a disolver, deje por siete días y dos veces al día vuelque agua caliente sobre él.

#### *Preceptos de Alberto*

Sobre todo, lo exhorto a ser cuidadoso y no cometer ningún error: primero al machacar, luego en la sublimación, luego en la fijación, luego en la calcinación, después en la disolución, entonces en la destilación y luego en la coagulación. Realice todas estas operaciones adecuadamente, en su correcto orden, y no se equivocará. Si Ud. invierte el orden o interfiere de alguna manera, seguro que tendrá dificultades.

#### *Por lo tanto, Alberto dice:*

Sepa que antes de encontrar la verdad, caí en muchos errores y equivocaciones. Fue por constantes ensayos y errores que aprendí a conocer los secretos del Arte. Estudié minuciosamente los libros de todos los Sabios, desde Morenius, Aristóteles y Platón en adelante. Pero aún así las cosas me salieron mal hasta que, a la larga, por ensayos y errores descubrí la verdad. Por esta razón quise exponer ante Ud., claramente, todos mis descubrimientos y sólo he puesto lo que he visto con mis propios ojos. Le he mostrado el tesoro oculto que muchos buscan sin poder encontrar. Le he puesto de manifiesto lo que estaba oculto en la oscuridad, la Piedra Sagrada, que es mejor que todas las demás cosas en este mundo.

Por último haremos una referencia a las concepciones de Albertus sobre la influencia de los cielos y las estrellas en las actividades terrenales, lo que hace posibles el arte del augurio y la adivinación de los sueños. Esa influencia sirve para explicar las virtudes ocultas de hierbas y las piedras, ya que "la astronomía" —o la astrología, como debería decirse—, está tan estrechamente asociada con la ciencia de los magos y con la nigromancia. No hay un tratado único sobre el tema sino que sus concepciones astrológicas afloran en casi todos sus tratados científicos que escribió, tanto sobre temas astronómicos, como la meteorología, el *De coelo et mundo*, y el *De causis et procreatione universi*, como en los veintisiete libros sobre los animales o los libros sobre las plantas. Especialmente de carácter astrológico es el tratado sobre las causas y propiedades de los elementos y los planetas.<sup>222</sup>

Las creencias astrológicas de Albertus estaban tan estrechamente asociadas a la magia que en uno de sus tratados sobre animales citó que si se hierva un huevo de cuervo y se lo coloca nuevamente en el nido, el cuervo volará hasta el Mar Rojo y traerá una piedra que al tocar el huevo, lo tornará crudo y que si un hombre se coloca esa piedra en la boca, podrá entender el lenguaje de los pájaros.

<sup>222</sup> Figura en el manuscrito CUL 1705, Siglo XIV, folios. 181v-183, "Albertus de naturis signorum," apertura "*Deus utitur corporibus celestibus*" y cierre "*Saturnus enim tenebras significat.*" No está incluido en los trabajos impresos de Albertus y quizás no haya sido escrito por él.

## ANEXO 2. Traducción de parte de la obra de Santo Tomás de Aquino: Tratado de la Piedra Filosofal

La traducción al español de los nueve capítulos del Tratado de la Piedra Filosofal de Santo Tomás de Aquino se reproduce a continuación, con comentarios y notas aclaratorias.

### CAPÍTULO I De los cuerpos supercelestes<sup>223</sup>

Aristóteles, en el primer libro de los *Meteororum*, dice que es hermoso y digno de elogio investigar la causa primera que dirige las causas secundarias. De hecho, los sabios vieron los efectos sobre las cosas al escrutar las causas. Así, vemos que los cuerpos celestes actúan<sup>224</sup> sobre los elementos y por el poder de uno solo de los elementos, por ejemplo desde la materia del Agua, se forma el Aire o el Fuego.

Todo agente natural hace lo que es similar a si mismo, así al acercarle Fuego a la madera, extrae de ella una mayor cantidad de Fuego. En los cuerpos supercelestes, un elemento no parece ser de la forma de un cuerpo elemental, máxime cuando mediante los sentidos vemos la forma exterior esférica, simple y natural de los planetas, pero esos cuerpos son más gruesos y compuestos. Pero, no conforme, para probar esta verdad hay que comprobar las influencias de las cosas naturales<sup>225</sup>.

Roger<sup>226</sup> ha expuesto óptimamente todo esto. Cada principio de la actividad natural ejerce su acción por su similitud, imprimiendo esta actividad en el término pasivo y sin diferencia esencial del principio activo que la ha producido. Por ejemplo, si la estopa es acercada al Fuego, pero sin tomar contacto, el Fuego – como cualquier otro agente – tratará de multiplicar su especie<sup>227</sup> y será recogido por la estopa ya sea por la acción natural y continua del Fuego ya sea por la pasividad característica de la estopa. Entonces se intensificará el vigor de la acción hasta que se realice plenamente el acto del Fuego. Por esto, queda claro que la similitud de la acción del Fuego no es diferente según lo que se quema sino que es una característica de la especie.

Así, algunos cuerpos son muy activos en su acción específica, tanto que pueden actuar por similitud, conformándose y multiplicándose por completo, como el Fuego. Pero, en cambio, hay otros

<sup>223</sup> Este primer capítulo es una introducción un poco farragosa que trata de la naturaleza de la materia, de los elementos y sus características, de las influencias astrales, y otros temas vinculados a la Alquimia medieval, expuestos en forma lacónica y bastante oscura. Para una mejor comprensión de su lectura, se debe saber que el autor habla de “cuerpos supercelestes”, o “supralunares”, que actúan sobre la Tierra por emanaciones de sus especies. Santo Tomás sostiene que la materia está formada por elementos y divide a los elementos en originales y purísimos (Agua, Aire, Tierra y Fuego) y compuestos, corroidos e imperfectos. Aristóteles distinguió entre un mundo sublunar, imperfecto donde las leyes de la naturaleza fuerzan al cambio continuo, donde la materia se corrompe y muere y un mundo supralunar de perfección total donde los cuerpos celestes se mueven perpetuamente de manera armoniosa y sin experimentar cambios. Los cuerpos supercelestes son esos cuerpos del mundo supralunar.

<sup>224</sup> La teoría escolástica tomó de Aristóteles el reconocimiento de la existencia de una distancia ontológica, insalvable, entre el mundo supralunar y el sublunar donde se producen los efectos astrales.

<sup>225</sup> El sistema astronómico, con planetas esféricos girando alrededor de la Tierra es el típico sistema de Ptolomeo y en él existe una esencia metafísica (el éter) que asume la apariencia de la Naturaleza, pero no es sensible.

<sup>226</sup> Probablemente se trata de Roger Bacon (Rogerius Baco). Peter Borelli (*Bibliotheca Chimica, seu Catalogus Librorum Philosophicorum hermeticorum*. Heidelbergæ, ex Typographeio Samuelis Broun, 1656, p. 190) cita a un Rogerius no identificado, autor de una obra de título *Médula Alchimiale*.

<sup>227</sup> Se intenta que la apariencia, proyección e influencia sea similar a las del objeto del cual proviene y del cual mantiene las virtudes.

cuerpos que no pueden producir actos multiplicativos a su propia semejanza. Así es el hombre. En efecto, el hombre no puede multiplicar su similitud como un acto propio porque es tan complejo que, para su multiplicación, requiere una diversidad de acciones<sup>228</sup>.

Porque, como prueba Roger en su libro *De influentiis*<sup>229</sup> si el hombre pudiese producir una acción potente con la similitud con la que reproduce el Fuego, sin duda su especie sería realmente un hombre y no otra cosa distinta, ya que el hombre lo habría producido según su especie.

Así, por lo tanto, un cuerpo celeste actúa sobre los elementos por la similitud con la que actúa sobre sí. Además, produce cualquier cosa similar a sí mismo y casi de la misma especie, porque produce un elemento de un elemento y una cosa elemental de una cosa elemental según la necesidad que haya de alguna cosa elemental; y para ver plenamente este fenómeno, piense en el Sol, que produce el Fuego en un *corpore urinalis*<sup>230</sup> saturado de agua y en cuerpos cristalinos esféricos. Se debe saber que cada principio agente — como está probado en el libro *De Influentiis* — multiplica su similitud por una línea recta perpendicular y fortísima según se ve clarísimo en el ejemplo de la estopa y el fuego, que se unen en un punto de la línea perpendicular.<sup>231</sup>

De hecho, esto es comprobable cuando un *urinalis* lleno de agua o un cristal son expuestos al Sol y reciben el influjo de los rayos solares que son la similitud del astro. Esto se pone de manifiesto si se coloca un espejo para que se vea al Sol multiplicarse en línea recta perpendicular al objeto, la que atraviesa todo el cuerpo y no se interrumpe en el agua gracias a la fuerza de su acción. Si la luz es proyectada en línea recta no perpendicular, se romperá en el cuerpo del vaso y un nuevo rayo aparecerá en una dirección oblicua unida en un punto de la línea perpendicular. Luego, el Sol tiene Fuego en su naturaleza y también los espejos de combustión<sup>232</sup>.

Un espejo de tal composición, forma y disposición, está hecho de acero perfectamente pulido de modo que si se le aplicara el Fuego a una sola línea tal, dirigida hacia una villa, una ciudad o cualquier lugar, lo quemaría sin demora. Así dice Athan<sup>233</sup> en su libro *De Speculis Comburentibus*. Por eso es evidente que el Sol y los otros cuerpos supralunares no carecen de materia elemental, y por esto no son corruptibles, no tienen gravidez ni levedad.

Donde hay que distinguir entre los elementos, es entre aquellos purísimos, simples que carecen de la virtud de transmutarse en los restantes, ya que su materia está contenta con su propia forma. Estos elementos poseen un ser corporal supralunar. Literalmente, sobre el firmamento y los cielos tenemos agua cristalina<sup>234</sup>. Lo mismo podemos decir de otros elementos y, de estos elementos, los

<sup>228</sup> La reproducción de sus efectos (o multiplicación) a su similitud es prerrogativa de los cuerpos simples; el cuerpo humano es un agregado de cuerpos simples. Por lo tanto, no pueden reproducirse de este modo.

<sup>229</sup> No se conoce ninguna obra de Bacon con ese nombre, probablemente sea un error del autor o algún texto apócrifo.

<sup>230</sup> Recipiente de vidrio empleado en el laboratorio, similar a los orinales usados en esa época.

<sup>231</sup> En este párrafo, Santo Tomás acepta con naturalidad una interpretación astrológica de la “acción a distancia” que es parte de la antología de la Física medieval, y se hace eco de la teoría *Multiplicatio specierum* según la cual la propagación de las influencias inmateriales sucedía (y era concebible) geoméricamente. El significado de este pasaje, bastante complicado, puede ser resumido de la siguiente manera: El punto de máxima eficacia de una irradiación es localizable a lo largo de una línea perpendicular a la superficie del sujeto que emite la influencia. Sobre esta recta ideal hay un punto donde se concentra el máximo efecto de la “multiplicación” o transferencia de la influencia.

<sup>232</sup> La reflexión de la luz solar sobre superficies espejadas cóncavas, concentraba los rayos luminosos sobre un punto en el que paulatinamente iba aumentando la temperatura, lo que podía provocar la combustión de algún material combustible. Roger Bacon en su *Opus Tertium* (1267) describe una variedad de espejos de combustión y lentes de combustión.

<sup>233</sup> No se ha podido identificar al autor. Probablemente de origen árabe. En 1265-67, Roger Bacon escribió una obra con ese título.

<sup>234</sup> Aquí no se refiere al agua ordinaria sino, más bien, a una cualidad metafísica asimilable metafóricamente a la sustancia agua. En la cosmología precopernicana, el Universo está formado por esferas, o cielos, concéntricas y etéreas en las que estaban los planetas, en posiciones relativas fijas, que giraban con el movimiento de las esferas. El “firma-

que componen los cuerpos supralunares por virtud divina o por una conducta muy inteligente. Estos elementos no pueden generar ni gravidez ni levedad y tendría que decir que sólo en la Tierra, que es densa y pesada, pueden existir elementos graves y pesantes. Esos elementos también generan los colores de los cuerpos supralunares.

Porque cuando los cuerpos parecen que fueran dorados, centellean como si fueran alcanzados por un rayo de luz, similar a un escudo cuando es iluminado por el Sol. Los astrólogos creen que esa es la causa de que las estrellas titilen y ese es el origen de su color dorado, como han probado Isaac<sup>235</sup> y Roger en su libro *De sensu* y dado que las estrellas fueron generadas a partir de cierta cualidad de dichos elementos se deduce que es propio de la naturaleza de los elementos estar dotados de tales características. Pero como estos elementos son de naturaleza purísima y, a pesar de los accidentes, nunca se mezclan con otras sustancias, es inevitable que en los cuerpos celestes se encuentren en proporciones que nunca se puedan separar.

No se sorprendan por esto, porque mediante el artificio y con la cooperación de la Naturaleza<sup>236</sup> he separado los cuatro elementos de algunos cuerpos inferiores, para obtener por separado Agua, Fuego y Tierra y a cada uno de ellos les he depurado sus accidentes —lo mejor que pude—, mediante algunas operaciones secretas. Luego los he unido y he obtenido una cosa maravillosa.<sup>237</sup> Que no estaba sometida a ninguno de los elementos inferiores. De hecho, siempre había estado en el Fuego y nunca se había quemado y nunca se había transmutado.

No se sorprendan, ahora, si los cuerpos supralunares son incorruptibles ya que ellos están constituidos enteramente de esos elementos. No hay duda de que la sustancia de la cual he hablado tiene mucho de la naturaleza de los cuerpos celestes. Por lo tanto, como dice Hermógenes<sup>238</sup> que fue tres veces grande en Filosofía: “Con respecto al Aire y a la Tierra cuando alcanzan la perfección, fue para mí un júbilo sin par cuando observé la Quintaesencia sin la materia elemental”, como explicaremos a continuación.

Además, un puñado de Fuego tiene la potencia de cien de Aire fuerte y que en unos puñados de Fuego fuerte entran miles de Tierra. Sin embargo, no sabemos con que pesos se han mezclado estos elementos. No obstante, por artificio y con la colaboración de la Naturaleza, pude separar los cuatro elementos de algunos cuerpos y depurar a cada uno y en la unión de ellos puse pesos iguales de Aire, Agua y Tierra.

Del verdadero Fuego, puse una décimosexta parte y aunque esta formación está compuesta de los [cuatro] elementos, tiene más de naturaleza ardiente que otro compuesto. En efecto, echándole una sola parte en mil de mercurio metálico, vemos como coagula y se vuelve de color rojo, porque parece que tal composición tiene alguna característica de la naturaleza de los cuerpos celestes. De hecho, en las transmutaciones, ella se comporta como la forma o principio de acción más potente.

## CAPÍTULO II

De los cuerpos inferiores, del ser y la esencia de los minerales y en primer término, de las rocas.

mento” o “cielo cristalino” era la esfera más alejada del centro y estaba inmóvil y en él se encontraban las “estrellas fijas”. La religión asoció ese cielo cristalino a la morada de Dios y los ángeles que transmitían sus influencias a las esferas móviles y de allí a la Tierra.

<sup>235</sup> Muchas obras alquímicas de la época helenista eran atribuidas a personajes bíblicos, Isaac, Abraham, Moisés, su hermano Aarón y su hermana Miriam (María la judía), etc.

<sup>236</sup> Concepto clásico y central de la Alquimia: la obra del hombre no puede violar las leyes naturales; al contrario, el alquimista (también el artista) obtiene su capacidad de la conciencia de los procesos de la Naturaleza. Sólo puede cooperar con la Naturaleza, no violarla o pretender sustituirla.

<sup>237</sup> Afirma haber obtenido, lo que luego llamaría “la piedra filosofal”.

<sup>238</sup> Se conoce una *Epístola* de carácter alquímico atribuida a un autor de este nombre (cfr. Pietro Borelli, *op. cit.*, p. 112) pero parece más bien, una deformación de Hermes Trismegistus, el mítico fundador de la Alquimia.

Ahora es el momento de describir las propiedades de los cuerpos inferiores.

Dado que estos se dividen en minerales, plantas y animales, consideraremos primero el ser y la esencia de los minerales.

Los minerales se dividen en rocas y metales, y sus naturalezas se llevaron a cabo por las mismas razones, excepto que en el caso de los segundos su esencia surgió por la supuesta acción de numerosas transmutaciones de los elementos de los cuerpos supralunares ya que la materia de ellos está compuesta de múltiples formas. La materia de las rocas es Agua, aunque tosca e impura y posee mayor o menor carácter terrestre según la pureza de la roca.

En segundo término, como dice Aristóteles en su libro *Meteororum* (otros, en cambio, piensan en el capítulo de Avicena<sup>239</sup>) las rocas no están compuestas por Tierra pura sino por Tierra acuosa. Así vemos que se generan rocas en los ríos y que la sal se forma a partir del agua salada, que posee mucha terrenalidad y que hay rocas que se generan por el calor del Sol o del Fuego.

Ahora bien, la materia de las rocas es Agua tosca<sup>240</sup> pero su principio activo es el calor o el frío que endurecen el Agua y mediante esas acciones la llevan a obtener la esencia pétreo. La naturaleza de la piedra se encuentra en las plantas, en los animales y, ciertamente, al estudiarlas, estas rocas no están privadas de grandes virtudes. Algunas de esas virtudes han sido representadas en los animales<sup>241</sup> por efecto de la calidez y en muchos casos le comunican propiedades más eficaces que aquellas que no proceden de los animales.

Otras rocas se forman mediante las virtudes minerales en cooperación con la Naturaleza. Porque, como dice Aristóteles<sup>242</sup>, algunas se producen con dos aguas, una de ellas es la Leche de Virgen<sup>243</sup>, que solidifican rápidamente a la roca. Así ocurre con el litargirio<sup>244</sup> disuelto en ácido acético y agua de una sal alcalina<sup>245</sup>. Si bien estos dos líquidos son muy claros y transparentes, cuando se mezclan forman inmediatamente un agua densa y blanca como la leche.

Cuando se embeben en esta agua los cuerpos que se van a condensar como piedras, se coagulan. Puesto que la cal de plata<sup>246</sup> y otros cuerpos similares se impregnan de este modo y luego, según la Alquimia<sup>247</sup>, se colocan sobre un fuego suave se originará una piedra, ya que esa leche tiene la capacidad natural de coagular las cales a piedras.

<sup>239</sup> Abu Ali ibn Sina (980-1037), conocido como Avicena, fue científico, médico y filósofo. Escribió sobre la generación de los minerales (*De Mineralibus*), negando la posibilidad de la transmutación.

<sup>240</sup> “La materia prima de los minerales es un material húmedo y untuoso, sutil y fuertemente incorporado en una materia terrestre” (Alberto Magno, *De Mineralibus*, lib. III cap. II)

<sup>241</sup> Son los cálculos renales o vesiculares, a los cuales la antigua farmacopea atribuía virtudes medicinales.

<sup>242</sup> No se trata de Aristóteles, sino de uno de los tantos escritores de Alquimia que firmaron su obra con el nombre del estagirita, como *De secretis secretorum ad Alexandrum Magnum*, el *De perfecto magisterio*, el *Liber de practica lapidis* y muchos otros, los más antiguos de los cuales se remontan a la época alejandrina.

<sup>243</sup> Identificable con el mercurio metálico, según G. Testi, *Dizionario di alchimia e chimica antiquaria*, Roma, Mediterranée, 1980, p. 108.

<sup>244</sup> Litargirio (etimológicamente piedra de plata) fue el nombre dado por Dioscórides a un mineral de plomo que al purificarlo daba plata como subproducto. El litargirio como mineral (PbO) fue descubierto recién en 1917.

<sup>245</sup> Alcalí era el nombre que cubría una gran cantidad de materiales que como era común en la terminología alquímica no era verdaderamente unívoca. Generalmente se indicaba con este término algunos compuestos solubles de potasio de sodio o de amonio. Los alquimistas indicaban con el nombre de “sal” a todo compuesto que hubiese sido calcinado.

<sup>246</sup> Plata metálica precipitada de su sulfato ácido mediante virutas de cobre. G. Testi. *Op. cit.* p. 56.

<sup>247</sup> Considerada como el arte de tratar a los cuerpos naturales (vegetales, minerales) a efectos de obtener las “virtudes” subyacentes.

Observamos también que la sangre, el huevo, el cabello, el cerebro y otras partes animales pueden hacer piedras con admirable eficacia y virtud. Por ejemplo, la sangre: Tomar sangre humana y putrifacerla con estiércol caliente. Luego ponerla en el destilador y destilará un agua blanca, brillante parecida a la leche. Si enseguida se aumenta el fuego, destilará un aceite, luego al rectificar el sedimento remanente en el alambique, este queda blanco como la nieve que al volcarlo en el aceite dará una piedra brillante y roja de extraordinaria potencia y virtud para detener las hemorragias y expulsar muchas enfermedades. También se pueden extraer aguas de las plantas, como se indica a continuación: quemamos plantas en un horno de calcinación y después convertimos las cales en agua y destilamos y coagulamos para que se forme una piedra de óptimas virtudes y eficacia similar a la de la planta de partida.

Algunos incluso hacen las piedras por medios artificiales, las cuales, al ser expuestas a todas las pruebas muestran que esas piedras son similares a las naturales, como los que hacen una amatista similar a la amatista natural, o un zafiro parecido al natural, siguiendo un procedimiento general.

Se dice que la materia de todas las piedras preciosas es el cristal, que es un agua que tiene poco carácter terrestre y que se ha coagulado por la acción de un frío muy intenso. Moliendo el cristal sobre el mármol y embebiéndolo varias veces con agua fuerte<sup>248</sup> clarísima, disolviendo su acidez muchas veces, moliendo y desecando, se ha obtenido una piedra casi natural que luego la han puesto sobre estiércol caliente y al tiempo se convirtió en agua, la cual destilaban para volatilarla en parte.

Después de esto han obtenido otra agua, de la orina de niño<sup>249</sup> y vitriolo rojo calcinado<sup>250</sup>. De manera similar, destilaron y mezclaron varias veces pesos iguales de ambos líquidos, poniéndolos sobre estiércol, porque así se unen mejor. La destilación la hacían a fuego lento según el arte alquímico, con lo que producían una piedra en todo similar a la amatista. Cuando querían fabricar el zafiro usaban como segundo líquido uno hecho con orina de niño y con vitriolo azul<sup>251</sup> y así cambiaban de agua según la diversidad del color que querían obtener. De todo esto, es evidente que la naturaleza de las piedras es el agua. Pero, el agente que provoca los cambios en la naturaleza es el calor o el frío y ya sea que el calor sea tenue, o que el frío sea intensísimo, estos dos factores extraen de la materia la forma de la piedra. En las piedras, al igual que en otras cosas, observamos tres principios constitutivos, a saber, sustancia, virtud y acciones. Hemos juzgado las virtudes de las operaciones secretas, y ocultas, eficacísimas para la obtención de algunas de las piedras, que son como las operaciones naturales que ocurren en los cuerpos supralunares.

No cabe duda que las piedras tienen algunas de las virtudes ocultas de los cuerpos supralunares y que forman parte de sus sustancias. [Los alquimistas] no dicen de qué sustancias están compuestos los cuerpos estelares sino que dicen que tienen algunas virtudes que van más allá de los cuatro elementos y que algunas rocas participan también de la naturaleza estelar, como de los cuerpos supralunares, según testimonié en el tratado sobre los cuerpos supralunares. Después de haber separado los cuatro elementos de un cuerpo cualquiera, se purifican y así purificados se reúnen y surge una piedra de tanta eficacia y de virtudes admirables, contra las cuales no hay ningún poder de los elementos toscos inferiores. Sobre lo que Hermógenes (a quien Aristóteles llamó padre y que fue tres veces grande en filosofía y completo en el conocimiento de la teoría y de las operaciones de la ciencia) dijo: “fue para mi un júbilo sin par cuando observé la Quintaesencia sin la naturaleza elemental de virtudes inferiores”. Debido a esto, aparece evidente que algunas piedras tienen algo de la

---

<sup>248</sup> Ácido nítrico.

<sup>249</sup> Uno de los tantos nombres que los alquimistas daban al mercurio filosofal. Otro nombre “curioso” era leche de una vaca negra”.

<sup>250</sup> Caparrosa roja, Sulfato de cobalto (II).

<sup>251</sup> Sulfato de cobre (II).

Quintaesencia. Se nota de manera sencilla y manifiesta, que la razón es la que opera el arte en nuestros días.

### CAPÍTULO III

Del ser y la esencia de los metales, pero antes del ser y la esencia, de su constitución natural y de los supuestos sobre su ser.

Se supone que el ser de los metales está determinado por la materia de los planetas, ya sea de los similares o de los artificiales. Luego son siete los metales, cada uno correlacionado con su planeta, a saber: el Oro con el Sol, la Plata con la Luna, el Hierro con Marte, el Mercurio con Mercurio, el Estaño con Júpiter, el Plomo con Saturno y el Cobre con Venus y cada metal es llamado con el nombre de su planeta.

#### *De la materia sustancial.*

La materia sustancial<sup>252</sup> de todos los metales es el Mercurio<sup>253</sup> que en algunos metales está coagulado mediante una congelación débil y en otros está coagulado por una congelación fuerte<sup>254</sup>. Por lo tanto, el grado de acción de los metales depende del grado de acción de los planetas. El azufre todo puro contiene mercurio congelado. Aquellos metales que tienen una coagulación débil, como del tipo terrestre, tienen modos materiales y de potencia inferiores u opuestos en comparación con los otros metales. Así el plomo es mercurio terrestre poco congelado, sutil y escaso y que la acción de su planeta es lejana y débil por lo que es inferior al estaño, al cobre, al hierro, a la plata y al oro.

El estaño es mercurio claro coagulado por un azufre en bruto y no puro. Por eso no tiene la potencia del cobre, del hierro de la plata o del oro. El hierro es mercurio terrestre muy impurificado y azufre terrestre muy grueso y fuertemente coagulado por la acción de su planeta y por eso es inferior al cobre, a la plata y al oro. El cobre, debido al influjo de su planeta, está coagulado con abundante azufre y por mercurio medianamente tosco. Por eso no tiene la potencia de la plata y del oro. La plata está formada por azufre blanco, claro, sutil, no inflamable y por mercurio sutil, coagulado, límpido y claro esto se logra con la cooperación de su planeta Luna y sólo el oro es más potente que ella.

El oro, en verdad, es el más perfecto de todos los metales. Está formado de un azufre rojo, claro, sutil y no inflamable y por un mercurio sutil y claro. Ambos están tan fuertemente congelados por la cooperación del sol, que el oro no puede ser quemado, mientras que todos los demás metales sí se queman.

Por eso, es evidente que se puede hacer oro con todos estos metales y que de todos los demás metales, excepto el oro, se puede hacer plata; y esto es evidente en los minerales de plata y de oro, de los que se pueden extraer otros metales que se han encontrado conjuntamente con la marcasita<sup>255</sup> de oro y plata. Y, a partir de esto, no cabe duda que si se permitiera la acción natural durante un tiempo adecuado, los demás metales se convertirían en plata y oro.

<sup>252</sup> Lo que persiste a pesar de los cambios constantes de las cualidades accesorias.

<sup>253</sup> No debe entenderse el mercurio metálico sino un principio constituyente. Lo mismo vale para el azufre.

<sup>254</sup> Cfr. Geber, *Summa Perfectionis*. Lib. II. Parte I. Cap. X,

<sup>255</sup> mineral que contiene mayoritariamente sulfuro de hierro (FeS<sub>2</sub>) cristalizado en el sistema ortorrómbico.

Como es posible obtener el oro de otros metales destruyendo las formas sustanciales de esos metales y se sabe como esto debe hacerse, expondremos en el tratado *De esse et essentia rerum sensibilium*,<sup>256</sup> la manera de tratar en general la verdad de esas afirmaciones.

#### CAPÍTULO IV

De la transmutación de los metales y la primera de ellas que se consigue mediante el artificio.

La transmutación de los metales se realiza por artificio, cambiando la esencia de un metal por la esencia de otro. Ciertamente, la potencia puede traducirse en acto, como afirmaron Aristóteles o Avicena<sup>257</sup>. La habilidad de los artífices de la Alquimia nunca podrá verdaderamente transmutar, a menos que se realice la reducción a la materia prima. Como he dicho, todos los metales tienen algo próximo al mercurio, pero la materia prima es un agua remota.<sup>258</sup>

Si bien esta reducción está muy estrechamente relacionada con la naturaleza, es útil ayudar a la Naturaleza mediante el Arte. Esto es difícil y por tal dificultad muchos se han vuelto necios perdiendo su juventud y sus facultades en vano por esta ciencia, seduciendo después a reyes y príncipes, perdiendo la esperanza de encontrar la verdad de esta ciencia, sin indagar ni saber, sin aspirar a profundizarla. Por eso hay errores en los libros, tantas tonterías, tantas operaciones diversas escritas por ignorantes, que si uno operase siguiendo esas indicaciones, desesperaría de la ciencia por los mínimos resultados.

Yo observé todas esas cosas y el modo en que los reyes intentaron operaciones sutiles y a fuerza de nunca haber visto a alguien capaz de alcanzar la perfección, creí que esa ciencia no existía.<sup>259</sup>

Pero luego volví en mí, consideré los libros de Aristóteles, y de Avicena sobre los secretos de los misterios, y he encontrado que parecían vacíos de razón, porque muchos de los hechos de la ciencia son confusos y porque las declaraciones son enigmáticas. Consideré las contradicciones en los libros y encontré alienaciones similares. Pero cuando consideré los principios naturales, encontré cuánto se puede hacer por medio de ellos. Observé como el mercurio penetraba y atravesaba otros metales, como se contacta el mercurio el bronce, con cantidades iguales de sangre y arcilla, penetrando desde el exterior al interior y se vuelve rápidamente blanco, aunque no dura mucho con ese color.

Ahora que se conoce que el mercurio se mezcla con otros cuerpos y los penetra, reflexioné que si ese elemento fuese retenido y no pudiese evaporarse y se hubiese fijado a la íntima composición del cuerpo, el cobre y otros cuerpos no serían quemados por los cuerpos que no tienen acción sobre el mercurio. El cobre sería ahora similar al mercurio y tendría las mismas virtudes.

Sublimé<sup>260</sup> muchas veces el mercurio<sup>261</sup> a fin de ver si tiene disposición para producir su fijación, ya que no es muy volátil al fuego. Así sublimado, lo disolví en agua a fin de reducirlo a la ma-

<sup>256</sup> No se conoce ninguna obra con este título. Puede que se haya perdido o que el título sea diferente.

<sup>257</sup> Referencia curiosa, ya que Avicena descreía de la posibilidad de la transmutación.

<sup>258</sup> Debe entenderse como un elemento primigenio, parecido al agua, (Santo Tomás consideraba al elemento Agua como el más importante de los cuatro aristotélicos) pero esa materia primigenia no es de este mundo sino *remota*.

<sup>259</sup> Este tipo de confesión autobiográfica era bastante común entre los alquimistas. El operador –narrador– solía contar su desconcierto frente a los misterios que expresaban los libros, a las pistas falsas que daban los maestros y a las falsedades de los charlatanes. Sólo más tarde, después de haber superado la crisis del desaliento (etapa necesaria en la iniciación) se producía una *revelación* que le aclaraba todo y le mostraba la vía adecuada para la realización de la Obra.

<sup>260</sup> Aquí significa *purifiqué*.

<sup>261</sup> Probablemente haya sido cinabrio (HgS)

teria prima. Lo sumergí repetidamente en cal de plata y de arsénico sublimado<sup>262</sup> y lo disolví calentándolo con estiércol de caballo. Enfrié lo que se había disuelto y obtuve una piedra clara como cristal que tenía la propiedad de dividir, de unir, de penetrar en los cuerpos y fijarlos, de modo tal que si se echa un poco de esta sustancia sobre abundante cobre, lo transforma instantáneamente en plata tan pura que no se puede encontrar otra mejor.

Quise también convertir en oro nuestro azufre rojo, hirviéndolo en agua fuerte a fuego lento. Cuando esta agua se volvió roja, la destilé en el alambique y quedó en la cucúrbita<sup>263</sup> azufre *rubedo* puro<sup>264</sup> que enfrié con dicha piedra blanca para hacerla roja. Luego apliqué una pequeñísima porción de esta piedra sobre mucho cobre y recogí oro purísimo. No obstante, de este experimento hablo muy genéricamente y de manera oscura para no revelar aquí cómo se hace, de modo que una persona no pueda empezar a trabajar sin antes conocer completamente las formas de destilación, sublimación, congelación, los usos de los recipientes y la cantidad y calidad de los fuegos que se emplean.

Observé también que el rejalgar<sup>265</sup> sublimado, aunque no se fija, aplicado al cobre lo blanquea mucho; tanto que si se mezclase con la mitad de su peso de plata pura se obtendría buena plata, aunque no pura, porque expuesta al fuego no queda blanca.

El oropimente<sup>266</sup> sublimado actúa de la misma manera, pero ya he dicho que este método es una transmutación de un metal a otro.

## CAPÍTULO V

De la naturaleza y preparación del nuevo Sol y la nueva Luna mediante la virtud del azufre extraído de la piedra mineral

Sin embargo, hay otra forma más noble de transmutar el mercurio en oro o plata por la virtud del azufre rojo y el blanco<sup>267</sup>, clarísimo, seguro, no inflamable, según lo que afirma Aristóteles en el *Secretis Secretorum* donde la expone de manera general y algo confusa, para ocultarla a los sabios, diciéndole a Alejandro<sup>268</sup>: La Divina Providencia te ayudará a esconder tu propósito y a implementar el secreto, por lo que hablaré oscuramente nombrando algunas cosas de las cuales se puede recabar esa naturaleza tan potente y noble. Por eso no he publicado este libro para personas comunes, sino apropiado para los que son perfectos.

Ruego, sin embargo, que nadie presuma de comenzar la obra, sin tener en cuenta lo que estoy diciendo y sin ser muy perito y experto en los principios naturales, y muy entendido en los modos de destilación, disoluciones y congelaciones y, especialmente, en igniciones. Ignoraré al hombre que esté dispuesto a preparar esto por avaricia<sup>269</sup>. Sólo hablaré para aquellos que actúen con discreción y diligencia. Hay pues algunos minerales a los cuales, ciertamente, se les ha extraído tales vir-

<sup>262</sup> Ácido arsenioso.

<sup>263</sup> La parte inferior del alambique, con forma de calabaza, que quedaba expuesta al fuego y contenía el material a tratar.

<sup>264</sup> Es la esencia del azufre, su parte constituyente originario, casi arquetípica de la materia. El rubedo, o sea, ser rojo, era un rasgo distintivo de una fase operativa de la Gran Obra.

<sup>265</sup> O rubí de arsénico, sulfuro de arsénico II nativo (rojo rubí)

<sup>266</sup> Sulfuro de arsénico III nativo, anaranjado amarillento.

<sup>267</sup> No se trata de la sustancia simple azufre sino de compuestos de azufre.

<sup>268</sup> Aristóteles fue el instructor de Alejandro Magno, hijo de Filippo de Macedonia.

<sup>269</sup> Esto sintetiza apropiadamente el espíritu del alquimista: Mantener el secreto de sus investigaciones a fin de que no sean profanados por personas indignas, ya que el fin era el conocimiento y no el lucro.

tudes, el azufre blanco y rojo claro, que no se inflaman, y de los cuales se obtienen los cuatro elementos por separación, unión y depuración.

### *Enumeración de las obras minerales.*

Por lo tanto, en el nombre de Dios<sup>270</sup>, tome una libra<sup>271</sup> [de azufre<sup>272</sup>] y tritúrela fuertemente sobre el mármol y embébalala en una libra y media del aceite de oliva purísimo que usan los filósofos<sup>273</sup> de modo que quede como una pasta. Póngala en una sartén sobre el fuego hasta que todo esté disuelto. Cuando vea que sube la espuma roja, retire la sartén del fuego para que la espuma descienda, mientras revuelve continuamente con una espátula de hierro. Cuando la espuma haya descendido vuelva a colocar la sartén sobre el fuego. Repita esto varias veces hasta que la masa se torne densa como la miel. Luego échela sobre el mármol para que se enfríe rápidamente y adquiera el aspecto de un pedazo de carne o hígado bien cocido. Córtele en pedazos muy pequeños, del tamaño de una uña y agregue una cantidad igual de quinta esencia del aceite de tártaro<sup>274</sup> y ponga todo en la sartén al fuego dejando que hierva durante casi dos horas.

Después de esto, coloque todo en un ánfora de vidrio bien luteado al *luto sapiente*<sup>275</sup>. Deje el ánfora sobre un fuego lento durante tres días y tres noches. Después ponga en ánfora con la medicina<sup>276</sup> en agua fría durante otros tres días. Luego corte la masa en trozos pequeños del tamaño de una uña y colóquela en una cucúrbita de vidrio que pondrá bajo el alambique. Destilará un agua blanca parecida a la leche y esta es la verdadera Leche de Virgen. Cuando esta agua haya destilado, aumente el fuego y viértala en otra ánfora. Tome el aire puro y excelente<sup>277</sup>, que en sí contiene fuego. Ahora quedará en el fondo de la cucúrbita una tierra negra. Calcínela en el horno de calcinación hasta que se torne blanca como la nieve. Luego colóquela en agua y destila siete veces hasta que una lámina de cobre tres veces calentada al rojo y apagada, se vuelva completamente blanca de ambos lados.

Haga lo mismo que para el aire, en todo lo relativo a la segunda destilación. En la tercera destilación en el fondo de la cucúrbita quedará un aceite o toda la tintura similar al Fuego.

Recomience ahora una segunda y una tercera vuelta y conserve el aceite: en seguida tome el Fuego del fondo, que será como sangre negra y blanda. Sáquelo, destílelo y conserve el destilado. Pruébelo con la lámina de cobre como se ha hecho con el agua y he aquí que ahora usted tiene una forma de separar los cuatro elementos.

Pero casi todos los hombres ignoran como unir los cuatro elementos. Tome, pues, la Tierra y tritúrela sobre un plano de vidrio pulidísimo o de mármol y déle a beber<sup>278</sup> tanta agua como sea el

<sup>270</sup> La práctica del laboratorio era el aspecto fáctico de una investigación espiritual. Del *oratorio* se pasaba al *laboratorio*.

<sup>271</sup> Una masa equivalente a 370/400g.

<sup>272</sup> No era lo que hoy conocemos como sustancia simple azufre. En algunos casos eran sulfuros, como el cinabrio (HgS), en otros serían distintos carbonatos.

<sup>273</sup> Podría ser realmente aceite de oliva puro, aunque los alquimistas usaban el nombre de “aceite” para más de 50 productos.

<sup>274</sup> Carbonato de potasio, antiguamente llamado *tartrato de potasio*.

<sup>275</sup> El *luto sapientiae* era un material graso que se colocaba en las juntas de dos aparatos de laboratorio como lubricante y sellador. Consistía en una mezcla de creta, estiércol de asno, minúsculos recortes de tela, cal viva en polvo y clara de huevo.

<sup>276</sup> Medicina era el nombre del material que se usaba para hacer la Piedra filosofal ya que “curaba” a los metales de sus “enfermedades” para llevarlos a la perfección del oro.

<sup>277</sup> Se debe entender como un cuerpo natural volátil, como el mercurio, en el que se creía que predominaba el elemento *aire*.

<sup>278</sup> Para los alquimistas, la materia era algo vivo, como un ser orgánico y sensible. El operador debía nutrirla como lo haría con un bebé.

peso de esa Tierra hasta que se forme una pasta. Póngala en el alambique y destile con su Fuego. Con el Agua que habrá destilado embeba una vez lo que encuentre en el fondo de la cucúrbita, hasta que esa agua sea completamente absorbida. Después déle tanto Aire como Agua haya embebido, observando el mismo orden de operaciones como ha hecho con el Agua y obtendrá una piedra cristalina, la cual, arrojada en muy pequeña cantidad sobre Mercurio metálico lo transmuta en auténtica plata. Esta es la potencia del azufre blanco no inflamable y formado por los tres elementos Tierra, Agua y Aire.

Sin embargo, si toma la decimoséptima parte del Fuego y la mezcla con esta última, destilando e impregnando como se ha dicho, obtendrá una piedra roja, clara, simple y no inflamable que si se proyecta una pequeña cantidad sobre abundante Mercurio lo convertirá en Sol obrizo<sup>279</sup> purísimo. Este es el modo de realizar la piedra mineral, como se ha dicho.

## CAPÍTULO VI

De las piedras naturales, de los animales y de las plantas. De esto trata la sexta división de este tratado.

Hay otra piedra, que, según Aristóteles, es *La piedra*, y no *una piedra*<sup>280</sup>. En los minerales, los vegetales y los animales racionales, se encuentra en cada lugar, en cada tiempo y entre todos los hombres. A esa piedra la debes putrefactar en baño de estiércol, Putrefacta ponerla en la cucúrbita del alambique y extraer los elementos del modo que he indicado más arriba, unirlos y te resultará una piedra de menor eficacia y virtud que la anterior.

Y no te sorprendas porque te haya dicho que la putrefacción la hagas bajo estiércol cálido de caballo, pero debes intentarlo como un artesano ya que si pones debajo pan de maíz, al cabo de nueve días lo verás transformado en verdadera carne mezclada con sangre. Por eso creo que Dios eligió el pan de trigo para la transustanciación en Cuerpo<sup>281</sup> y por eso se pueden obtener los cuatro elementos y hacer algunas cosas buenas.

De todo cuanto he estado diciendo, parece claro que un compuesto es un cuerpo que contiene en sí un mineral en potencia y que no se lo obtiene sólo por la naturaleza sino también por arteificio.

Bendito sea Dios, que les dio tal poder a los hombres, de modo que exista un imitador de la naturaleza que pueda conmutar las especies naturales a las que la naturaleza opera lentamente y por mucho tiempo.

He aquí que hay otros modos de transmutar los metales que los que se dan en los libros de Razi<sup>282</sup>, de Arquelao<sup>283</sup>, en el séptimo libro de *Los Preceptos*<sup>284</sup> y en muchos otros libros de Alquimia.

<sup>279</sup> Sol obrizo: oro muy puro y acendrado (sin defectos).

<sup>280</sup> Se trata de la piedra filosófica que el alquimista debe extraer de la Naturaleza, ya sea del reino mineral, vegetal o animal.

<sup>281</sup> El pan es el símbolo de Cristo (Yo soy el pan de la vida, Juan, VI, 25). La doctrina de la transustanciación considera que el pan y el vino asumen una dimensión corpórea, la carne y la sangre.

<sup>282</sup> Abu Bakr al-Rhazi (865-923), (latinizado Rasis), fue un alquimista árabe; exponente de una escuela de alquimia únicamente operativa (de laboratorio), y no especulativa-mística. Rasis (también conocido como Razi) introdujo a la sal como el tercer componente de los metales, junto con el mercurio y el azufre.

<sup>283</sup> Arquelao, filósofo griego del siglo V a. C. fue discípulo de Anaxágoras. En la *Turba philosophorum* fue uno de los nueve filósofos presocráticos que discutió sobre la Alquimia, los elementos primigenios y la génesis del mundo.

<sup>284</sup> No se sabe con certeza a qué obra hace referencia.

## CAPÍTULO VII

También hay un modo de operación que se hace por medio de los espíritus, siendo notorio que los espíritus son cuatro y se los llama espíritus porque vuelan desde el fuego. Tienen la naturaleza de los cuatro elementos y esos espíritus son: el azufre, que tiene una naturaleza ardiente; la sal amoníaco<sup>285</sup>; el mercurio, que tiene el espíritu acuoso y que también es llamado con otro nombre: *el servus fugitivus*<sup>286</sup>; el oropimente o arsénico, que tiene el espíritu térreo. Algunos han operado con uno de estos espíritus, sublimándolo y convirtiéndolo en agua, destilándolo y enfriándolo y arrojándolo sobre cobre, dijeron que lo han convertido.

Otros han operado con dos de estos espíritus, otros con tres y algunos verdaderamente mediante los cuatro. Ciertamente todos han sublimado muchas veces todos y cada uno de estos espíritus hasta fijarlos<sup>287</sup>. Los han destilado y multitud de veces los han disuelto en agua y en agua ácida, y diversos tipos de agua, y agua destilada y los han congelado, al cabo de lo cual han obtenido una piedra blanca y cristalina que arrojada en pequeña cantidad sobre cualquier metal lo transmuta en verdadera Luna<sup>288</sup>. Algunos dicen que esta piedra contiene los cuatro elementos puros. Otros creen que se debe operar con un solo espíritu unido a los cuerpos. Sin embargo, aunque parece natural, no apruebo este método y creo que es desconocido para casi todos, a pesar de que Avicena habla de él en su *Carta al Padre*<sup>289</sup>. En verdad pondré a prueba este método cuando tenga el tiempo y el lugar apropiados.

## CAPÍTULO VIII

Tome dos partes de Saturno<sup>290</sup> si desea realizar la Obra para el Sol<sup>291</sup>, o una parte de Júpiter<sup>292</sup> para el trabajo de la Luna<sup>293</sup>, y una tercera parte de Mercurio y haga una amalgama que será como una frágil piedra. Tritúrela finamente sobre mármol, impregnándola de vinagre fuerte y use agua con gran cantidad de sal común para mojarla y séquela alternativamente, hasta el máximo de agua que pueda contener la sustancia. En ese momento empápela con agua con alumbre para obtener una pasta suave, disuelva todo en agua. Destile esta última tres o cuatro veces y congélala. Tendrá la Piedra que transmuta Júpiter en Luna.

## CAPÍTULO IX

## La reducción de Júpiter, o sea el modo de realizar la obra del Sol

Para realizar el Sol, tome vitriolo rojo, depurado y calcinado y disuélvalo en orina de un niño y destile todo tantas veces hasta que el agua se vuelva muy roja. Ahora mezcle esta agua con agua congelada anteriormente y meta estos dos líquidos en un baño de estiércol por unos días para que se incorporen mejor. Destile y enfríe y tendrá una piedra similar a la amatista y arroje una séptima par-

<sup>285</sup> El texto latino dice “Sal Armoniacum” que en esa época era una mezcla de sales de la orina con hollín, pero es altamente probable que haya sido un error en la impresión y que la sustancia fuera Sal Amoniacum, o sea cloruro de amonio.

<sup>286</sup> El esclavo fugitivo, otro de los tantos nombres que recibió el mercurio.

<sup>287</sup> La fijación era un proceso mediante el cual se llevaba una sustancia líquida a un estado en el que no podía hervir, o a una sustancia sólida a un estado en el que no podía volatilizarse.

<sup>288</sup> Luna era el nombre dado a la plata.

<sup>289</sup> Se conocen dos “cartas” de Avicena con contenido alquímico: *Epistola ad Regem Hasem* y *Lapidi philosophici declaratio filio suo Albohali*.

<sup>290</sup> Plomo.

<sup>291</sup> Oro.

<sup>292</sup> Estaño.

<sup>293</sup> Plata.

te sobre Mercurio o sobre Saturno bien depurados y fijados y se transmutará en Sol obrizo<sup>294</sup> porque esa piedra tiene casi la virtud de un fermento natural.

En los libros se pueden encontrar muchas operaciones, casi infinitas, pero confusas, que llevan a los hombres a errores y a pérdidas sin utilidad, sobre todo en las preparaciones, de lo cual sería largo contar.

Pero yo no tengo fines de lucro, sino ver con mis propios ojos los maravillosos efectos de la naturaleza y las causas que los provocan, no sólo generales sino también específicas e inmediatísimas y no sólo accidentales sino que también divisé las esenciales e hice muchas pruebas en la separación de los elementos de los cuerpos.

De hecho, esta obra es verdadera y perfecta. Sin embargo, tanto trabajo y hedor y también soportar las imperfecciones de mi cuerpo han conjugado para que no me disponga, en modo alguno, a intentar nuevamente este trabajo si no me viera forzado por la necesidad.

De los minerales he dicho suficiente.

FIN

---

<sup>294</sup> Sol obrizo: oro muy puro y acendrado.

### **ANEXO 3. Traducción de parte de la obra de Santo Tomás de Aquino: Tratado de Alquimia.**

El tratado de Alquimia está dividido en ocho capítulos y es, esencialmente, un conjunto de directivas para operar en el laboratorio. Su texto traducido al español se presenta aquí:

#### TRATADO DE TOMÁS DE AQUINO EN EL ARTE DE ALQUIMIA DADO A SU COMPAÑERO FRAY REGINALDO

##### I

Vencido de tus continuos ruegos, hermano queridísimo, te propongo describir en ocho capítulos, de las partes que contiene, un breve tratado de nuestro arte, con ciertas reglas, leves operaciones eficaces y tinturas muy verdaderas contenidas en él, y quíerote rogar tres cosas:

Lo primero, que no cuides mucho de las palabras de los modernos filósofos y de los antiguos que hablan en esta ciencia, porque el arte de la alquimia tiene su asiento y fundamento en la capacidad del entendimiento y en la demostración de la experiencia. Los filósofos, pues, queriendo encubrir la verdad de la ciencia, hablaron casi todas las cosas en lenguaje figurado.

Lo segundo: que no quieras apreciar multitud de cosas, ni las composiciones de diversas especies, porque la naturaleza nunca produce sino su semejante: porque así como del caballo y la pollina se engendra el mulo con producción imperfecta, es como algunos imitadores de la ciencia producen de muchas cosas cierta multiplicidad.

Lo tercero, que no seas hablador, ni bachiller, más antes bien, pon guarda en tu boca, y así como hijo de los sabios, no arrojarás las piedras preciosas a los puercos. Teniendo paz con Dios y teniendo tu fin ordenado en tu obra, siempre la llevaras fijada en tu mente.

Cree por cierto, que si tuvieras delante de los ojos las dichas reglas, que me dio Alberto Magno, no tendrías necesidad de buscar el favor de los Reyes y de los Grandes, sino antes bien, los reyes y los señores te darían toda honra. Porque todo aquél que es reconocido en este arte sirviendo a los reyes y a los Prelados, no sólo puede ayudar a los antedichos, sino también con buen orden a todos los necesitados, y lo que recibió de la gracia, jamás debe darlo a alguno con interés.

Estén pues signadas y selladas seguramente en el secreto de tu corazón las reglas antedichas. porque en el libro y tratado que escribí antes de éste, hablé filosóficamente para los del vulgo, mas a tí, hijo de gran secreto, escribo más claramente, confiado en tu especial cuidado en el hablar.

##### II

#### DE LA OPERACION

Porque según Avicena en una epístola al Rey Assa: Nosotros buscamos una substancia verdadera y hacerla fija, compuesta de muchas, y que puesta sobre el fuego lo soporte sin quemarse. Que

será penetrante, generativa, que teñirá el mercurio y otros cuerpos con una tintura verdaderísima y con el peso debido. La nobleza de esta tintura excede al universo dichoso del mundo. Porque una cosa nuestra hace ser tres cosas. Las tres, dos; las dos, finalmente, son una.

Finalmente, así como conviene que sea una sustancia como dice Avicena, así también conviene tener paciencia, espera e instrumentos.

Paciencia, porque según Pedro, la presura y el arrebatamiento vienen del Diablo. Por eso quien no tiene paciencia aparte su mano de la operación.

La espera también es necesaria para toda acción natural, que sigue nuestro arte, ya que tiene su modo y tiempo determinado.

Los instrumentos, pues, también son necesarios, empero no muchos como parecerá en lo siguiente, porque nuestra obra se perfecciona en una cosa, con un vaso, en una operación según Hermes y por un camino.

Esta medicina, ciertamente, aunque es agregada de muchas cosas, con todo eso, es una sola materia que no necesita de alguna otra hazaña, si no es del fermento blanco o rubio, por lo cual es pura, natural, nunca puesta en alguna otra obra, y de la cual, en el régimen de la obra, aparecerán diversos colores según los tiempos.

También conviene en los primeros días levantarse de mañana y ver si la viña floreció. En los siguientes días se verá transmutado en soledad, ciego, y con múltiples colores, en los que predomina un intenso color blanco, llegado el cual esperemos sin error alguno a Nuestro Rey, elixir o polvo simple sin tacto, piedra que tiene tantos nombres cuantas son las cosas en el mundo. Mas para explicarme en breve nuestra materia o magnesia es nuestro argento único mineral, la orina de los muchachos de doce años debidamente preparada, que viene luego de la vena y nunca fue en ninguna obra grande que escribí para los vulgares; nuestra tierra de España, o antimonio.

Con todo eso, no notes aquí el argento vivo común, del que usan algunos multiplicadores y sofistas, del cual si algo se hace se llama solamente multiplicación, y con todo eso tiñe un poco respecto del Magisterio. Aunque causara largos gastos y si agradare trabajar con él, en él hallarás la verdad, mas requiere larga digestión.

Sigue pues al Santo Alberto Magno, mi Maestro, y trabaja con argento vivo mineral y el mismo es de nuestra obra perfectivo por la combustión, salvificativo y efecto por la fusión, porque cuando se fija es tintura de blancura o de rubio, de una compostura abundantísima, de un esplendor resplandeciente y no se aparta de lo mezclado, porque es amigable a los metales y un medio de juntar las tinturas, porque se mezcla con ellos entrando en lo profundo y penetrando naturalmente, porque se junta con ellos.

### III

#### DE LA COMPOSICION DEL MERCURIO, Y DE SU PREPARACION

Aunque nuestra obra se perfecciona de nuestro solo mercurio, a pesar de eso necesita de fermento rojo o blanco, pues se mezcla más fácilmente con el sol y con la luna, y se hace una sola cosa con él, siendo así que estos dos cuerpos participan más de su naturaleza, luego son más perfectos que los demás.

La razón es porque los cuerpos son de tanta mayor perfección cuanto más contienen de Mercurio. El sol, pues, y la luna, teniendo más de él, se conmezclan para la rubio y para lo blanco, se fijan estando en el fuego, porque el mismo mercurio solo es el que perfecciona la obra y en él hallamos todas las cosas de que necesitamos para la Obra, al cual no se debe juntar cosa extraña.

El Sol y la Luna no son extraños a él, porque los mismos se vuelven en su primera naturaleza al principio de la obra, esto es el mercurio, porque de él tomaron su origen. Algunos, pues, porfían haciendo la obra con el solo Mercurio o con la magnesia simple, lavándola en vinagre fuerte, cocciéndolo en aceite, sublimando, asando, calcinando, destilando la quintaesencia, sacando, con los elementos y otras infinitas martirizaciones, atormentando al mismo Mercurio, y creyendo con sus operaciones que de ellas han de hallar alguna cosa grande. Finalmente muy poco logro hallan.

Mas créeme, hijo, que todo nuestro Magisterio está y consiste en sólo el régimen del fuego con la capacidad de la industria. Porque nosotros nada obramos, mas la virtud del fuego bien regido con poco trabajo hace nuestra piedra, y con pocos gastos.

Juzga que cuando nuestra piedra fuese una vez suelta en su primera naturaleza, es a saber, en la primera agua, o leche de virgen, o cola del dragón, entonces la misma piedra ella se calcina, sublima, destila, reduce, lava, congela, y por la virtud del fuego proporcionado, a sí misma se perfecciona en un solo vaso, sin operación manual de otro.

Conoce pues hijo, cómo los Filósofos hablaron figuradamente de las operaciones manuales, pues para que estés seguro de la purgación de nuestro Mercurio, te enseñaré que con una verdadera operación nuestro mercurio común es preparado levísimamente.

Recibe pues, Mercurio mineral o tierra hispánica, antimonium nostrum, o tierra negra oculosa, todas las cuales cosas son una misma, no inferiores de su género, el cual no se haya puesto antes en obra alguna, cinco libras y veinte a lo más, y haz que pase por un paño de lino espeso tres veces. Después haz que pase por el cuero de liebre. Finalmente haz que pase por un paño de lino espeso, y ésta es la verdadera lavadura. Y atiende: si alguna cosa queda en el cuerpo de su grosura, o algún espesor de porquería, o hediondez. Entonces ese mismo mercurio no vale para nuestra obra. Pero si nada aparece, bueno te es. Advierte que con este mercurio, sin añadirle ninguna cosa, pueden hacerse la una y la otra obra.

#### IV DEL MODO DE AMALGAMAR

Puesto que nuestra obra puede completarse a partir de sólo el Mercurio sin añadir ningún producto extraño, se deduce que se describa muy brevemente el modo de componer la amalgama. Pero en cambio, algunos entienden mal a los filósofos porque creen que a partir del solo mercurio, sin ninguna hermana como semejante, se puede terminar la obra. Yo sin embargo, te digo con seguridad, que cuando trabajes con el mercurio, no añadas nada extraño a él, y sepas que el oro, y la plata, no son extraños al mercurio; más aún, participan de su naturaleza de una manera más cercana que cualquier otro cuerpo. Por lo cual, reducidos a su primera naturaleza, se llaman hermanos semejantes al mercurio por su composición y por su fijación simultánea. Si esto lo entiendes con claridad, emanará leche de la virgen, y si trabajas con el mercurio no añadiéndole ninguna cosa extraña, conseguirás lo que deseas.

## V DE LA COMPOSICION DEL SOL Y DEL MERCURIO

Recibe del sol común depurado, esto es, en el fuego calentado, porque es fermento de la rubez, dos onzas, y quíébralas en pedazos pequeños con la tenaza, añádelo a catorce onzas de mercurio, y haz humear al mercurio en la teja y desata mi sol y muévelo con una vara de palo, hasta que el sol se desate bien y se mezcle; entonces échalo todo en agua clara y en una escudilla de vidrio, o de piedra, y lava muchas veces, limpiando y mudando por tanto tiempo, hasta que la negrura toda se aparte del agua. Entonces si quieres advertir, la voz de la tortolilla se oye en nuestra tierra, la cual limpia, haz que la amalgama o composición pase por el cuero, bien ligado por arriba, exprimiendo toda la amalgama, sin dos onzas, y quedarán en el cuero catorce, y aquellas catorce onzas son las cosas aptas para nuestra operación.

Atiende que deben ser ni más ni menos que dos onzas de toda la materia que queden en el cuero. Si fuesen más, disminúyela. Y estas dos onzas exprimidas, que se llaman leche de la virgen, guárdalas para la segunda operación.

Póngase pues la materia desde el cuero en el vidrio, y los vidrios en el hornillo arriba descripto, y encendida debajo una lámpara, de manera que esté continuamente ardiendo de noche y de día, que nunca se apague, y la llama derechamente dé en lo una vez encerrado, con todo eso no toque la olla, y se extienda semejantemente a todas las partes del hornillo, bien negras.

Mas si después de un mes o dos quisieses mirar, verás flores vivas y colores principales, como negro, blanco, citrino y rubio, entonces, sin alguna operación de tus manos, con el régimen del fuego sólo, lo manifiesto será abscondido<sup>295</sup> y lo abscondido se hará manifiesto.

Por lo cual nuestra materia a sí misma se lleva al perfecto elixir volviéndose en polvo sutilísimo, que se llama tierra muerta, o hombre muerto en el sepulcro, o magnesia árida, porque el espíritu en él esta ocultado en el sepulcro, y del ánima casi se apartó. Permítela pues estar entonces, desde el principio hasta veintiséis semanas, y entonces lo grueso está hecho grácil, lo leve ponderoso, lo áspero suave, y lo dulce amargo, por la conversión de las naturalezas, cumplidas ocultamente por virtud del fuego.

Cuando vieres pues tus polvos enjugados: *et si proban, et expensas desideras tingent*. Después enseñaré una, o dos partes, porque una parte de nuestra obra solamente teñirá siete de mercurio bien purgado.

## VI DE LA AMALGAMACION DE LO BLANCO

Del mismo modo se procede para lo blanco, esto es, luna, esto es, fermento de la blancura; cuando mezclares con siete partes de Mercurio purgado, en el mismo procederás como hiciste el rubio. Porque en toda obra blanca nada entra sino blanco, y en toda obra rubia, nada sino rubio debe entrar: porque de la misma agua nuestra se hace lo rubio y lo blanco, empero añadiendo distinto fermento, y pasado el tiempo antedicho puede teñir blanco sobre mercurio, como para rubio hiciste.

Empero nota que el argento foliado en esta materia, es más útil que el argento en masa, porque tiene en sí mixtura de algunas heces de mercurio y se debe amalgamar con mercurio frío y no caliente. De otra suerte gravísimamente yerran algunos obrando esto, disolviendo la amalgama en

<sup>295</sup> *Absconditum* es lo que está privado de ver a determinadas personas pero no a otras.

agua fuerte para purgarla, y si quieren mirar la naturaleza de la composición del agua fuerte, la misma por esto se destruye más.

Algunos también quieren obrar con sol o luna mineral, según las reglas de este libro, y yerran diciendo que el sol no tienen humedad y es cálido de manifiesto, y por eso muy bueno. Antes bien, se saca la quintaesencia con el ingenio sutil del fuego en el vaso de circulación que se llama pelícano. Mas el sol mineral y la luna tienen en sí mezclada tanta suciedad de hez, que la purificación de ellos, potente al nuestro, no sería obra de mujeres y juego de niños, mas antes bien trabajos muy fuertes de varón anciano, desatando, calcinando, insistiendo a otras operaciones del arte grande.

## VII DE LAS OPERACIONES SEGUNDA Y TERCERA

Acabada esta primera obra, procedamos a la segunda práctica. Luego que se hizo el cuerpo de nuestra primera obra con la cola del Dragón, esto es, la leche de la virgen, añadidas siete partes de mercurio nuevo sobre la materia que queda, según el peso de los polvos, Mercurio digo purificado y limpiado, haz pasar por el cuero y retén siete partes del todo; lava y ponlo en el vidrio y en el hornillo, como hiciste en la primera obra, controlando por todo el tiempo, o estando cerca hasta que hayas visto hechos los polvos otra vez, los cuales por segunda vez toma o saca, y si quieres tiñe, y estos polvos son mucho más sutiles que los primeros, porque están más digeridos, porque una parte tiñe cuarenta y nueve en elixir.

Entonces, procede a la tercera práctica, como hiciste en la primera y segunda operación, y pon sobre el peso de los polvos de la segunda obra, siete partes de mercurio purgado, y pon en el cuerpo, de manera que las siete partes queden en el todo como antes. Y por segunda vez cuece, y haz polvos, los cuales de verdad son polvos sutilísimos, de los cuales una onza tiñe siete veces cuarenta y nueve, que son trescientos cuarenta y tres y esto sobre mercurio. La razón es porque cuanto más se digiere nuestra medicina, tanto más sutil se hace y cuanto más sutil fuere, tanto más penetrable, y cuanto más penetrable tanto más profundo tiñe.

Por fin, de esto se entienda, que si no tienes argento vivo mineral, seguramente podrás trabajar con mercurio común, porque aunque no valga tanto como éste, con todo eso da largas expensas.

## VIII DEL MODO DE OBRAR EN LA MATERIA O MERCURIO

Más cuando quieras teñir mercurio, toma la teja de plateros de oro, y úntala un poco por dentro con sebo, y ponlo en ella, según la proporción de la medicina, sobre fuego lentísimo y cuando el Mercurio comenzare a humear, echa dentro de tu medicina encerrada en cera limpia, o en papel, y ten carbón encendido fuerte y preparado para esto, y pon sobre la boca de la teja. Y da fuerte fuego, y cuando todo se hubiera liquidado, échalo según las reglas, untada con sebo, y tendrás sol o luna finísima, según la adición del fermento.

Mas si quieres multiplicar tu medicina en el estiércol del caballo. haz esto como boca a boca te enseñé, como sabes, lo cual no te escribo porque sería pecado revelar este secreto a hombres seculares que buscan esta ciencia mas por vanidad que por el debido fin y honra de Dios, al cual sea la honra y gloria en los siglos de los siglos. Amén.

Mas aquella obra que escribí para los vulgares con estilo bastante físico, ví trabajarla una vez para siempre al Santo Alberto, de Antimonio y de tierra española a tí conocida. Mas porque es de más logro y tiempo, y para no caer en la indebida extensión, ojalá te procure el obrar más ligero, aquella breve obra que escribí, en la cual ningún error hay, con las expensas moderadas, levedad de la obra, brevedad de tiempo, y el fin verdaderamente deseado. De lo cual tú y todos los tuyos percibiréis sin falsedad.

No quieras pues, queridísimo, ocuparte con mayor obra, porque por la salud y oficio de la predicción de Cristo, y logrando el tiempo, desees más atender a las riquezas espirituales que ansiar por los logros temporales.

FIN DEL TRATADO

#### Anexo 4. Traducción de un escrito de Arnaldo de Villanova: *Semita semitæ*

En el año 1303, Arnaldo le envió al Papa un escrito explicando como hacer la piedra de los filósofos según la *Turba Philosophorum*, trabajo que se conoce como *Semita semitæ* cuya traducción es:

##### *El camino de los caminos*

Aquí comienza el camino de los caminos. Un tratado corto, breve, sucinto, útil a quien lo entienda. Los buscadores hábiles encontrarán en él una parte de la piedra filosofal que otros filósofos han ocultado cuidadosamente.

Padre venerable, préstame piadosamente el oído. He aprendido que el mercurio es el esperma que ha cocido a todos los metales; esperma imperfecto cuando sale de la tierra a causa de un cierto calor sulfuroso. Según su grado de sulfuración, el engendra a los diversos metales en el seno de la tierra. Hay, por lo tanto, una sola materia prima de todos los metales. Según una acción natural más o menos fuerte, según el grado de cocción él toma formas diferentes. Todos los filósofos están de acuerdo sobre este punto. He aquí la demostración: cada cosa está compuesta por los elementos en los cuales se puede descomponer. Citaré un ejemplo imposible de negar y fácil de entender. El hielo con la ayuda del calor se resuelve en agua, por lo que es agua. Pero todos los metales se resuelven en Mercurio; por lo que el Mercurio es la materia prima de todos los metales. Más adelante te enseñaré la manera de hacer esta transmutación, destruyendo así la opinión de aquellos que pretenden que la forma de los metales no puede ser cambiada. Ellos tendrían razón si no pudiésemos reducir los metales a su materia prima, pero voy a demostrar que esta reducción a la materia prima es fácil y que la transmutación es posible y factible. Pues todo lo que nace, todo lo que crece, se multiplica según su especie y así ocurre con los árboles, los hombres y las hierbas. Un grano puede producir miles de otros granos. Por lo tanto, es posible multiplicar las cosas al infinito. De lo que precede, aquel que analice las cosas verá que los filósofos hablaron de una manera oscura aunque, al menos, dijeron la verdad. De hecho, dijeron que nuestra piedra tiene un alma, un cuerpo y un espíritu, lo cual es cierto. Ellos compararon los cuerpos imperfectos de los metales con el cuerpo de la piedra. Los cuerpos imperfectos no tienen potencia por sí mismos, pero la piedra tiene el Agua, un espíritu vital que le da a los cuerpos imperfectos en sí, e inertes, la vida que antes no tenían y que perfecciona su forma. Llamaron a ese fermento “el alma”, pues como veremos más adelante, le había dado vida a un cuerpo imperfecto y cambió su propia naturaleza.

El filósofo dice: “Cambia la naturaleza y encontrarás lo que buscas”. Ya que en nuestro magisterio, primero tenemos que separar lo sutil de lo grosero, el espíritu del cuerpo y, finalmente, lo seco de lo húmedo, es decir la tierra del agua, es así que cambiamos la naturaleza, lo que subyace lo ponemos afuera de modo que el espíritu se convierta en cuerpo y que después el cuerpo se convierta en espíritu. Los filósofos continúan diciendo que hemos hecho la Piedra de una sola cosa con un solo recipiente y ellos tienen razón. Todo nuestro magisterio se extrae de nuestra Agua y se hace con ella. Ella disuelve los metales mismos, pero no es que cambia a agua de las nubes, como creen los ignorantes. Ella calcina y se reduce a Tierra. Ella transforma los cuerpos en cenizas, ella incinera, ella blanquea y limpia, tal como dice Morenius: “El Azoth<sup>296</sup> y el fuego limpian al bronce, es decir, lo lavan y eliminan completamente su negrura...” El bronce es un cuerpo impuro, el Azoth es el mercurio.

---

<sup>296</sup> Un solvente universal, idealizado por los alquimistas (*N. del T.*)

Nuestra Agua, une a diferentes cuerpos entre si, si ellos han sido preparados como se debe; esta unión es tal que ni el fuego ni ningún otro poder pueden separarlos quemándolos mediante su principio ígneo. Esta transformación sutiliza a los cuerpos, pero no es la sublimación vulgar de los simples de espíritu, de la gente sin experiencia que cree que sublimar es elevar. Esas personas toman los cuerpos calcinados, los mezclan con espíritus sublimables, o sea, con el mercurio, el arsénico, el azufre, etc., y subliman todo con la ayuda de un fuego fuerte. Ellos dicen que los cuerpos calcinados se subliman al ser arrastrados por los espíritus, más cual no será su decepción cuando encuentran a sus cuerpos impuros con sus espíritus, más impuros que antes, Nuestra sublimación no consiste en elevar. La sublimación de los filósofos es una operación que hace de una cosa vil y corrompida (por la tierra) otra cosa más pura.

También cuando se dice comúnmente: Tal fue elevado al episcopado... por "elevado" se quiere significar que fue exaltado y colocado en una posición más honorable. Del mismo modo, nosotros decimos que los cuerpos han cambiado en su naturaleza, es decir, que han sido exaltados, que su esencia ha devenido más pura, vemos que sublimar es la misma cosa que purificar; esto es lo que hace nuestra Agua.

Es así que debemos entender nuestra sublimación filosófica en vez de la que muchos están equivocados.

Ahora nuestra agua ablanda, aclara, limpia y tonifica; muestra primero un color negro cuando se ablanda el cuerpo, seguido por muchos y variados colores, y finalmente el cuerpo se vuelve blanco. En la mezcla del Agua con el fermento del cuerpo, es decir, con el cuerpo preparado, aparecen infinitos colores.

Es así que nuestro magisterio se obtiene de uno, se hace con uno, se compone de cuatro y tres son uno.

Aprendemos así, Padre venerable, que los filósofos han multiplicado los nombres de la Piedra, mezclándolos para ocultarla mejor. Dijeron que es corporal y espiritual, y no mintieron. Los Sabios entenderán. Porque ella tiene un espíritu y un cuerpo. El cuerpo es espiritual sólo en la solución y el espíritu se ha hecho corporal por su unión con el cuerpo. Los unos la llaman fermento, los otros Bronce.

Morenius dice: "La ciencia de nuestro Magisterio es en todo comparable a la procreación del hombre. Primeramente el coito. En segundo lugar, la concepción. Tercero, la imbibición. En cuarto término, el nacimiento. En el quinto, la nutrición o alimentación. Voy a explicarte estas palabras. Nuestro esperma, que es el Mercurio, se une a la tierra, es decir al cuerpo imperfecto, llamado también Tierra-Madre (porque la tierra es la madre de todos los elementos). Eso es lo que entendemos por el coito.

Después, cuando la tierra ha retenido en sí un poco de Mercurio, se dice que ha habido concepción. Cuando decimos que el macho actúa sobre la hembra, hay que entender en ello que el Mercurio obra sobre la tierra. Por eso los Filósofos han dicho que nuestro magisterio es macho y hembra y que resulta de la unión de esos dos principios.

Después de agregarle el Agua, es decir, el Mercurio, la tierra crece y aumenta blanqueándose, y entonces se dice que hay imbibición. En seguida, el fermento se coagula, es decir, que se une al cuerpo imperfecto preparado como se ha dicho, hasta que su color y su aspecto sean uniformes; es el nacimiento, porque en ese momento aparece nuestra Piedra, que los Filósofos han llamado: el Rey, como se dice en la Turba: "Honrad a nuestro Rey saliendo del fuego, coronado con una diadema de oro; obedecedle hasta que haya llegado a la edad de la perfección, alimentadle hasta que

sea grande. Su padre es el Sol, su madre es la Luna; la Luna es el cuerpo imperfecto. El Sol es el cuerpo perfecto."

En quinto y último lugar, viene la alimentación; cuanto más alimentado sea, más crecerá. Eso sí, se alimenta de su leche, o sea del esperma que lo engendró en el comienzo. De suerte que es menester embeberlo de Mercurio, hasta que haya bebido dos partes o más si es necesario.

### *Ahora sigue la práctica*

Pasemos ahora a la práctica como más arriba lo he anunciado. Ante todo, todos los cuerpos deben ser llevados a la materia prima para hacer posible la transmutación. Voy a demostrarte aquí todo lo dicho más arriba. Por tanto, ¡oh! hijo mío, te ruego que no desdeñes mi Práctica, porque en ella se oculta todo el Magisterio, como ya lo he visto en mi fe oculta.

Toma una libra de Oro, redúcela a limaduras muy brillantes, mézclala con cuatro partes de nuestra Agua purificada, moliendo e incorporándola con un poco de sal y vinagre, hasta que todo esté amalgamado. Una vez bien amalgamado el oro, ponlo en una gran cantidad de Aguardiente, es decir, de Mercurio, y pon todo en el Orinal sobre nuestro centro purificado; haz debajo un fuego muy lento durante un día entero; entonces deja enfriar, y cuando esté frío, toma el Agua y todo lo que está con ella, filtra a través de una tela de hilo hasta que la parte líquida haya pasado a través del lienzo. Pon aparte lo que haya quedado en el puño, recógelo y poniéndolo con una nueva cantidad de Agua bendita en el mismo recipiente de antes, calienta un día entero y después filtra como antes. Repite esto hasta que todo el cuerpo se haya convertido en Agua, o sea en la materia prima que es nuestra Agua.

Hecho esto, toma toda el Agua, ponla en una vasija de vidrio y cuece a fuego suave hasta que veas aparecer la negrura en la superficie; sacarás con destreza las partes negras. Continúa hasta que todo el cuerpo se haya convertido en una tierra pura. Cuanto más repitas esta operación, será tanto mejor. Por tanto, vuelve a cocer, elevando la negrura, hasta que las tinieblas hayan desaparecido y que el Agua, o sea nuestro Mercurio, aparezca brillante. Entonces tendrás la Tierra y el Agua. En seguida coge toda esta tierra, es decir, la negrura que has recogido; ponla en un recipiente de vidrio, viértele encima Agua Bendita, de modo que nada sobresalga de la superficie del agua, que nada sobrenade; y calienta a fuego ligero durante diez días; después muele y pon nueva Agua; recuece la tierra así coagulada y espesada sin agregar agua. Cuece finalmente a fuego violento, siempre en el mismo recipiente, hasta que la tierra se ponga blanca y brillante.

Así blanqueada y coagulada nuestra tierra, toma el Aguardiente que ha sido espesado con ayuda de un ligero calor por la tierra coagulada, cuécela con un fuego violento en una buena cucúrbita provista de su capitel, hasta que todo lo que hay de Agua en la mezcla haya pasado al recipiente y que la tierra calcinada permanezca en la cucúrbita. Toma entonces tres partes por cuatro de un fermento, es decir, que si has tomado una libra del cuerpo imperfecto o de oro, tomarás tres libras de fermento, es decir, de Sol o de Luna.

Ante todo, precisarás disolver dicho fermento, reducirlo a tierra y, en una palabra, repetir las mismas operaciones que con el cuerpo imperfecto. Sólo entonces los unirás y los empaparás con el Agua que ha pasado al recipiente, y cocerás durante tres días o más. Embebe de nuevo, recuece y repite la operación hasta que ambos cuerpos queden unidos, o sea que no formen más que uno. Pensarás. Su color no habrá cambiado. Entonces verterás sobre ellos el Agua ya citada, poco a poco, hasta que no absorban más. En esta unión de los cuerpos, el Espíritu se incorpora a ellos y como han sido purificados, se transforma en su propia naturaleza. Así es como el germen se transforma en los cuerpos purificados, lo que antes no hubiera sucedido a causa de su carácter grosero y de sus impurezas. El espíritu crece en ellos, aumenta y se multiplica.

### Recapitulación

Ahora, Padre venerable, insistiré en lo que dije, aplicándolo a las preparaciones de los Filósofos antiguos y a sus enseñanzas tan oscuras, tan incomprensibles. Sin embargo, pesa las palabras de los Filósofos, comprenderás y confesarás que han dicho la verdad.

La Primera palabra de nuestro Magisterio o de la Obra, es la reducción (del cuerpo) a Mercurio, es decir, la reducción del cobre o de otro metal a Mercurio. Es lo que los filósofos llaman la solución, que es el fundamento del Arte, como lo dice Franciscus: "Si no disolvéis los cuerpos, trabajáis en vano. Es de esta disolución de lo que habla Parménides en la Turba de los Filósofos. Oyendo la palabra disolución, los ignorantes piensan en seguida en el Agua de las nubes. Mas, si hubieran leído nuestros libros, si los hubiesen comprendido, sabrían que nuestra Agua es permanente, y que separada de su cuerpo, se hace, por consiguiente, inmutable. Así que la solución de los Filósofos no es el Agua de las nubes, sino la conversión de los cuerpos en Agua de la cual todos han sido procreados antes, es decir, en Mercurio. De igual manera el hielo se convierte en el agua que anteriormente le diera nacimiento.

He aquí que por la gracia de Dios conoces el primer elemento, que es el Agua, y la reducción de ese mismo cuerpo a materia prima.

La segunda palabra es: "Lo que se hace de la tierra." Es lo que los Filósofos han dicho: "El agua sale de la tierra." Así tendrás el segundo elemento, que es la tierra. La tercera palabra de los Filósofos es la purificación de la Piedra. Morenius, refiriéndose a ese tema, dijo: "Esta Agua se putrifica y se purifica con la tierra, etc. " El Filósofo dice: "Une lo seco a lo húmedo; así que lo seco es la tierra, lo húmedo es el agua." Tendrás ya el Agua y la tierra en sí misma, y la tierra blanqueada con el Agua.

La cuarta palabra es que el Agua se puede evaporar por la sublimación o la ascensión. Se hace aérea al separarse de la tierra, con la cual antes estaba coagulada y unida; y así tendrás la Tierra, el Aire y el Agua. Es lo que el Filósofo dice en la Turba: "Blanquea y sublima a fuego vivo, hasta que se escape un espíritu, que es el Mercurio. Por esto se le llama pájaro de Hermes y pollo de Hermógenes. Hallaréis en el fondo una tierra calcinada; es una fuerza ígnea, es decir, de naturaleza ígnea.

De suerte que tendrás los cuatro elementos, la tierra, el fuego, y esta tierra calcinada que es el polvo de que habla Morienus: "No desprecies el polvo que está en el fondo, porque se halla en un sitio bajo. Es la tierra del cuerpo, es tu esperma y en ella está el coronamiento de la Obra."

En seguida, pon con la antedicha tierra el fermento, ese fermento que los Filósofos llaman alma, y he aquí por qué, del mismo modo que el cuerpo del hombre no es nada sin su alma, igualmente la tierra muerta o cuerpo inmundo no es nada sin fermento, es decir, sin su alma. Porque el fermento prepara al cuerpo imperfecto, lo cambia en su propia naturaleza como se ha dicho. No hay más fermentos que el Sol y la Luna, esos dos planetas vecinos que se aproximan por sus propiedades naturales. Es lo que hizo decir a Morienus: "Si no lavas, si no blanqueas el cuerpo inmundo y no le das alma, no habrás hecho nada para el Magisterio. Entonces el espíritu está unido al alma y al cuerpo, se regocija con ellos y se fija. El agua se altera, y lo que era espeso se vuelve sutil. "

He aquí. lo que dice Astanus en la Turba de los Filósofos: "El espíritu no se une a los cuerpos, sino cuando éstos han sido perfectamente purificados de sus impurezas." En esta unión aparecen los mayores milagros, porque entonces se dejan ver todos los colores imaginables, y el cuerpo imperfecto toma el color del fermento, mientras que éste permanece inalterado.

¡Oh! Padre lleno de piedad, que Dios aumente en ti el espíritu de inteligencia para que tú peses bien lo que voy a decir: los elementos no pueden ser engendrados más que por su propio esperma. Ahora bien, este esperma es el Mercurio. Observa al hombre, que no puede ser engendrado sino con ayuda del esperma; a los vegetales, que no pueden nacer más que de una semilla, en lo que es necesario para la generación y el crecimiento.

Hay quienes, creyéndolo mejor, subliman el Mercurio, lo fijan, lo unen a otros cuerpos, y no obstante, no hallan nada. He aquí por qué un esperma no puede cambiar, permanece siendo tal cual era; y no produce su efecto más que cuando es depositado en la matriz de la mujer. Por eso el Filósofo Mehardus, dijo: "Si nuestra Piedra no es puesta en la matriz, de la hembra, a fin de que sea nutrida, no crecerá."

¡Oh! Padre mío, hete ahí ya, según tu deseo, en posesión de la Piedra de los Filósofos.

### *Gloria A Dios*

Aquí termina el pequeño tratado de Arnaldo de Villanueva, dado al papa Benedicto XI, en el año 1303.

## **Bibliografía**

**Belle Burke, R.**, traductor, (1962): *The Opus Majus of Roger Bacon*. Volumen II, Russell & Russell Inc., New York.

**Boboyan Gafurov**: El Biruni, *Correo de la Unesco*, Junio 1974, Año XXVI, pp. 4 -10.

**Brewer, J. S.**, editor, (1859): *Fr. Rogeri Bacon, Opera quaedam hactenus inedita*, Volumen I: I. *Opus Tertium*, II. *Opus minus*, III: *Compendium Philosophiæ*, Longman, Green, Longman and Roberts, London.

**Bridges, J. H.**, editor, (1897): *The "Opus majus" of Roger Bacon*, 2 Vols. Oxford, Clarendon Press.

**Dee, J.**, (1659): *Friar Bacon, his Discovery of the Miracles of Art, Nature and Magick*, traducción al ingles de *Epistola de secretis operibus naturæ et de nullitate magiæ*, Simon Millar, London, 1659.

**Goldstein, B.**, (1972): "Theory and Observation in Medieval Astronomy", *Isis* **63** (1), p. 39-47 (página 41)

**Kennedy, E. S.**, (1976): *The Exhaustive Treatise on Shadows*, by Abu al Rayhan Muhammad ibn Ahmad al Birūnī, 2. Vols. Institute for the History of Arabic Science, Aleppo.

**Pederson, Olaf.** (1978): *Science in the Middle Ages*. ed. by David Lindberg, Chicago University Press, Chicago.

**Sarton, G.**, (1931): *Introduction to the History of Science*, Vol. II, The Williams & Wilkins Co, Baltimore.

**Sarton, G.**, (1948): *Introduction to the History of Science*, Vol. III, The Williams & Wilkins Co, Baltimore.

**Thorndike, L.** (1923): *A History of Magic and Experimental Science*, 2 Vols., Columbia University Press, New York



## VII. LA IATROQUÍMICA

### 7 – 1. Paracelso



Figura 7.1. Paracelso (1493 – 1541)

Paracelso fue una de las figuras más pintorescas en la historia de la Alquimia del Renacimiento. Su verdadero nombre era Theophrastus Bombastus von Hohenheim. Tanto “Paracelso”, como “Philippus Aureolus”, se los agregó para expresar que, en su propia opinión, era más grande que Celso, el célebre escritor romano sobre Medicina que vivió en la primera mitad del siglo I de nuestra era y cuya reputación como autoridad en la materia era similar a la de Hipócrates o Galeno. Paracelso parece haber tenido muchas virtudes pero la modestia no fue una de ellas.

Nació el 17 de diciembre de 1493 en María - Einsiedeln, una localidad cerca de Zurich. Su padre, Wilhelm von Hohenheim, era licenciado en Medicina y ejercía como médico en ese pueblo. Poco tiempo después del nacimiento de Paracelso, la madre falleció y en 1502, la familia se trasladó a Willach, cerca de Klagenfurt, donde Wilhelm ejerció la medicina hasta su muerte en 1534.

Poco se sabe de los primeros años de la vida de Paracelso. Se dice que estudió Medicina y Alquimia con su padre. En 1514 fue al Tirol, donde trabajó durante un año en las minas y en las fundiciones de metales. Allí, acumuló mucha experiencia técnica en el tratamiento de los metales y en los procesos alquímicos conocidos a esa época. Estos últimos con Sigismund Fugger quien era el propietario de varias minas y, además, un entusiasta alquimista.

De carácter inquieto, Paracelso era incapaz de permanecer mucho tiempo en un lugar. Después de haber aprendido todo lo que Fugger podía enseñarle, se dedicó a viajar. Recorrió diversos países, Alemania, Francia, Bélgica, Inglaterra, Escandinavia e Italia. Se dice que participó como cirujano

militar en las guerras venecianas de 1521 – 1525. Permaneció en Italia lo suficiente para obtener su diploma de médico en la Universidad de Ferrara.

A través de sus viajes, Paracelso conoció a toda clase de gente — médicos, alquimistas, astrólogos, boticarios, mineros, gitanos y adeptos a artes ocultas — por lo que regresó a Alemania con un conjunto de conocimientos de una heterogeneidad que muy pocas personas suelen coleccionar.

En 1526 se registró como ciudadano en Strassbourg, estableciéndose en esa ciudad para ejercer la Medicina. No había pasado mucho tiempo de su arribo a Strassbourg cuando se le presentó una oportunidad brillante para el desarrollo de su actividad. En esa época, Johann Froben, o Frobenius, un próspero impresor y publicista de Basilea, cayó gravemente enfermo víctima de una dolencia que dejó perplejos a los médicos locales. Habiendo oído que había un nuevo médico en Strassbourg, Froben lo hizo llamar y Paracelso lo curó completamente en muy poco tiempo; por lo que pasó de ser el médico a ser el amigo de Froben. En esa época solía visitar a Froben, Erasmo de Rotterdam, el erudito holandés considerado como el líder del Renacimiento cultural en el norte de Europa. La casa de Froben se había convertido en un centro de reunión de intelectuales entre los que se encontraba Johann Heussgen, Profesor de Teología de la Universidad de Basilea. Esas personas quedaron muy impresionados por los conocimientos de Paracelso y lo recomendaron ante las autoridades de la ciudad para el cargo de Médico de la Ciudad, cargo que estaba vacante, y para ser profesor en la Universidad de Basilea. Al tomar el cargo, quemó públicamente los libros sobre medicina de Avicena y de Galeno, tratando de mostrar que sus teorías eran completamente originales. Daba sus conferencias en alemán, rechazando el uso del latín y hacía hincapié en que la Medicina tradicional, que empleaba remedios a base de hierbas, no curaba la mayoría de las enfermedades. Para el tratamiento de las enfermedades, propuso el uso de productos minerales en vez de medicamentos de origen vegetal.

Paracelso trataba a los médicos y boticarios con altanería y desprecio llegando, en muchos casos, al insulto. Con ello se fue generando cada vez más enemigos que, entre otras cosas, hicieron todo lo posible para que lo expulsen del cargo de Médico de la Ciudad.

Un prominente ciudadano de Basilea, el Canónigo Lichtenfels, cayó gravemente enfermo y ofreció pagar 100 florines (una fortuna en esa época) al médico que lo curase. Paracelso aceptó la oferta y lo curó dándole tres píldoras (*tres murini stercoris pilulas*), pero el paciente, al comprobar que lo había curado tan rápidamente, se negó a pagarle. El médico llevó el caso a la corte de Basilea pero los jueces, a pesar de que tenía razón fallaron que él sólo tenía derecho a cobrar los honorarios corrientes. No pudiendo contener su ira, Paracelso injurió a la corte de una manera extremadamente grosera y soez. Pero cuando se dio cuenta de que la corte podía condenarlo por esas ofensas, huyó precipitadamente de Basilea y estuvo vagando por Alemania y Austria. Deambuló por Colmar, Esslingen, Nuremberg y St. Gallen, escribiendo incesantemente. Algunos comentaristas de su vida, sostuvieron que escribía estando ebrio lo que explica lo confuso de muchos de sus escritos. Su dinero se fue agotando y tanto su apariencia descuidada como su ropa ajada hicieron que el burgomaestre de Innsbruck le negara la entrada a la ciudad. En abril de 1541 llegó a Salzburg y fue invitado al castillo del Príncipe del Palatinado, Ernst de Bavaria quien era un estudioso de las artes ocultas. Allí encontró un lugar apacible donde escribir y practicar la medicina. Pero eso no duró mucho, ya que falleció el 24 de septiembre de ese año.



Figura 7.2. Colmar, una de las ciudades por donde deambuló Paracelso.

Entre 1589 y 1591, Johannes Huser hizo una cuidadosa compilación de las obras de Paracelso la que fue editada en Basilea y consta de 10 volúmenes. Para lograr editar toda la producción científica, Huser viajó extensamente por Austria, Alemania, Suiza e Italia, buscando ediciones anteriores y manuscritos de Paracelso. En cada uno de los textos de la compilación agregó una nota indicando si lo publicado era una copia de edición anterior o era de un manuscrito. Además incluyó algunos textos que probablemente no sean genuinos. Algunos de estos tratan sobre la Alquimia. La segunda y la tercera edición de esta colección fueron publicadas en Strassbourg en 1603 y 1616 y fue traducida al alemán moderno por Aschner en 1926-30.

La opinión de Huser y de los estudiosos que le sucedieron, es que Paracelso no escribió ningún libro específico sobre Alquimia, sino que sus opiniones sobre el tema deben extraerse de los voluminosos trabajos filosóficos y médicos que, ciertamente, contienen una gran cantidad de temas alquímicos.

El análisis de las opiniones sobre la Alquimia, se vio dificultado porque, en sus escritos, Paracelso mezclaba el alemán con el latín macarrónico y con palabras de su propia invención. No obstante ello, hoy se tiene una idea de sus principales líneas de pensamiento.

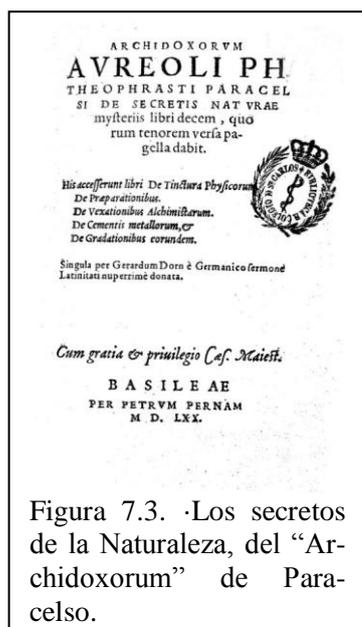


Figura 7.3. Los secretos de la Naturaleza, del "Archidoxorum" de Paracelso.

En primer lugar, Paracelso parece no negar la posibilidad de la transmutación, pero consideraba que ella era una actividad de importancia secundaria de la Alquimia. Al respecto escribió "Muchos han dicho que la Alquimia es el arte de hacer oro y plata. Para mí, este no es el objetivo, sino que considero que es encontrar qué virtud y poder pueden yacer en las medicinas". Su objetivo práctico fue el de usar los procesos alquímicos para la preparación de sustancias terapéuticas, principalmente, de sustancias inorgánicas. De este modo, inauguró una forma de Química Médica, que se conoce históricamente como "Iatroquímica" y que no sería otra cosa que lo que hoy se conoce como "quimioterapia".

La Iatroquímica se convertiría en una disciplina muy importante en los siglos posteriores. La innovación que hizo Paracelso de utilizar sustancias inorgánicas para el tratamiento de las enfermedades fue refinada, especialmente en cuanto a las dosis a aplicar. El mismo Paracelso había acuñado una frase que perduraría a lo largo de los siglos: "*Nada es veneno, todo es veneno: la diferencia está en la dosis*" y así comenzó a tratar ciertas dolencias con compuestos de arsénico, antimonio y de mercurio. Precisamente, en el siglo XVI, el primer tratamiento contra la sífilis fue con mercurio (en el siglo XX sería reemplazado con arsénico y bismuto).

Creía en que había cuatro elementos constitutivos o primordiales, pero que en los cuerpos aparecían bajo la forma de tres principios: sal, azufre y mercurio. La sal era el principio de la fijeza y de la incombustibilidad; el mercurio, el de la fusibilidad y de la volatilidad; y el azufre, de la inflamabilidad. Los dos últimos principios habían sido reconocidos por los alquimistas desde el siglo VIII, como los formadores de todos los metales, pero él parece haber sido el primero en agregar la sal como principio y considerar que esos tres son los formadores de todas las sustancias, sean metales o no. Esos tres principios se conocen históricamente como *tría prima*.

Entre las contribuciones a la Química que hizo Paracelso, merece destacarse el descubrimiento del hidrógeno, si bien no pudo determinar sus propiedades con detalle. En 1526 describió un nuevo metal al que consideraba un "metal bastardo" y al que bautizó "zink" (cinc). Al tratar cinc con ácido

clorhídrico observó la evolución de un “material aeriforme mucho más liviano que el aire”. Dos siglos después Henry Cavendish aislaría ese gas y estudiaría sus propiedades.

Para Paracelso, la Alquimia se fundamentaba en un principio de “unidad de todas las cosas”. Sostenía que existe una unidad entre el Cielo y la Tierra, y que esa unidad explicaba la influencia que ejerce el Universo sobre la vida de las plantas, de los animales y del hombre y de las medicinas que derivan de ellos. Consideraba que la Naturaleza, al crear vida, provocar la muerte, las enfermedades o la salud, actúa como un alquimista universal. El hombre, en su tarea de preparar remedios se vuelve un alquimista de la Naturaleza, es decir, trata de arrancarle los secretos a la Naturaleza para poder generar los mismos cambios que ella.

Paracelso creía que la enfermedad y la salud están controladas por influencias astrales y que la salud se puede restituir mediante la “*arcana*” o remedios secretos. La *arcana*, tiene como función restaurar una armonía espiritual entre un “*astrum*” interior al hombre y el “*astrum*” celestial. De modo que la *arcana* debe partir del interior del cuerpo humano y llegar al cielo. En consecuencia, debe ser volátil e incorpórea. Por supuesto, la medicina real debe ser material, pero la *arcana* que contiene, debe ser espiritual.

Para poder saber la causa de la enfermedad, el médico debía conocer la astrología, pero también debía saber Alquimia la que le permitiría preparar los remedios que contienen esa *arcana*. Sostuvo que “Ninguna enfermedad es tan grande, como para que Dios no haya creado un medicamento para ella”.

Otra de las frases de Paracelso que se conservan hasta hoy en día es: “El médico debe ser el auxiliar de la naturaleza, no su enemigo.”

## 7 – 2. La contribución a la Química de Van Helmont

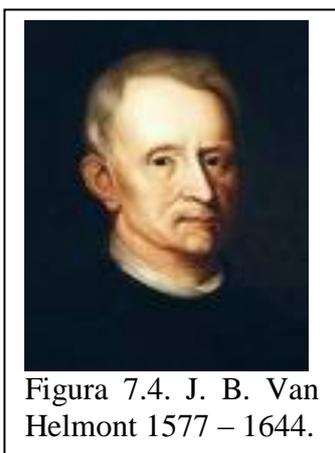


Figura 7.4. J. B. Van Helmont 1577 – 1644.

Johann Baptiste van Helmont, nació en Bruselas en 1577 y murió en la misma ciudad el 30 de diciembre de 1644. Perteneciente a una familia de rancio abolengo, estudió artes en Lovaina aunque no se graduó sino que comenzó a estudiar en la escuela de los jesuitas de esa ciudad, pero esos estudios no le satisficieron por lo que se dedicó a estudiar Medicina y a leer los trabajos de Hipócrates, Galeno y Avicena, así como un gran número de autores contemporáneos suyos. Se graduó en Medicina en 1609 y se retiró a Viverde donde se dedicó principalmente al estudio de la Medicina y de la “pirotecnia” (como él llamaba a la Química).

Las obras de van Helmont se publicaron en 1648, bajo el título de *Ortus Medicinæ*. En 1662 se publicó una traducción al inglés bajo el título *Oriatrike or Physick Refined*. También en 1648 publicó *Opúscula Médica Inaudita* donde describió distintas enfermedades.

Van Helmont hizo un estudio crítico de la obra de Paracelso, encontrando en ella gran número de errores. Él creía en la Alquimia y en uno de sus escritos describió la transmutación de unas 2000 partes de mercurio en una parte de oro, realizada mediante un cuarto de grano de “piedra filosofal” que le había sido facilitada por un extranjero. A diferencia de Paracelso, no creía que la piedra filosofal era el “elixir de la larga vida”.

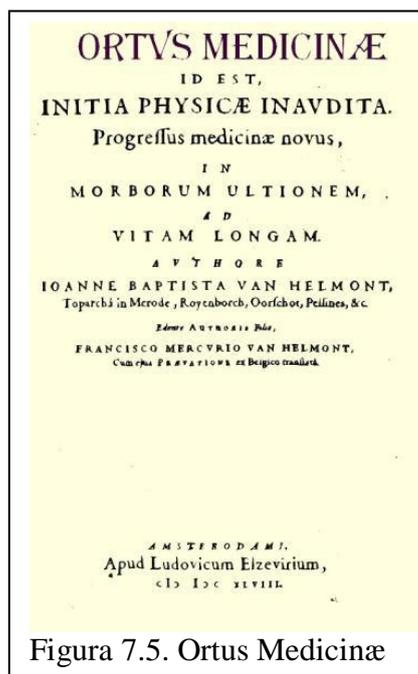


Figura 7.5. Ortus Medicinæ

Sostuvo que existe un solvente universal al que llamó “alca-gesto” capaz de transformar los diversos materiales en agua. Probablemente, el solvente al que hacía referencia fuese el ácido nítrico.

Van Helmont caracterizó sus estudios mediante experimentos cuantitativos. Hizo un uso continuo de la balanza y expresó claramente la ley de la indestructibilidad de la materia. Así, por ejemplo, cuando calentaba mercurio con “aceite de vitriolo” ( $H_2SO_4$ ) obtenía un precipitado blanco. Al lavar ese precipitado con abundante agua se tornaba amarillo y por calentamiento regeneraba el mercurio y, dentro de los errores experimentales, la masa de mercurio obtenida era la misma que la de partida. También hizo notar que cuando los metales se disuelven en ácidos no “desaparecen” ya que pueden ser recuperados mediante métodos apropiados. Demostró que cuando un metal provoca la precipitación de otro a partir de sus sales, no hay transmutación, como suponía Paracelso. Cuando la plata se disuelve en agua regia no desaparece, sino que queda oculta en una sal que forma una solu-

ción con el agua. De esa solución puede “revivirse” la plata por diversos métodos. Conocía varias maneras de preparar ácido sulfúrico y desarrolló un método para obtener ácido nítrico mezclando partes iguales de salpêtre ( $KNO_3$ ), aceite de vitriolo y alumbre y destilando esa mezcla. Preparaba “vitriolo azul” (sulfato de cobre) tratando láminas de cobre con sulfúrico hirviente; ácido clorhídrico a partir de sal común y ácido sulfúrico; agua regia a partir de ácido nítrico y cloruro de amonio.

Van Helmont desarrolló una teoría bastante primitiva sobre la combustión. De Aristóteles tomó la idea de que la llama sólo es “humo ardiente” (*non est nisi ascensa fuligo*) y que se extingue si el combustible se quema en un recinto cerrado. Él dio el nombre de gas a los productos gaseosos de la combustión del carbón: *Hunc spiritum, incognitum hactenus, novo nomine Gas voco, qui nec vasis cogi, nec in corpus visibili reduci, nisi extincto prius semini potest.*<sup>297</sup> Esta es la famosa definición de gas, que van Helmont aplicó inicialmente a los productos que se liberan en la combustión del carbón, — mayoritariamente dióxido de carbono y vapor de agua — y que con el tiempo se extendería a cualquier material gaseoso. Explicó la última parte de esta definición diciendo que el gas de la llama no es aún agua (que se consideraba un elemento fundamental) porque “aunque el fuego ha consumido las fuerzas germinales del cuerpo que se está quemando, quedan aún algunas diferenciaciones fermentativas originarias del cuerpo, que luego de ser consumidas hacen que el gas libere al elemento agua”.

Al quemar una bujía en un recipiente de vidrio provisto de un cierre de agua, encontró que, al finalizar la combustión, parte del agua había ingresado al recinto y concluyó que la aspiración del agua se debía a la desaparición de una cierta cantidad de aire. Por ello afirmó: “Hay en el aire algo que es menos que un cuerpo, que llena todos los vacíos del aire y se aniquila completamente durante las combustiones”. Como, además, “el aire ha sido creado para ser receptáculo de exhalaciones”

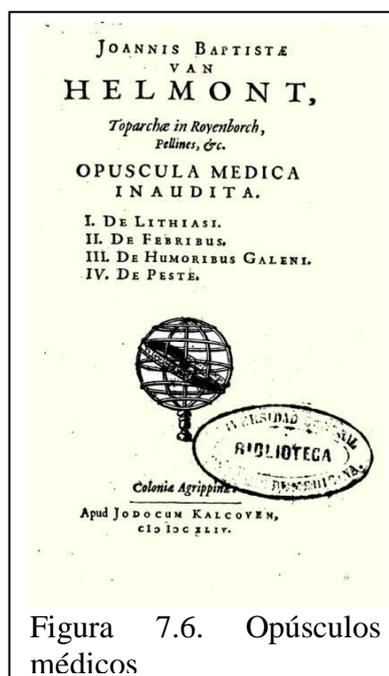


Figura 7.6. Opúsculos médicos

<sup>297</sup> “Llamo a este espíritu, hasta ahora desconocido, con el nombre nuevo de Gas, que no puede ser retenido en vasos ni reducido a forma visible si el germen no ha sido primero extinguido”. El nombre lo hizo derivar de la palabra griega “χάος” (caos)

y [...] “el aire de las minas, saturado de las exhalaciones de los minerales, extingue una llama”, todo esto demuestra que “un vacío, que Aristóteles creía imposible, es algo completamente ordinario”.

Van Helmont fue el primero en darse cuenta claramente que en muchas reacciones químicas se producen gases. Así, por ejemplo, hizo reaccionar ácido nítrico con sal amoníaco en un recipiente de vidrio sellado y observó que los gases formados (cloro y cloruro de nitrosilo) rompieron el recipiente: “el vaso se llenó con una exhalación abundante (aunque invisible) que puede imaginarse, sin embargo, más fuerte que el hierro, pues el recipiente estalló inmediata y peligrosamente en multitud de pedazos”. Además, distinguió entre gases y vapores condensables, estableciendo diferencias entre gases y aire y gases entre sí. Sostuvo que los gases están formados por átomos invisibles, los cuales “pueden unirse entre sí por un frío intenso, formando, de este modo, pequeñas gotas de líquido.”

Entre los gases que van Helmont distinguió, se encuentran:

El gas venenoso que apaga la llama, que se concentra en las minas y en la *Grotta del cane* (dióxido de carbono)

El gas carbonum que se forma en la combustión (incompleta) del carbón vegetal y otros combustibles (una mezcla de dióxido de carbono y monóxido de carbono).

El gas que se forma en las bodegas desprendido en la fermentación del vino, (dióxido de carbono), aunque van Helmont creía que era de naturaleza diferente.

El gas que se forma en la efervescencia al tratar la sal del tártaro con ácido sulfúrico o la creta con vinagre destilado (dióxido de carbono). Un gas venenoso que se libera al tratar metales como la plata con agua regia (óxido nítrico). El gas que se desprende al tratar, en frío, sal amoníaco con agua regia (cloro y cloruro de nitrosilo).

El gas que se desprende en burbujas de agua de Spa<sup>298</sup>, que simultáneamente forma un depósito ocre (dióxido de carbono).

El gas que se desprende de los eructos llamado gas ventosum, dióxido de carbono.

El gas que se desprende en las putrefacciones y en el gas intestinal, llamado gas pingüe, (hidrógeno, metano y otras impurezas)

Un gas que infla el tímpano (¿?)

Un gas formado en la destilación seca de materia orgánica (hidrógeno, metano y monóxido de carbono).

Un gas sulfuroso o ácido (SO<sub>2</sub>) que se desprende del azufre en combustión que es un material “completamente grasoso y combustible” (*totum sit pingüe et flogiston*<sup>299</sup>)

Un gas *sylvestre* que se produce con salpêtre fundido y carbón vegetal (dióxido de carbono).

<sup>298</sup> El agua mineral de Spa (Bélgica) contiene, además de dióxido de carbono disuelto, carbonatos de hierro, de calcio, de magnesio y de sodio y cloruro de sodio.

<sup>299</sup> El término *flogiston*, — o *flogisto* — (combustible) sería acuñado posteriormente por Stahl para referirse a un elemento que se desprende en las combustiones.

El gas que se produce al quemar la pólvora (dióxido de carbono, de azufre y óxidos de nitrógeno)

Un gas vital o etéreo, una clase de espíritu vital de naturaleza gaseosa, que es la causa por la cual los otros gases actúan tan rápida y poderosamente sobre el cuerpo.

En la respiración, el aire se mezcla en los pulmones con la sangre venosa que, si no, coagularía y es exhalado con vapor acuoso y un gas imperceptible.

Van Helmont rechazó tanto la teoría de los cuatro elementos como los tres principios de Paracelso. Para él los verdaderos elementos eran el aire y el agua. Sostuvo que los otros dos pretendidos elementos, la tierra y el fuego, no lo son pues el fuego “no es una forma de materia” y que la tierra puede obtenerse a partir del agua. Para demostrar sus ideas realizó la famosa “experiencia del árbol”. Según su propia descripción:

“Tomé un recipiente de terracota, en el cual coloqué 200 libras de tierra, que habían sido secadas previamente en un horno. Las humedecí con agua de lluvia, después de lo cual planté en esa tierra un retoño o brote de sauce, que pesaba cinco libras; y cuando hubieron transcurrido cinco años, el árbol que había crecido pesaba 169 libras y 3 onzas: Durante ese tiempo humedecí con agua de lluvia, o agua destilada, el recipiente con el árbol (y esto siempre que era necesario) y el árbol era grande y estaba bien implantado en la tierra y muy poca parte del polvo que flotaba a su alrededor pudo mezclarse con la tierra del recipiente, pues cubrí la boca o labios del mismo con una lámina de hierro recubierta de estaño con algunos agujeros para que pudiese pasar el agua. No tuve en cuenta el peso de las hojas que cayeron en los cuatro otoños. Al final sequé nuevamente la tierra del recipiente y encontré que su peso era el mismo que al principio, esto es, 200 libras, faltando solamente dos onzas. Por lo tanto, 164 libras de madera, corteza y raíces, se produjeron por transformación del agua solamente”.

Si bien buena parte del árbol es agua, van Helmont no se pudo dar cuenta del papel importante que cumplía el dióxido de carbono presente en el aire, a pesar de haber sido el primero en conocer la existencia de ese gas.

Dado que en la combustión de la madera y de otros materiales orgánicos como el alcohol etílico se produce agua, postuló que el agua es un “elemento” presente en toda la materia. En cambio, consideró que la tierra no es un elemento. Esta afirmación la basó sobre la experiencia de fundir arena con exceso de álcali. El vidrio así obtenido tenía el aspecto de un material acuoso solidificado y al tratarlo con suficiente agua regia se produce la precipitación de la misma masa de arena.

El fuego es distinto de la luz. No es un elemento, — ya que no es material — sino una “muerte real de las cosas”.

El aire no puede condensarse dando agua, ni siquiera mediante una fuerte compresión. Por lo que es un elemento distinto del agua.

Otra de las contribuciones de van Helmont al desarrollo de la ciencia, fue su estudio sobre los fermentos. Consideró que existen fermentos específicos en el estómago, en el hígado y en otras partes del organismo responsables de las digestiones y otros procesos fisiológicos.



Figura 7.7. Sylvius (1614 – 1672)

### 7 – 3. Sylvius y la Escuela Iatroquímica de Medicina

Franciscus Sylvius, de Le Boë, (1614 – 1672), fue profesor de Medicina en la Universidad de Leiden, fundó la Escuela Iatroquímica de Medicina y consiguió que los curadores de esa casa de estudios le construyera un laboratorio, que fue el primer laboratorio químico de una universidad.

Sylvius sostenía que las funciones de los organismos vivos están determinadas, fundamentalmente, por las actividades químicas (“efervescencias”) particularmente por las acideces y alcalinidades, reales o imaginarias, de los fluidos del organismo, siendo por ello el fundador de culto moderno al pH. Según él, un exceso de uno de estos constituyentes origina trastornos en los procesos químicos que ocurren en el organismo. Esos trastornos — que pueden ser las causas de ciertas enfermedades — desaparecen si se añade lo que falta o se quita lo que está en exceso. Esos excesos o faltantes se remediaban con productos inorgánicos.

En lo que respecta a la teoría química, fue el primero en establecer el concepto de afinidad química, que sería ampliamente usado en los siglos siguientes.

Su obra más destacada es *Praxeos medicae idea nova* (Nueva idea en la práctica de la medicina), de 1671.

### 7 – 4. Agrícola entre la Medicina y la Metalurgia

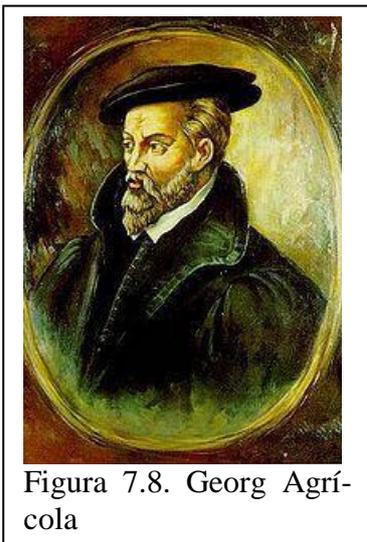


Figura 7.8. Georg Agrícola

Georg Agrícola (1494 – 1555) fue un médico alemán que escribió varios libros sobre Mineralogía y Metalurgia. . Su verdadero nombre era Georg Pauer siendo Agrícola la latinización de su apellido (Pauer: granjero). En sus libros se tratan temas principalmente prácticos, describen los procesos de Minería

Dotado de una inteligencia precoz, a los veinte años fue nombrado Rector extraordinario en la llamada “Escuela Griega de Zwickau” dedicándose a escribir sobre temas de filología. Luego de dos años, renunció para seguir estudios en Leipzig donde no sólo se dedicó al estudio de disciplinas humanísticas sino también de Medicina, Física y Química.

En 1524 viajó a Italia donde se doctoró en Medicina. En 1527 regresó a Zwickau y fue designado Médico de la Ciudad en Joachimsthal, un centro minero y de fundición de metales donde se dedicó a “completar los huecos en el arte de curar” y a comprobar, mediante cuidadosa observación y experimentación, lo que se había escrito sobre Mineralogía y tratamiento de los metales. De sus estudios publicó en 1528 *Bermannus, sive de re metallica dialogus*. En 1530, el Príncipe Maurice de Sajonia, lo nombró historiógrafo por lo que se trasladó a Chemnitz, por entonces un centro de la industria minera, para ampliar el rango de sus observaciones. En 1533 fue nombrado también Médico de la Ciudad de Chemnitz. Ese año publicó un libro sobre las unidades de pesos y medidas usados por griegos y romanos, *De Mensuris et Ponderibus*.

En 1534, fue electo burgomaestre de Chemnitz pero las revueltas protestantes lo obligaron a renunciar, por lo que se dedicó por completo al estudio. Su interés principal seguía siendo la mineralogía, pero también se ocupó de estudiar temas de Medicina, Matemática, Teología e Historia. Sobre este último tema publicó *Dominatores Saxonici a prima origine ad hanc aetatem*. En 1544 publicó *De ortu et causis subterraneorum*, donde estableció las bases de una geología física. En 1545, le siguió *De natura eorum quae efflunt e terra* y en 1546 *De veteribus et novis metallis*, una detallada descripción del descubrimiento y la ocurrencia de varios minerales. En 1548 *De animantibus subterraneis*; y en los dos años siguientes varios trabajos menores sobre metales.

Su obra más famosa fue *De re metallica libri xii*, publicada en 1556. Este es un completo y sistemático tratado de minería y metalurgia extractiva, ilustrado con exquisitas xilografías que expresan cada proceso de extracción de minerales de la mina y la obtención de metales de los minerales.

### 7 – 5. Basilius Valentinus, Medicina y antimonio.

Se supone que Basilius Valentinus fue un monje benedictino de Erfurt, Sajonia. Nació, probablemente, en 1394. Si bien escribió sus obras en el siglo XV, estas recién fueron publicadas en el siglo XVII. Según parece, dedicó gran parte de su tiempo a la preparación de productos alquímicos para la Medicina y fue el primero en emplear el antimonio en la elaboración de medicamentos. Se cuenta que le daba estos medicamentos con antimonio a los monjes y que el producto actuaba con tal virulencia que de allí surgió el nombre (*antimoine*: contra el monje) pero esto quizás no sea cierto ya que el monje escribía en alemán y, en este idioma, antimonio se dice speissglass.

En sus obras, Valentinus atacó a la medicina tradicional con tanta virulencia como Paracelso. Si bien, se conocen muchos libros con su nombre, no hay seguridad de que realmente él haya sido el autor. Las principales son:

*Philosophia Occulta.*

*Tractat von naturlichen und ubernaturlichen Dingen; auch von der ersten tinctur, Wurzel und Geiste der Metallen.*

*Von dern grossen stein der Uhralten.*

*Vier tractatlein vom stein der Weisen.*

*Kurzer anhang und klare repetition oder Wieder holunge vom grosen stein der Uhralten.*

*De prima Materia Lapidis Philosophici.*

*Azoth Philosophorum seu Aureliæ occultæ de Materia Lapidis Philosophorum.*

*Apocalypsis Chemica.*

*Claves 12 Philosophiæ.*

*Practica.*

*Opus præclarum ad utrumque, quod pro Testamento dedit Filio suo adoptivo.*



Figura 7.9. El carro triunfal del antimonio

*De Microcosmo.*

*Letztes Testament.*

*Von der grosen Heimlichkeit der Welt und ihrer Arzney.*

*Von der Wissenschaft der sieben Planeten.*

*Offenbarung der verborgenen Handgriffe.*

*Conclusiones or Schlussreden.*

*Dialogus Fratris Alberti cum Spiritu.*

*De Sulphure et fermento Philosophorum.*

*Haliographia.*

*Triumph wagen Antimonii.*

*Einiger Weg zur Wahrheit.*

*Licht der Natur.*

De todas ellas, la más conocida es *Triumph wagen Antimonii* (El carro triunfal del antimonio), publicada en alemán en 1603 y traducida al latín, en 1671, por Kerkringius. Este libro está escrito con claridad y describe con precisión todos los compuestos y reacciones del antimonio conocidos a esa época.

Valentinus consideraba que todos los metales son compuestos formados por sal, mercurio y azufre, en distintas proporciones. La “piedra filosofal” también estaba formada por los mismos elementos. Afirmaba que existe similitud en la manera de purificar el oro y de curar las enfermedades del hombre y que la mejor herramienta, en ambos casos, es el antimonio. Estaba familiarizado con el arsénico y algunos de sus compuestos, así como sus aplicaciones como medicinas. Conoció el cinc y en sus obras mencionó al bismuto, aunque bajo otro nombre, y sabía que la marcasita contiene hierro y azufre. Sabía que el manganeso se usaba para decolorar el vidrio. Mencionó algunas aplicaciones del nitrato de mercurio y del sublimado corrosivo (cloruro de mercurio (II)), del óxido de mercurio rojo. Conoció diversas formas de preparar antimonio y plomo así como obtener “azúcar de plomo” (acetato de plomo), litargirio (PbO), carbonato de plomo. Describió un método para preparar vitriolo verde (FeSO<sub>4</sub>), cloruro doble de hierro y amonio. Sabía que el hierro precipita al cobre de sus soluciones y que el hidróxido de potasio precipita hidróxido de hierro de soluciones de vitriolo verde. Escribió que el estaño suele venir impurificado con hierro y que el brillo del hierro de Hungría se debe a pequeños porcentajes de cobre. Conocía que los óxidos de cobre colorean de verde al vidrio, que la plata de Hungría contiene oro, que el oro precipita del agua regia mediante mercurio formando una amalgama. Obtuvo oro fulminante (ClAuNH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>NH haciendo reaccionar cloruro de oro (III) con solución acuosa de amoníaco.

La gran variedad y extraordinaria cantidad de reacciones hacen dudar de que hayan sido obra de una sola persona.

La iatroquímica tuvo sus defensores y sus detractores. Uno de los grandes problemas fue la administración de las dosis ya que un pequeño exceso de sustancias inorgánicas (compuestos de mer-

curio, antimonio, arsénico, etc.), podía provocar la muerte del paciente. Durante muchos años hubo una fuerte disputa entre médicos galenistas y paracelsianos.

Entre los que se opusieron tenazmente a la Iatroquímica se encontraba Guy Patin (1601 – 1672) quien era Profesor de Medicina en la Universidad de Paris. En su *Martirologium Antimonii*, documentó un número de casos en los que el antimonio usado como medicina, probó ser perjudicial para los pacientes. En el año 1666, la disputa acerca de los beneficios o perjuicios que causan el antimonio y el tártaro emético, se tornó tan violenta que todos los médicos de la Universidad de Paris fueron citados por el Parlamento y bajo la presidencia de Jean Vignon se iniciaron las deliberaciones para fijar una doctrina común. Por mayoría, los médicos votaron la continuidad de los tratamientos con tártaro emético y antimonio.

### **Bibliografía**

**Holmyard, E. J.**, (1990): *Alchemy*. Dover Publications Inc. New York.

**Leicester, H. M.**, (1956): *The Historical Background of Chemistry*. John Wiley & Sons, Toronto.

**Partington, J. R.**, (1945): *Historia de la Química*. Espasa – Calpe Argentina S.A., Buenos Aires.

**Thomson, T.**, (1830): *The History of Chemistry, Vol. I*. Coburn & Bentley. London.



# VIII. EL ATOMISMO EN EL SIGLO XVII

## 8 – 1. Introducción

Con la adopción de la filosofía aristotélica por parte de la Iglesia y con el aumento de su poder te-rrenal, las teorías de los atomistas griegos se fueron eclipsando.. En las Universidades casi no se mencionaban las ideas de Demócrito o de sus continuadores y cuando se hacían, eran para denostar-las. Eran ideas heréticas y paganas. El argumento esgrimido contra el atomismo apelaba a las con-vicciones religiosas dominantes en la sociedad. “Si sólo hay átomos y vacío, ¿Dónde está el al-ma?”<sup>300</sup>. “Si los átomos son eternos e indestructibles ¿Cómo se explica la transubstanciación, la transformación del pan en carne y del vino en sangre?” Para tener una idea de la imposición del aristotelismo, basta mencionar que la influencia del Papa Urbano VIII logró que en 1624 el Parla-mento de París sancionase un decreto estableciendo que todo aquel que sostuviera o enseñara públi-camente posiciones opuestas a Aristóteles era pasible de la pena de muerte.

No obstante, durante el transcurso del siglo XVII, fue aumentando el número de filósofos natu-rales que adoptaron alguna de las versiones de la doctrina atómica como marco explicativo de los fenómenos que estudiaban.

## 8 – 2. El resurgimiento del atomismo

Los cambios políticos y religiosos ocurridos en Inglaterra a raíz de la restauración de la monarquía (1660) posibilitaron la creación de la Ro-yal Society of London for Improving Natural Knowledge la que adoptó como lema “*Nullius in verba*”. Los trabajos que allí se enviaban tenían que versar sobre hechos experimentales. La Royal Society tenía un cu-rador, el primero fue Robert Hooke, encargado de comprobar la veraci-dad de los experimentos que se describían.

Los filósofos de la Edad Media y el Renacimiento aceptaban que los elementos eran un número reducido de sustancias simples, componentes de todos los cuerpos y en las cuales, en última instancia, los cuerpos podían resolverse. Consideraban que los elementos intervenían en dife-rente proporción en la formación de cada una de las sustancias com-puestas. Algunos alquimistas de esa época comenzaros a aceptar que *en los metales*, además de los cuatro de la tradición aristotélica: agua, tie-rra, aire y fuego, existían otros tres: el azufre, la sal y el mercurio.

A mediados del siglo XV, los escritos de Lucrecio eran prácticamen-te desconocidos en Europa. Pero el interés por sus obras tuvo un creci-miento importante debido, principalmente, al humanista italiano Poggio

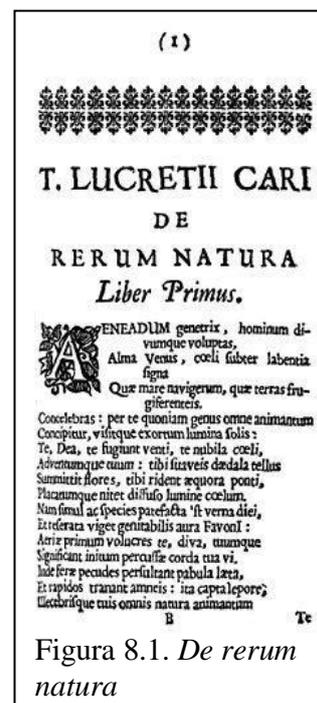


Figura 8.1. *De rerum natura*

<sup>300</sup> Aún en nuestra época hay quienes afirman que el alma “pesa” 21g.

Braccolini. (1380 – 1459) Siendo uno de los secretarios apostólicos del Papa, Poggio Braccolini exploró los monasterios de Europa buscando manuscritos latinos perdidos. Aparentemente, alrededor de 1415 encontró una copia de *De rerum natura* escrita por Lucrecio durante el siglo I de nuestra era. El descubrimiento de esa copia comenzó a despertar el interés de algunos filósofos por el atomismo. La primera edición de *De rerum Natura* se publicó en Brescia en 1473 y fue seguida por tres ediciones entre 1501 y 1507. De esta manera — y después de muchos siglos — se hizo accesible a los estudiosos occidentales un tratado completo de filosofía natural atomista.

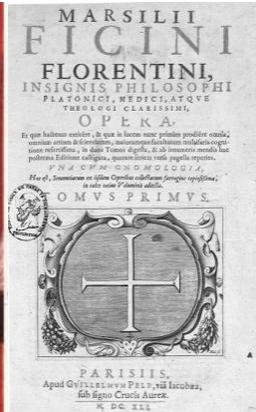


Figura 8.2. Marsilio Ficino y su “Opera”

Figura 8.2. Bernardino Telesio y su obra.

Uno de los primeros que estudió críticamente la obra de Lucrecio fue Marsilio Ficino<sup>301</sup> (1433 – 1499) un cura y astrólogo que dirigió la escuela platonista de Florencia y, que era un excelente traductor de textos antiguos. Otro estudioso que se dedicó al análisis de los escritos de ese pensador latino, fue Bernardino Telesio<sup>302</sup> (1509 – 1588), quien se inspiró en esta obra para escribir “*De la naturaleza de las cosas según sus propios principios*”, donde criticó fuertemente a la Física de Aristóteles.

314. **DIOG. LAERT. DE VITA DEMOCRITVS.**  
**D**emocritum Hergivtrati, sue secundam dios, Athenacrii, vel certe Democriti filius, sue ut alij putant, Milesius fuit. Magos autem quosdam et Chaldaeos audiuit Xerxe Rege, patri illius preceptores, quando apud illum hospitatus est relingente, et etiam refer Herodotus, a quibus et Theologiam et Astrologiam didicit cum adhuc puer esset. Postea vero Leucippum conuenit, et secundam quendam Anaxagoram, cum annis x. in minor quam ille esset. Refert Phavorinus in omnimoda historia, Democritum de Anaxagora dixisse, non illius esse quas scripsit de sole, ac luna opiniones, verum illo antiquiores, ipsiusque sibi eam fuerat esse, derogasse tamen ipsi que de mundi compositione et mente dixisset, in se ipso adversus illam animo. Cum ergo illum improbari, quo pacto ille eius auditor fuit? Demetrius autem in aequivois, et Antisthenes in successione tradant, illum in Aegyptum contendisse ad sacerdotum geometriam percepturum, et in Persiam ad Chaldaeos atque ad rabrum mare. Non desuere qui dicunt et Gymnosophis in India congressum esse atque in Aethiopia unisse. Cumque tertius esset frater, dixisse substantiam, minorumque portionem, que erat in pecunia sibi elegerit, qua illi in peregrinatione opus erat, hoc illi dolo solum arbitratum. Demetrius ipsius partem tantum talena excessisse auctor est, cumque illa breui consumpsisset. Adde vero studiosum fuisse, ut ex vicino hortulo sibi cellulam seligeret, ibique seipsum includeret, et cum aliquando ipsum pater bouem ad immolandum adduxisset, ibique diligeret, tandem hoc ab illo non fuisse cognitum, quo ad hunc ille sacrificij causa excelsit ac bonis admonuit. Confat, inquit, illum Athenas venisse, atque ob defectum glorie egrotare

315. **DIOG. LAERT. DE VITA**  
 et ipse prius quidem Hylem, postea vero Eleam Phocensium coloniam, suamque patriam civitatem humilem, bonos autem viros nutriti solium, dilexit magis quam Athenien suam magnificentiam, ad quos raro proficisceretur, demi cisdem commemorans. Hic et Achillem primus oratione compellavit, quamvis Phavorinus Parmenidem et alios complures profert. Placet autem illi mundos esse plures, vacuumque non esse naturam omnium rerum ex calido et frigido aridoque, et humido fuisse profectam, cum ista in alterutrum commutentur. Generationem hominum esse, et animamque, ita ex his omnibus commixtionem que preedicimus, ut a nullo eorum plus quam a ceteris obtineatur. Hanc autem cum maledictis ageretur, indignari solitum causantibus, quibusdam dixisse, si maledicta equo animo admittant, ne laudes quidem sentiam. Otto vero fuisse Zenones, cum de Critico loqueremur, diximus. Floruit autem olympiadem circiter sexagesimum.  
**LEUCIPPVS.**  
**L**euippus Eleates, fuit ut alij placet, Abderites, aut luxuria alios Milesius, Zenonis auditor fuit. Placebat illi infinita esse omnia, et in seipsa commutari, atque uniuersum istud inane esse plenumque corporibus, mundosque fieri corporibus in hoc inane incidentibus, et in se inuicem implicatis, atque ex motu secundum illorum incrementa naturam futurum fieri. Solem in circo maiori secundum lunam ferri, terram ubi, ac circa eam medium uerri, si gerantur; illius tympano similem. Primus hic atomos principia subiecit. Summam ista illi usque sunt, sed sunt explicanda per partes. Uniuersum quidem, ut diximus, infinitum ait. Huius partem plenam esse, partem inanem, et elementa aut mundosque, ex eis infinitos esse, et in illa dilabi atque dissolui. Sicut autem fieri mund

416. **DIOGENIS LAERTII DE PHILOSOPHORVM VITA, LIBER DECIMVS.**  
**EPICVRVS.**  
**E**picurus Neocles et Cherestrate filius, patria quidem Atheniensis, pater vero Chagettius ex Philaidarum familia, et Metrodorus in lib. de ingenietate retri, fuit. Sunt qui illum dicant, et in prius Sotionis breuitate, cum Atheniensis Samum sortitus essent, illic nutritum esse, ac demum octuam et decimum agentem aetatis annum, rursus Athenas concessisse quo tempore et Xenocrates in Academia, Aristoteles Chalcede scholam habebant. Defuncto autem Alexandro Macedone Rege, et Atheniensium sub Perdica afflictis rebus, Colophonem se ad patrem contulisse. Vbi cum aliquandiu comoratus esset, cogeretque discipulos, Athenas iterum redisse sub Anaxicrate, ibique aliquoties cum ceteris in comune philosophatis esse, ac deinde seorsum sectam a se vocatam constituisse. Decimo quoque uero aetatis anno philosophie dare operam cepisse ipse testis est. Apollodorus autem Epicureum in primo de uita Epicuri, refert illum ad philosophiam se contulisse grammatice insectante ac sopheris, quibus perconanti quidam esset apud Hefodiu chaos, exponere non potuissent. Grammaticam uero illi docuisse primum, ac demum lectis Democriti libri philosophie de iis operi Hierocippus auctor est, atque ob id Timonem de illo dixisse: *Ἐπίκουρος ἠρώμενος ἔργον ἠρώμενος ἔργον ἠρώμενος*. *Ἐργον ἠρώμενος ἔργον ἠρώμενος* [uobis] hoc est, Vltimus ex phisicis Samia; hic ultimus ora. *Pre*

Figura 8.3. Fragmentos de “Vidas y muertes de filósofos” de Diógenes Laercio.

<sup>301</sup> Marsilio Ficino, (1561): *Opera in duos tomos digesta*, Tomo I Libro IV Ep. 35 - p. 280.

<sup>302</sup> Bernardino Telesio, (1565): *De rerum natura iuxta propria principia*, H. Saluianum, Napoli

Otra fuente importante del pensamiento atomista del Renacimiento fue la *Vida de los filósofos*, escrita en el siglo III por Diógenes Laercio, impresa por vez primera en 1533. Las *Vidas* de Diógenes incluyen la de los atomistas de Abdera: Leucipo y Demócrito y el décimo libro está completamente dedicado a Epicuro de Samos. En él se encuentran cartas de Epicuro a Heródoto y Pitocles, siendo esta última una de los más claras y concisas exposiciones sobre la filosofía natural atomista. De modo que en el siglo XVI vastos escritos de los antiguos se volvieron accesibles para completar y estimular el interés por el atomismo

En el siglo XVI, a partir de la obra de Paracelso, se produce el auge de la Iatroquímica. Entre los iatroquímicos, — si bien no hubo unanimidad sobre cuáles son los principios elementales constituyentes de toda la materia — todos abandonaron el esquema aristotélico. Muchos recogieron el legado de los principios de la alquimia árabe constituyentes de todos los metales, — mercurio, azufre y sal y Paracelso popularizó la idea de la existencia de estos tres elementos, ya no sólo en los metales sino en todas las sustancias. El principio sal, era el responsable de la unión de los componentes de un sistema complejo: su presencia impedía la descomposición y de ahí derivaba su utilidad como conservante. Además, representaba tanto la solidez como la incombustibilidad. Paracelso afirmaba que<sup>303</sup>:

“Entre todas las sustancias, hay tres que dan a cada cosa su cuerpo, es decir, que todo cuerpo consiste en tres cosas; sus nombres son azufre, mercurio y sal; o bien, antes de cualquier otra cosa, es necesario conocer estas tres sustancias y todas sus propiedades en el macrocosmos. Y entonces se las encontrará en el hombre (microcosmos) absolutamente semejantes.

“Con el fin de comprenderlo mejor, pensad por ejemplo en la madera. Es un cuerpo. Quemadlo. Lo que arderá es el azufre; lo que se exhala en humo es el mercurio. Lo que queda en forma de cenizas es la sal. Así nos encontramos con las tres cosas, ni más ni menos, separadas cada una de la otra. Es necesario remarcar que todas las cosas contienen estos tres principios de igual manera. Si no pueden percibirse de una manera inmediata con la vista, siempre se revelen bajo la influencia del arte que los aísla y los vuelve visibles. Lo que arde es el azufre. Todo lo que entra en combustión es azufre. Lo que se eleva en forma de humo es mercurio. Solamente el mercurio sufre la sublimación. Lo que queda en cenizas es la sal.”

De esta manera, en la concepción paracelsiana, el azufre representaba la combustibilidad, el mercurio la volatilidad y la sal la solidez. La combinación de estos tres principios dan como resultado las propiedades de cada cuerpo. Esos tres principios se conocen históricamente como *tría prima*.

De la obra de Paracelso no se infiere si había un límite a la división de la materia, es decir, si existían los átomos y, además, consideraba posible la transmutación aunque aclaraba que era un procedimiento muy complicado en el que se debía ascender a una “escalera de la transmutación” en la que tenía siete “peldaños” o “grados principales” que eran: Calcinación, Sublimación, Solución, Putrefacción, Destilación, Coagulación y Tintura. A su vez, cada uno de estos grados tenía sus “miembros”. Por ejemplo: Los miembros de la calcinación son: reverberación, cimentación e incineración: con lo cual, en todas las operaciones que se hacen en este grado las cosas se convierten en cal o en cenizas. Para poder lograr la transmutación había que seguir atentamente el comportamien-

---

<sup>303</sup> Metzger, H., (1969): *Les doctrines chimiques en France du début du XVIIe à la fin du XVIII siècle*, Ed. Albert Blanchard, París, p. 348.

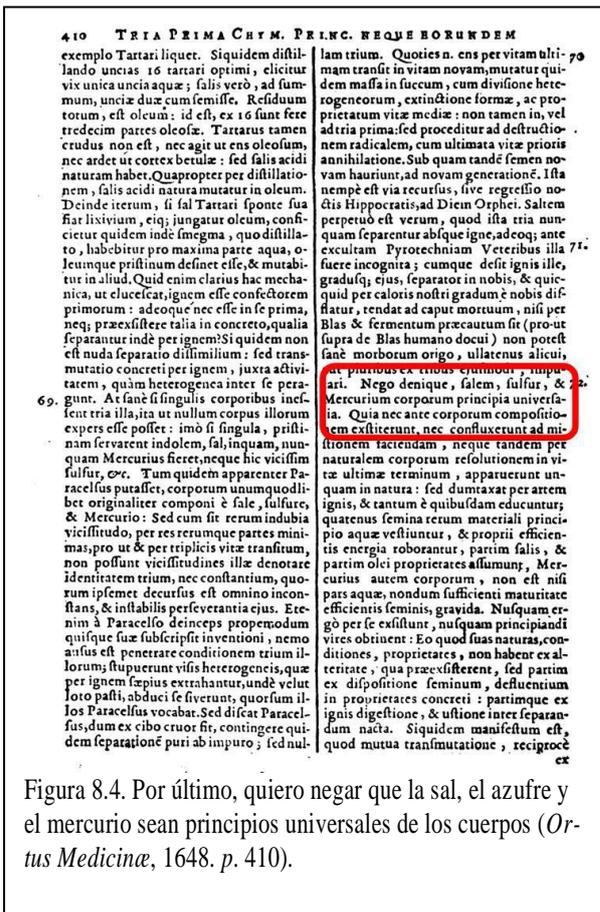


Figura 8.4. Por último, quiero negar que la sal, el azufre y el mercurio sean principios universales de los cuerpos (*Ortus Medicinæ*, 1648. p. 410).

to que tenían en la Naturaleza las sustancias a transformar y el menor apartamiento de las acciones naturales haría fracasar las operaciones.<sup>304</sup>

Johann Baptiste van Helmont, si bien es considerado un *iatroquímico* sostuvo que:

No es posible estar de acuerdo con la teoría de los tres principios. Tal y como demuestra la experiencia, no todas las materias pueden descomponerse en los tres principios. Hay muchas descomposiciones de sustancias en las que por ningún sitio aparece mercurio, azufre o sal.

Van Helmont, no sólo negó la teoría de la tría prima sino que tampoco aceptaba la doctrina aristotélica de los cuatro elementos. Sostuvo que el fuego no es absoluto un elemento. No es permanente: nace y se extingue. No tiene existencia material. Se trata simplemente de un agente de cambio, de un obrero de la naturaleza. El aire no es ninguna sustancia susceptible de sufrir modificaciones. Siempre seguirá siendo aire. Sus acciones son solamente de tipo mecánico. La tierra puede transformarse en agua, de manera que no es ningún

principio elemental inmutable. Pero de lo que no cabe duda es que el agua está presente en todos los cuerpos. Todos los cuerpos tienen su origen en el agua y todos pueden volver a ser agua, por uno u otro camino.

“Todos los cuerpos mixtos, sea cual sea su naturaleza, opacos o transparentes, sólidos o líquidos, semejantes o diferentes, están materialmente compuestos de agua y pueden ser totalmente reducidos a agua insípida sin que quede de ellos la menor traza de materia térrea”.

Para confirmar su teoría de que el agua es el único constituyente de todos los cuerpos, Van Helmont se propuso demostrar la existencia de un disolvente universal al que denominó “alcagesto”, nombre con reminiscencias alquimistas y árabes. Según van Helmont, todos los procesos de disolución consisten en la disgregación del agua constituyente. El hallazgo de un disolvente en cuyo seno se disolvieran todas las sustancias, sólidas y líquidas, orgánicas e inorgánicas, evidenciaría la presencia de agua en todo sistema material. van Helmont dijo haber dispuesto durante unos cuantos días de un poco de alcagesto en un recipiente, pero no dio ninguna información acerca de cómo lo consiguió ni de los experimentos realizados. (Obviamente, tampoco explicó cómo se las ingenió para que el alcagesto no disolviera el material del recipiente).

Para explicar la diversidad de las sustancias, van Helmont elaboró dos teorías:

a) En cada cuerpo el agua presenta un grado de condensación diferente. En un trozo de hierro el agua está mucho más condensada que en un trozo de madera. Esto explica las diferentes densidades.

<sup>304</sup> Ya hemos mencionado que Paracelso consideraba que la transmutación era una actividad de importancia secundaria de la Alquimia. Al respecto escribió “Muchos han dicho que la Alquimia es el arte de hacer oro y plata. Para mí, este no es el objetivo sino que considero que es encontrar qué virtud y poder pueden yacer en las medicinas”

b) Si bien el agua es el único constituyente material de los cuerpos, en cada cuerpo hay un constituyente espiritual que le da al objeto su carácter propio. Este constituyente espiritual ha sido creado por Dios y pueden pasar de una sustancia a otra dando lugar a los cambios químicos<sup>305</sup>

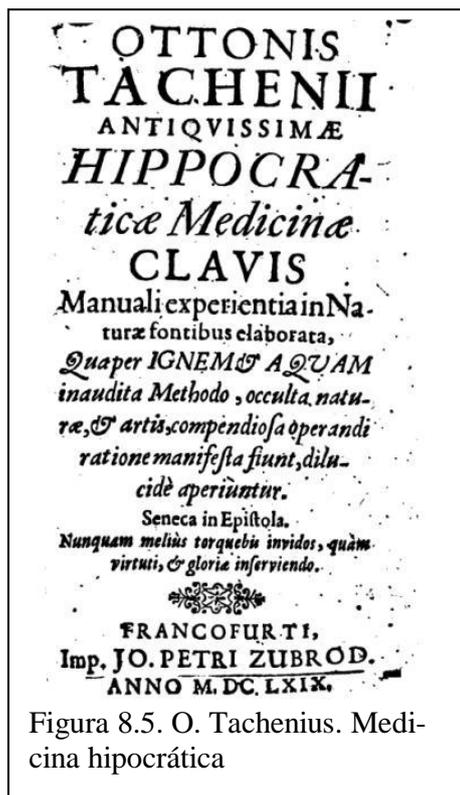


Figura 8.5. O. Tachenius. Medicina hipocrática

Ya en el siglo XVII, otros iatroquímicos consideraron a las reacciones químicas como el encuentro entre contrarios. El más conocido exponente de estas teorías fue Otto Tachenius, quien afirmaba “De acuerdo con lo que muestra la experiencia, todos los seres sublunares están compuestos de dos cosas: el ácido y el álcali”. En su concepción, álcali no era solamente las cenizas de ciertos vegetales que se empleaba para hacer jabón sino toda aquella sustancia capaz de enfrentarse con un ácido. Por ello, como la mayoría de los metales producen efervescencia con los ácidos, Tachenius consideraba que los metales eran álcalis. En su concepción, reducía toda la variedad de sustancias a dos principios contrarios, que tienden a neutralizarse mutuamente.

La teoría de la dualidad ácido – álcali no suscitó muchas adhesiones. Ningún químico fue capaz de descomponer el oro en un ácido y en un álcali. Por otra parte, tampoco quedaba establecido que todos los ácidos, por el hecho de serlo, tuvieran un carácter elemental, no descomponibles en otras sustancias más sencillas.

Observamos así que si bien los iatroquímicos rechazaban la teoría aristotélica de los cuatro elementos, al suponer posible la transmutación, tampoco adherían al atomismo clásico de unidades eternas, indivisibles e indestructibles.

### 8 – 3. Pierre Gassendi

Quizás, el atomista más relevante del siglo XVII, haya sido Pierre Gassendi (1592 – 1655). En 1649 publicó su mayor obra sobre el atomismo, *Syntagma Philosophiæ Epicuri*, dividida en tres secciones: Lógica, Física y Ética. Aún antes de exponer acerca de los átomos, Gassendi dedicó tres capítulos a discutir sobre el vacío y su necesidad, extendiéndose en el análisis de los experimentos de Torricelli. Se explayó sobre la tesis de Epicuro describió a los átomos diciendo que no pueden ser creados ni destruidos, tienen peso y no pueden ser subdivididos. No son como puntos geométricos sino que tienen un tamaño definido aunque muy pequeño. Donde se diferenció de la concepción griega es en cuanto a su origen: no han existido por siempre sino que fueron creados por Dios. Los átomos no se mueven “*a se ipsis*” (por sí mismos) sino por “*Dei gratia*” (por gracia de Dios). Esta es la idea que intentó liberar al atomismo del ateísmo.

Todos los fenómenos físicos, afirmaba Gassendi, resultan de los diversos movimientos, figuras y pesos de de átomos indivisibles en movimiento a través del vacío. Él confiaba fuertemente en la

<sup>305</sup> Es probable que esta afirmación haya sido producto de su relación con la Iglesia. En 1621 había publicado *De magnetica vulnerum curatione* donde intentó explicar científicamente algunos de los milagros relatados en la Biblia. Intervino la Inquisición y van Helmont fue hecho un prisionero virtual en su quinta de Vilvorde, hasta su muerte en 1644.

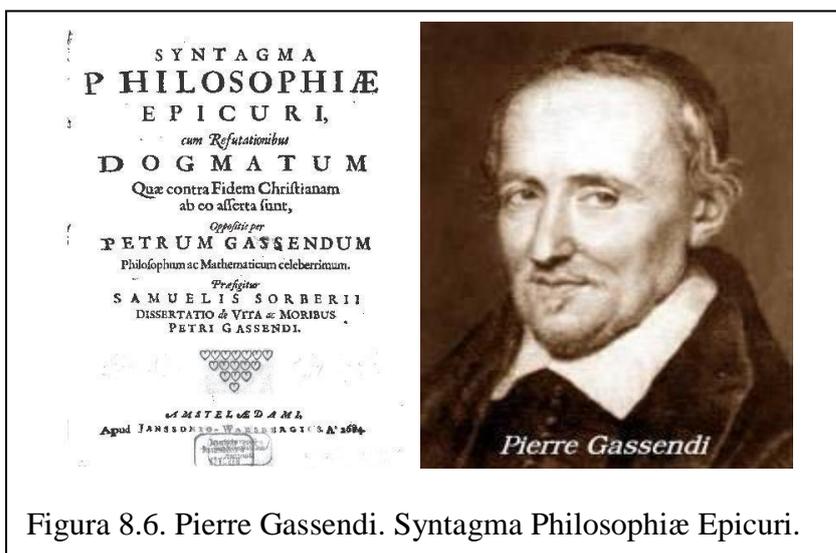


Figura 8.6. Pierre Gassendi. Syntagma Philosophiæ Epicuri.

existencia de un *effluvia* material que efectuaban las fuerzas de la naturaleza en el mundo físico. Por ejemplo, las atracciones magnéticas y eléctricas eran causadas por exhalaciones de corrientes apropiadas de pequeños corpúsculos de los cuerpos que interactuaban.

Gassendi consideró que los átomos pueden unirse formando grupos a los que llamó “moleculæ”<sup>306</sup>. Sin embargo, estos grupos no se mantienen juntos por fuerzas atractivas sino que

están como abrochados.

#### 8 – 4. La concepción plenista de Des Cartes

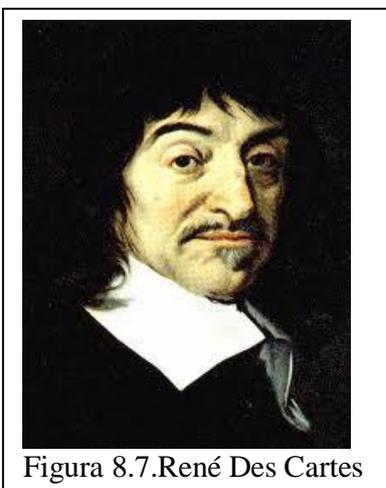


Figura 8.7. René Des Cartes

René Des Cartes (1596 – 1650), sostuvo una concepción diferente a la de Gassendi. El universo cartesiano estaba compuesto de una materia primigenia cuya característica esencial es su extensión. El espacio posee también extensión y, consecuentemente, difiere de la materia sólo en la imaginación. A diferencia de los atomistas, Descartes insistía en que la materia es infinitamente divisible y, dado que espacio y cuerpo son indistinguibles, no existe “espacio vacío” en la Naturaleza.

La de Descartes, es una concepción “plenista” de la naturaleza, en la que los cambios en los cuerpos macroscópicos no se deben a las cualidades, como sostenían los aristotélicos, sino que se deben a transformaciones puramente mecánicas.

#### 8 – 5. El empirismo en Inglaterra

Después de la decapitación de Carlos I de Inglaterra, en 1649, los *émigrés* comenzaron a retornar a Inglaterra, llevando con ellos la filosofía atómica de Gassendi y el empirismo de Sir Francis Bacon. Fueron sus principales exponentes: Hobbes, Henry y Charles Cavendish, William Petty y otros, nucleados en el llamado “Círculo de Newcastle”.

Thomas Hobbes llegó a postular un atomismo más radical, en el cual el alma del hombre era también material (luego, él le diría al Obispo Bramhall que aún Dios es material y corpóreo, por lo que fue acusado de hereje). Fue Walter Charleton quien trató de refutar las acusaciones de ateísmo que pesaban sobre el atomismo y sus practicantes. En 1654 escribió su *Physiologia Epicuro-*

<sup>306</sup> 162 años después, Avogadro utilizaría esta misma para identificar a las partículas constituyentes de las sustancias.

*Gassendo-Charltoniana* donde explicó que el atomismo epicúreo moderno ha sido despojado de sus herejías paganas por la doctrina de Gassendi. Sostuvo que los átomos fueron creados *ex nihilo* por Dios quien les infundió una virtud motriz o “Energía interna”, que es la causa primera de todos los fenómenos naturales y que sólo un Ser Divino podría lograr que un sistema tan complejo como el Universo sea el resultado de millones y millones de átomos individuales.

La famosa demostración de los hemisferios de Magdeburgo realizada en 1654 por Otto von Guericke con su bomba de vacío fue una confirmación inobjetable — y más contundente que el experimento de Torricelli, — de la existencia del vacío.

Todas las filosofías mecanicistas, incluyendo el atomismo ortodoxo, dependen en última instancia de corpúsculos inobservables que interactúan de una manera que era inaccesible a los filósofos naturales cualesquiera fueran los métodos instrumentales que ellos pudiesen disponer. ¿Cómo podría el atomismo ajustarse a una explicación científica? Al respecto los filósofos mecanicistas sostuvieron que esa falla es inherente a la filosofía natural: en el último nivel atómico (o corpuscular) la certidumbre está excluida de la “Física”<sup>307</sup>. Cuando se trata de las partículas básicas de la naturaleza y sus interacciones, la certidumbre, deseada tanto por los deductivistas euclidianos como por las distintas variedades de los baconianos, es imposible de alcanzar. Por lo tanto, los filósofos naturales se veían obligados a desarrollar *hipótesis* acerca de los posibles mecanismos internos del mundo natural. Por supuesto, había limitaciones a la fantasía, ya que toda hipótesis tenía que ser consistente con la experiencia macroscópica y no debía conducir, por un razonamiento lógico, a un absurdo.

Desde antes de su fundación formal, la Royal Society se constituyó en un baluarte del empirismo. El llamamiento de Francis Bacon para buscar la certidumbre en la ciencia a través de la experimentación encontró amplio eco en sus discípulos quienes les imprimieron a las ciencias naturales un desarrollo notable. Uno de sus miembros más ilustrados fue Robert Boyle (1627 – 1691).

## 8 – 6. Robert Boyle

Robert Boyle fue uno de los principales exponentes de la filosofía experimental en los primeros años de la Royal Society. Mediante un conjunto ordenado y sistemático de datos experimentales, buscó reivindicar una visión mecanicista de la Naturaleza a expensas de teorías rivales, en particular la cosmovisión escolástica asociada con las ideas de Aristóteles. Boyle fue también uno de los principales apologistas de la nueva ciencia, exponiendo su racionalidad, desarrollando su justificación, puliendo sus implicaciones filosóficas y reflexionando en profundidad sobre las relaciones recíprocas entre ciencia y religión.



Figura 8.8. Robert Boyle

Boyle nació en el castillo de Lismore el 25 de enero de 1627. Fue el hijo menor de Richard Boyle, primer conde de Cork, — un “aventurero” que hizo su fortuna en Irlanda y que se convirtió en uno de los hombres más ricos y más influyentes del Reino Unido.

Boyle se crió en un ambiente aristocrático, fue educado en parte en el hogar y en parte en el Colegio Eton. Para completar su educación viajó a Francia, Italia y Suiza, donde recibió instrucción en distintas especialidades. En uno de los viajes al Continente sobrevino una tormenta impresionante

<sup>307</sup> Lo que fue desarrollado en el siglo XX por Werner Heisenberg y que constituye uno de los principios de la física moderna.

que casi hace naufragar al barco, a raíz de la cual experimentó una conversión religiosa que guiaría su comportamiento personal y sus opiniones científicas. El profundo teísmo de Boyle no sólo influyó en su concepción de la filosofía natural, sino también en su vida personal, y los imperativos religiosos que dominaron su vida permiten entender las contradicciones entre sus concepciones teóricas y el resultado de muchos de sus experimentos.

Boyle regresó a Inglaterra en 1644, estableciéndose en una finca que le dejó su padre en Stalbridge, Dorset, donde pasó la mayor parte de la siguiente década.

Inicialmente, Boyle inició una carrera como escritor, pero, al contrario de lo que podría esperarse de sus publicaciones posteriores, sus esfuerzos no fueron inicialmente dedicados a la ciencia. Su primer proyecto (1645-6) fue su *Aretology*<sup>308</sup>, un tratado un poco rebuscado sobre “elementos éticos” donde pretendió fijar los rudimentos de la moralidad como base para la búsqueda de la virtud. Posteriormente experimentó con otros géneros literarios, incluyendo reflexiones piadosas, vida imaginaria, discursos y cartas de presentación de recetas moralistas a destinatarios ficticios, entre las que se puede mencionar “*Some Motives and Incentives to the Love of God*” (1659) quizás, la exposición más precisa de los escritos moralistas y religiosos de Boyle.

En 1649, instaló un laboratorio en su castillo de Stalbridge y los experimentos que comenzó a realizar lo fascinaron de tal manera, que transformaron su carrera. Estos experimentos eran mayoritariamente químicos (y alquímicos), aunque también realizó una gran cantidad de observaciones biológicas utilizando un microscopio.

En esta época, sus ideas estaban influenciadas por autores del siglo XVI y principios del siglo XVII como Paracelso, Bernardino Telesio, Francis Bacon, Tommaso Campanella y Johann Baptiste van Helmont. En los escritos de esa época, Boyle expresó una cierta solidaridad con los “chymists” y expuso sus primeras ideas sobre el atomismo en su *Of the Atomicall Philosophy* (1652 – 54)<sup>309</sup>. En este trabajo tomó en gran parte las ideas atomistas de Daniel Sennert (1572 – 1637).

También escribió un breve ensayo referido a la Química, el que se considera el antecedente de su “Sceptical Chymist”. En él se propuso educar a los “chymists” en la necesidad de un enfoque más filosófico para el estudio de la naturaleza.

En esta etapa de su carrera, Boyle adhirió en buena parte a las ideas del reformador social Samuel Hartlib (1600 – 1662), quien influenciado por Francis Bacon y por Comenius<sup>310</sup> sostenía que la reforma educativa y la filosofía podrían conducir a mejorar la paz universal.

A fines de 1655, Boyle se trasladó a Oxford donde su actividad experimental se intensificó, y su perspectiva filosófica se fue actualizando al unirse al animado grupo de filósofos allí establecidos bajo los auspicios de John Wilkins (1614 – 1672) y que se conoce como *Invisible College*. Este grupo se considera como los precursores de la Royal Society<sup>311</sup>, que sería fundada en 1660. La relación con estos filósofos causó un gran impacto en Boyle. Fue en este contexto que adhirió firmemente a la llamada “Nueva filosofía” o “filosofía experimental” y enfrentó seriamente los escritos de los grandes exponentes de la filosofía natural del Continente europeo, en particular, a Gassendi y Descartes, refinando y modernizando sus ideas al influjo de sus colegas del Invisible College. En el

<sup>308</sup> La Aretología es la parte de la filosofía moral que analiza la virtud (*areté*), su naturaleza y los medios para alcanzarla.

<sup>309</sup> En el manuscrito de este texto, Boyle agregó: “These Papers are without fayle to be burn’t” *Works*, vol.13, pp. 225-35. Se supone que, por escribir ese trabajo, Boyle fue criticado como “ateísta”.

<sup>310</sup> Jan Amos Komensky, (1592 – 1670) pensador checo quien propuso los fundamentos de un sistema de educación para todos los hombres y para todos los pueblos. Es considerado el “padre de la Pedagogía”.

<sup>311</sup> De hecho, John Wilkins fue su primer Secretario.

caso de Descartes, si bien Boyle conocía sus primeros escritos, afirmó que la persona que “le hizo comprender la filosofía de Des Cartes” fue Hooke. Robert Hooke (1635 – 1703) había comenzado a trabajar como empleado de Boyle en 1659 y lo ayudó en algunas de sus cruciales experimentos. Con la asistencia de Hooke quien ideó la pieza más famosa de aparatos del laboratorio, — la cámara de vacío o bomba de aire — Boyle fue capaz de llevar a cabo una serie de ensayos destinados a dilucidar el comportamiento del aire ante los cambios de presión.

Durante los años que pasó en Oxford, antes de mudarse a Londres, Boyle desarrolló innumerables experimentos sobre diversos aspectos de la Naturaleza, los que dieron lugar a muchas publicaciones. Entre ellas, cabe mencionar:

*New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of Air and its Effects* (1660), *Certain Physiological Essays* (1661), *The Sceptical Chymist* (1661), *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy* (1663, 1671), *Experiments and Considerations touching Colours* (1664), *New Experiments and Observations touching Cold* (1665), *Hydrostatical Paradoxes* (1666) y *The Origin of Forms and Qualities* (1666).

A partir de 1664, muchos de sus trabajos fueron publicados en las *Philosophical Transactions* de la Royal Society.

Inspirado en las ideas que Francis Bacon había expuesto en su *Novum Organum*, Boyle desarrolló un método empírico que fue tomado como modelo recomendado por la Royal Society para todos sus miembros. Boyle se encargó de hacer los arreglos y correcciones para que sus obras fuesen publicadas en latín, por lo que fueron conocidas, y algunas criticadas, en todos los centros científicos de Europa.

Incansable, Boyle desarrolló un extenso trabajo experimental hasta, prácticamente, el final de sus días. Quizás el más notable se publicó como *Experiments, Notes, & about the Mechanical Origin or Production of Divers Particular Qualities* (1675) del cual extrajo conclusiones que volcó en *A Continuation of New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring and Weight of the Air, and their Effects. The Second Part* (1680), en *Experiments and Considerations about the Porosity of Bodies* (1684) y en *Experimenta & Observationes Physicæ* (1691).

Boyle también realizó experimentos vinculados con la Medicina y que fueron publicados como *Memoirs for the Natural History of Human Blood* (1684), *Of the Reconcilableness of Specifick Medicines to the Corpuscular Philosophy* (1685) y *Medicina Hydrostatica* (1690).

En los últimos 20 años de su vida, publicó varios ensayos filosóficos y teológicos. Entre ellos pueden mencionarse, *Excellency of Theology, Compar'd with Natural Philosophy* (1674), al cual le agregó un pequeño ensayo sobre el mecanicismo “*Considerations About the Excellency and Grounds of the Mechanical Hypothesis*”; “*Free Enquiry into the Vulgarly Receiv'd Notion of Nature*” (1686). En esta obra expresa sus reflexiones maduras sobre temas teológicos y filosóficos. En su testamento dejó un legado para que se pronuncien conferencias pías contra el ateísmo y para propagar el cristianismo. La primera serie de ellas fue desarrollada por el obispo Richard Bentley en 1692.

Boyle fue un extraordinario experimentador. Imbuido en las ideas de Francis Bacon, expuso sus ideas de cómo desarrollar el método inductivo. En su “*Certain Physiological Essays*” (1661) incluyó varios ensayos en los que presentó su opinión sobre el trabajo experimental resaltando la importancia que debe tener para el experimentador los resultados no exitosos de su tarea. También ilustró la manera en que los resultados de tales ensayos pueden utilizarse para proveer un fundamento científico de su versión de la filosofía mecánica, a la cual bautizó “*corpuscularismo*”.

## 8 – 7. El corpuscularismo de Boyle

En la profusa obra de Boyle, no hay ninguna mención al vacío. Sólo tomando en cuenta la profunda religiosidad de Boyle puede entenderse como, luego de comprobar experimentalmente las relaciones de compresibilidad del aire, se resistía a aceptar la idea del vacío. Al escribir su trabajo *Of the Atomical Philosophy* había tomado las ideas de Daniel Sennert, y de Joachim Junge (1587 – 1657) quien exponía sus ideas atomistas. Pero si sólo hay átomos y vacío ¿Dónde está el alma? El alma no es materia, no está formada por átomos. Pero en la concepción cristiana, existe. Si los átomos, como su nombre lo indica, son indivisibles y, como sugirieron atomistas como Gassendi, son indestructibles ¿Cómo se explica la transubstanciación del pan en carne y del vino en sangre? Indudablemente, las contradicciones entre las creencias religiosas y las conclusiones derivadas de sus experimentos deben haber ocupado buena parte de las meditaciones de Boyle.

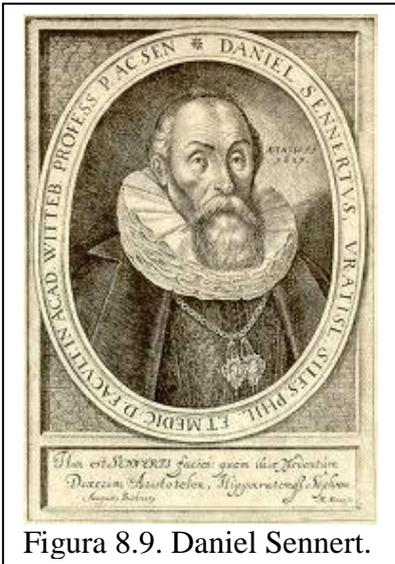


Figura 8.9. Daniel Sennert.

Por otra parte, muchos filósofos europeos, creían en un “*plenum*”, en que el Universo está lleno de materia. Así, por ejemplo, Descartes sostenía que el movimiento era posible sin necesidad de concebir el vacío. Para demostrarlo, proponía hacer un agujero en la base de un tonel completamente lleno de líquido, sólo si se hacía otro agujero en la parte superior para que entrase el aire — que para él era una sustancia extensa — el líquido podía salir. De ese experimento concluía que la falta de vacío no impide el movimiento y que el “lleno” es una de las condiciones para que haya movimiento.<sup>312</sup>

Boyle tomó la idea de Sennert de que se podía dividir la materia hasta una *mínima naturalia*, pero rehusó siempre pronunciarse sobre si esas *minima naturalias* debían considerarse átomos en el sentido estricto del término o no. Si bien era partidario de reformar la Física hipotética para transformarla en una filosofía experimental, le resultó imposible probar experimentalmente tanto la existencia de los átomos como las hipótesis de Descartes. De allí que quedó a un camino intermedio entre esas dos posiciones extremas y su concepción se conoce como corpuscularismo mecanicista. En sus escritos trató de ilustrar las ideas de los filósofos mecanicistas y, de esta manera, demostrar que la filosofía corpuscular tenía su fundamento en los experimentos. Al respecto escribió

Espero poder al menos hacer algún servicio, que no sea inapropiado, a las filosofías corpusculares ilustrando algunas de sus nociones mediante experimentos sensibles<sup>313</sup>

Daniel Sennert<sup>314</sup> en 1631 y Sébastien Basso<sup>315</sup> en 1636 habían puesto sobre el tapete una pregunta que subsistió durante más de dos siglos ¿Qué relación existe entre los átomos y los cuerpos que tienen propiedades químicas específicas y que pueda ser detectable mediante experimentos?

<sup>312</sup> Descartes no se había enterado que en 1643, Torricelli había realizado su clásico experimento.

<sup>313</sup> *The Works of the Honourable Robert Boyle*, Thomas Birch, (ed.), 6 vols. (London, 1772); reimpresión de la edición de 1744 por George Olms, (1966), Vol. I, pág. 356.

<sup>314</sup> Daniel Sennert., (1519): *De chymicorum cum aristotelicis et galenicis consensu et dissensu*. Witterberg.

<sup>315</sup> Sébastien Basso., (1636): *Philosophiae naturalis adversus Aristotelem libri XII*. Elsevier, Amsterdam.

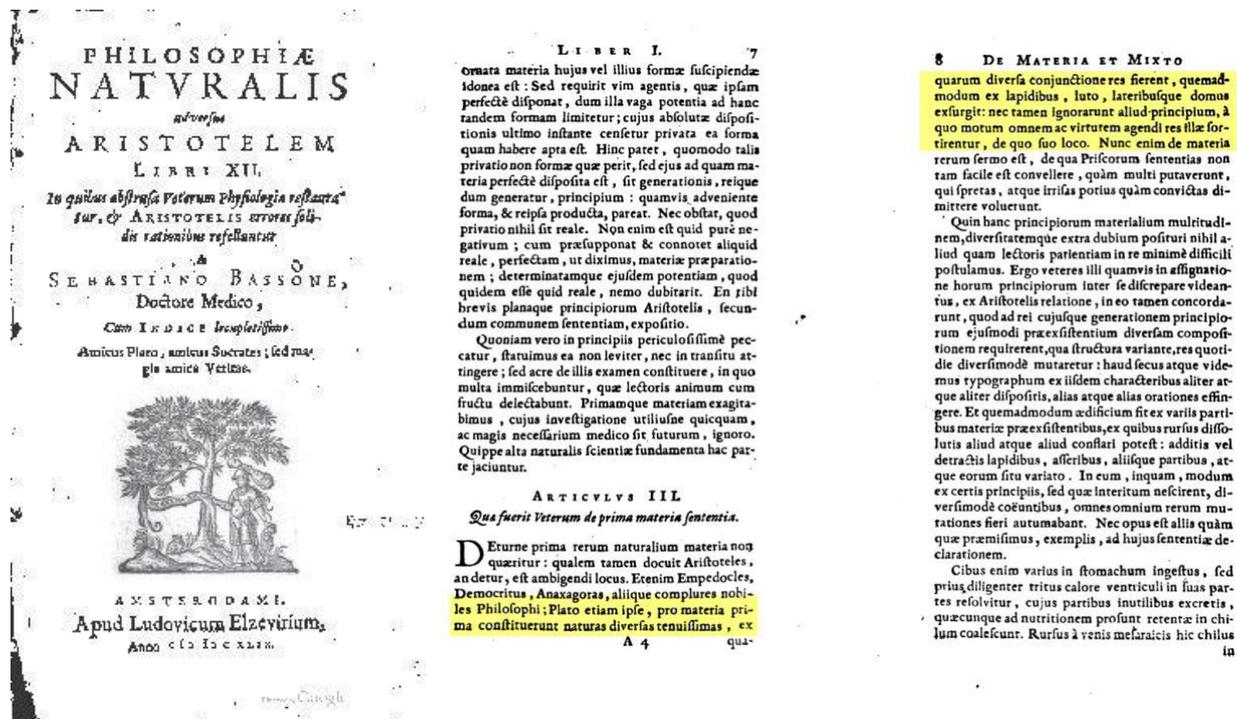


Figura 8.10. La filosofía Natural. Sebastien Basso.

Basso utilizó dos metáforas para describir a los átomos. La primera los consideraba como a las letras del alfabeto, cuya combinación da origen a distintas palabras. Mediante esta metáfora, Basso sugería la posibilidad de que hubiese átomos diferentes y que la diferencia entre los átomos permitiría que su conjunto tuviera sentido. En la segunda metáfora, Basso comparaba a los átomos con los ladrillos de un edificio. Aunque todos los ladrillos fueran idénticos, las edificaciones construidas con ellos no tienen por qué ser iguales. Este átomo ladrillo daba la idea de una materia primordial homogénea, con lo que las diferencias entre los agregados era una mera cuestión de configuración.

Las metáforas usadas por Basso dividieron las opiniones de los corpuscularistas. Unos optaron por el átomo “alfabeto” y otros por el átomo “ladrillo”. Los que optaron por esta última imagen, según la cual las partículas últimas tienen solamente propiedades primarias – extensión, forma, impenetrabilidad y masa - han sido llamados “químicos mecanicistas”.

Sennert consideraba que los mixtos eran agregados y al plantear el problema de la identidad de tales agregados consideró que, al formarse un mixto, se conservaban las formas de los elementos aunque sus propiedades disminúan en intensidad. Al respecto daba como ejemplo que al disolver oro en agua regia sus propiedades se debilitan tanto que se vuelven imperceptibles, pero al recuperar el oro (de la solución) este recobra todas sus propiedades.

Boyle se oponía a las concepciones de los escolásticos y de los seguidores de Paracelso, quienes explicaban las cualidades de un cuerpo (frío, calor, fragilidad, fusibilidad, etc.) a partir de las cualidades propias de cada elemento. Sostenía, en cambio, que las cualidades de los cuerpos eran el producto de las diferentes agregaciones de partículas y no de la combinación de las cualidades de las supuestas sustancias elementales. Para demostrarlo repitió un experimento de Sennert. Disolvió plata con ácido nítrico. A la solución de nitrato de plata le agregó carbonato de sodio, precipitando el carbonato de plata. Una vez filtrado, calentó el carbonado de plata en un crisol recuperando la plata metálica. Con esa plata se podía repetir indefinidamente el experimento. De esta manera demostraba que la plata puede perder sus cualidades y sus formas y seguir siendo plata. En su concepción, las propiedades químicas de los cuerpos macroscópicos eran el resultado de las propiedades e interacciones mecánicas de los corpúsculos que los forman. Al igual que otros baconianos suponía posible encontrar esa relación, pero una cosa era exponer esta hipótesis y otra comprobarla experimentamente.

talmente. Algunos corpuscularistas, cifraban sus esperanzas de alcanzar el éxito utilizando los instrumentos ópticos que se estaban desarrollando recientemente. Christopher Wren, creía que con el perfeccionamiento de los microscopios se podría establecer la forma de agregación de los constituyentes de la materia. Al respecto escribía:

*Los fenómenos naturales, habiendo sido ordenados últimamente en una forma geométrica de razonamiento a partir de experimentos oculares, han de probar una Ciencia de la Naturaleza real, no una hipótesis de lo que la naturaleza puede ser, la perfección de los telescopios y microscopios mediante los cuales nuestros sentidos pueden avanzar infinitamente, parecen ser el único modo de penetrar en las más ocultas partes de la Naturaleza...*<sup>316</sup>

Pero en el siglo XVII cualquier intento de aislar con certeza un elemento estaba condenado al fracaso.

## 8 – 8. El mecanicismo de Boyle

Boyle hizo suya la concepción mecanicista de Des Cartes. Para Des Cartes, el Universo era una suerte de mecanismo de relojería gigante. Según él, el mundo se reduce a materia en movimiento. Su mecanicismo se fundamentaba en unos pocos principios físicos y metafísicos, algunas teorías auxiliares, datos de observación y normas epistemológicas derivadas de sus principios metafísicos.

- i) La esencia de la materia es su extensión.
- ii) La materia es infinitamente divisible.
- iii) Espacio y materia son dos aspectos de una misma entidad.

Hay 3 tipos de partículas, caracterizadas por sus propiedades geométricas y cantidad de movimiento. El primer género de materia se caracteriza por sus dimensiones ínfimas. Son producidas por roces y raspaduras de partículas más grandes y se mueven a tal velocidad que al chocar con otros cuerpos son deshechas a tamaños aún menores. El otro género de materia está constituido por partículas esféricas y muy pequeñas y, por su tamaño, se mueven a velocidades menores y tienen menor probabilidad de desintegrarse en un choque. Un tercer género consta de partes de materia, que, por ser más gruesas y por su figura no son tan apropiadas para el movimiento como las precedentes. Las partes más gruesas forman los planetas, cometas, etc. En los intersticios de este tipo de materia, se encuentra el éter, — que es lo que forman los cielos — y en los intersticios del éter, se encuentra la luz — que es lo que forman al Sol y a las estrellas fijas.

Los principios físicos que constituyen la base de la teoría mecanicista de Des Cartes son:

El Principio de inercia “Cualquier cosa, en tanto que es simple e indivisible, siempre permanece en las mismas condiciones sin cambio a no ser que intervengan fuerzas externas”.<sup>317</sup>

. El Principio de movilidad rectilíneo: “Ninguna porción de materia considerada en sí misma, (*sin intervención de un agente exterior*) tiende a continuar su movimiento de forma curva sino que lo hace en línea recta”.

<sup>316</sup> **Christopher Wren:** *Parentalia, or Memoirs of the Family of the Wren*. London. 1750. Pág. 140. Vol I

<sup>317</sup> Este enunciado fue formulado y publicado por Des Cartes en 1644, pero se le atribuye a Newton quien lo publicó en sus *Principia* en 1687. Newton le tenía aversión a Des Cartes y llegó a decir que la idea del principio la había tomado de Galileo

El principio de la conservación de la cantidad de movimiento. “Cuando un cuerpo en movimiento se encuentra con otro, si este tiene menos “fuerza” para continuar en línea recta que el otro para oponérsele entonces es reflejado a otro lugar manteniendo su movimiento aunque pierda la dirección del mismo; sin embargo, en caso de tener más fuerza que el otro objeto, entonces lo mueve consigo mismo y pierde tanto movimiento como el que transmite al otro cuerpo”.

Boyle utilizó esta concepción para justificar el movimiento que hacen los “corpúsculos” del aire cuando se comprime o se expande sin comprometerse en la aceptación de la existencia del vacío.

## 8 – 9. El escepticismo de Boyle y su supuesta definición de elemento

En su libro *THE SCEPTICAL CHYMIST: Or CHYMICO – PHYSICAL Doubts & Paradoxes Touching The SPAGIRIST’S PRINCIPLES Commonly Call’d HYPOSTATICAL As They Are Wort To Be Propos’d And Defended By The Generality Of ALCHYMIST*, Boyle se explaya en argumentos para rebatir las teorías de la existencia de principios o elementos aristotélicos o paracélsicos que se encuentren en todos los cuerpos mixtos. En la página 350 de este libro menciona la definición de “elemento” o “principio” que daban los químicos de la época:

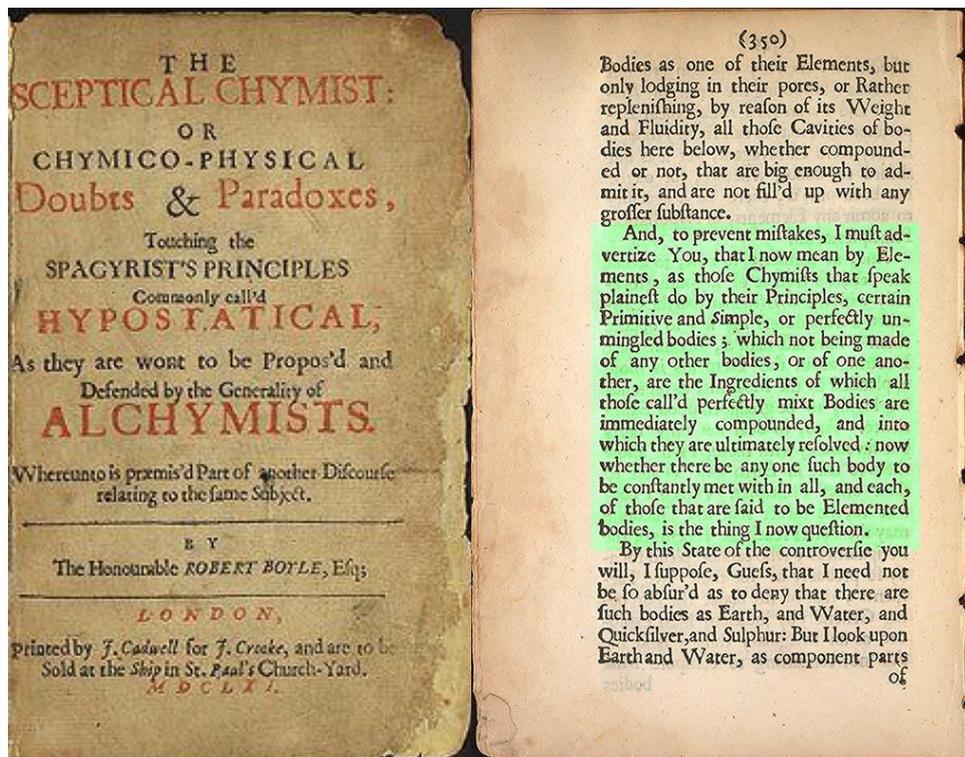
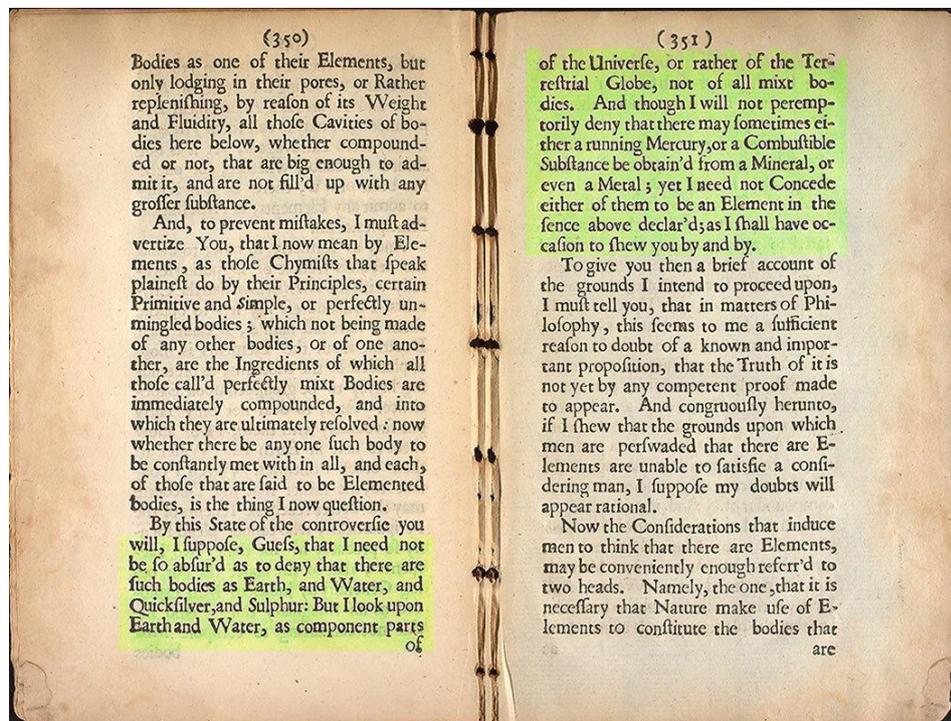
*“And to prevent mistakes, I must advertize You, that I now mean by Elements, as those Chymists that speak plainest do by their Principles, certain Primitive and Simple, or perfectly unmingled bodies, which not being made of any other bodies, or of one another, are the Ingredients of which all those call’d perfectly mixt Bodies are immediately compounded and into which they are ultimately resolved: now whether there be any one such body to be constantly met with in all, and each, of those that are said to be Elemented bodies, is the thing I now question.”*<sup>318</sup>

Nótese que no da una definición propia de “elemento” sino que, para exponer sus argumentos, toma la que usan “*aquellos químicos que hablan llanamente de sus principios*” como cuerpos simples y que forman *todos* los compuestos.

En la parte final de este párrafo, Boyle también se pregunta si existe o no un cuerpo elemental que esté presente en *todos* los cuerpos. Es decir, se pregunta si existe un “átomo ladrillo”. Si, realmente, el sustrato último de la materia estaba constituido por corpúsculos homogéneos, que sólo difieren en su disposición, eso explicaría la transmutación. La posibilidad de la transmutación chocaría frontalmente con la tesis sostenida por los atomistas de que los átomos son inmutables<sup>319</sup>.

<sup>318</sup> Y para prevenir confusiones, debo advertirles que ahora llamo elementos, como lo que los químicos expresan llanamente como principios, a ciertos cuerpos primitivos y simples perfectamente puros y sin mezcla; que no están formados por ningún otro cuerpo, ni unos por otro, que son los ingredientes a partir de los cuales se componen todos los que llamamos mixtos perfectos, y en los que finalmente estos se pueden descomponer: y lo que me pregunto ahora es si existe un cuerpo de este tipo que se encuentre de manera constante en todos, y en cada uno, de los que consideramos constituidos por elementos.

<sup>319</sup> De hecho, en su trabajo *Of a Degradation of Gold made by an anti-elixir: a strange chymical narrative*. London, 1678; Boyle sostuvo haber logrado la transmutación del oro en un metal vil.

Figura 8.11. *The Sceptical Chymist*. y p. 350.Figura 8.12. *The Sceptical Chymist*, p 350 351.

Refiriéndose a la existencia de cuerpos simples, Boyle expresa:

*No voy a ser tan absurdo de negar que hay tales cuerpos, como la tierra y el agua y el mercurio y el azufre: pero considero a la tierra y el agua como partes componentes del Universo, o mejor dicho, del Globo terrestre, y no como parte de todos los cuerpos mixtos. Y si bien no voy a negar*

*imperiosamente que, a veces, puede obtenerse mercurio o una sustancia combustible de un mineral, o aún de un metal, no necesito conceder que cualquiera de ellos sea un elemento en el sentido más arriba declarado (como constituyente de todos los cuerpos mixtos)*

Más adelante, Boyle explica que, a través de sus experimentos con zapallos, menta y otros vegetales, él ha comprobado la transmutación del agua:

*“Mediante esos experimentos, resulta evidente que el agua puede ser transmutada en todos los otros elementos, de donde se puede inferir que no cada una de las cosas que los químicos llaman sal, azufre o espíritu necesita ser siempre un cuerpo primordial e ingenerable.”*

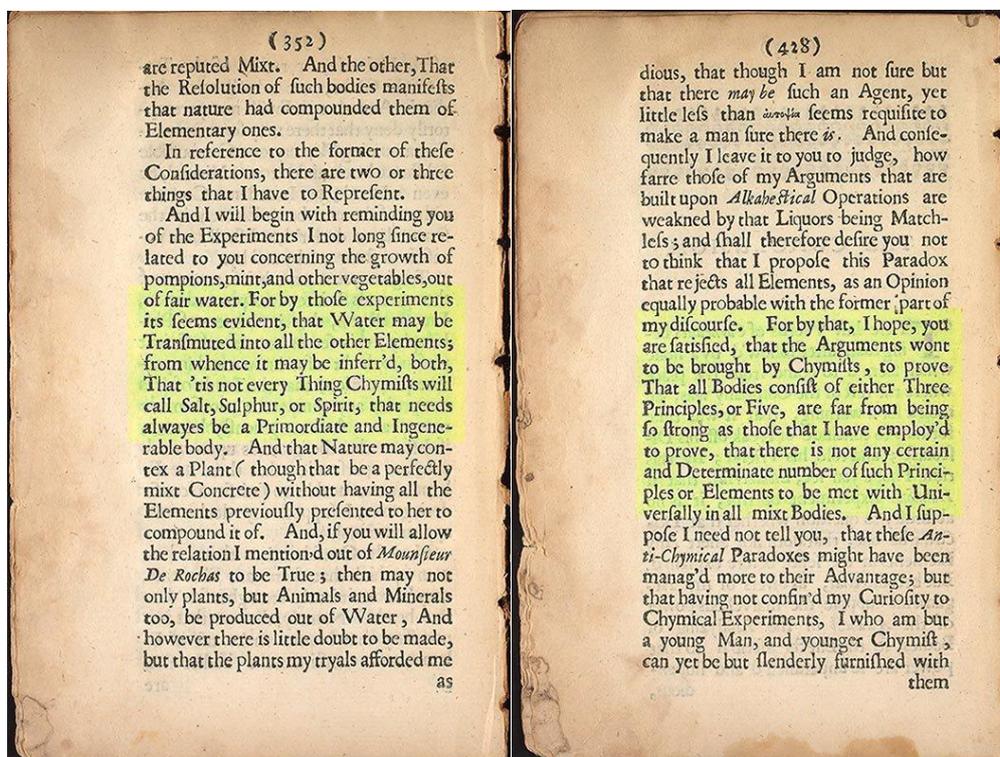


Figura 8.13. *The Sceptical Chymist*. pp. 352 y 418

*The Sceptical Chymist*, más que un intento de establecer nuevos conceptos sobre la constitución de la materia, trata de probar que no existe un número reducido de principios que constituyan todos los cuerpos. En la “Conclusión” Boyle expresa:

*For by that, I hope, you are satisfied, that the Arguments wont to be brought by Chymists, to prove That all Bodies consist of either Three Principles, or Five, are far from being so strong as those that I have employ'd to prove, that there is not any certain and Determinate number of such Principles or Elements to be met with Universally in all mixt Bodies.*<sup>320</sup>

. Boyle no intentó dar una definición novedosa de elemento, (como lo haría posteriormente Lavoisier). Sólo explicitó la formulada en 1632 por Joachim Junge<sup>321</sup> y otros alquimistas de la época.

<sup>320</sup> Por lo tanto, espero que estén satisfechos, con que los argumentos que acostumbran a usar los químicos para probar que todos los cuerpos consisten en tres principios, o cinco, distan mucho de ser tan fuertes como los que he empleado para probar que no hay ninguna certidumbre y número determinado de tales principios o elementos que puedan encontrarse universalmente en todos los cuerpos mixtos

<sup>321</sup> **Joachim Junge**. “*Experimente und Gedanken zur Begründung der Chemie als Wissenschaft.*” Analizado por Hans Kangro: “Ein Beitrag zur Geistesgeschichte des siebzehnten Jahrhunderts”, *The British Journal for the History of Science* 4 (4) (1969), 409-411.

En la opinión de Junge se requería una concepción distinta de las ciencias naturales en cuanto a la existencia de un número finito de principios. Sostuvo que, así como la geometría euclidiana se basa sobre un pequeño número de entidades básicas, las ciencias naturales deberían estructurarse tan axiomáticamente como lo es la geometría. Insistió en que sólo la experiencia sensorial y una metodología inductiva podían conducir a la identificación de esas “unidades últimas de la realidad”. Encontró que fibras textiles, o superficies pulidas, que a simple vista parecían homogéneas resultaban heterogéneas cuando las observaba con el *anchiscopium*. Junge, llegó a establecer que hay un número de sustancias (plata, oro, mercurio, azufre, sal, antimonio y algunas otras), que no podían ser sujetas a posteriores *diacrisis*, como por ejemplo, mediante ácidos o el fuego. De modo que postuló que eran realmente homogéneas y, por lo tanto, elementos verdaderos.

No obstante los múltiples experimentos químicos que Boyle realizó, en ninguna de sus publicaciones hizo referencia explícita a qué cuerpos él consideraba como elementos. Sólo al comentar que había repetido el experimento del sauce de van Helmont<sup>322</sup> concluyó que la materia que formaba su planta provenía principalmente de *polvo del aire*. Su concepción baconiana lo hizo dudar si cada elemento entra o no en la constitución de todos los cuerpos, de la función del elemento en las reacciones químicas e incluso de la existencia de esos cuerpos “elementales”. Su empirismo lo llevó a ser escéptico respecto a la posibilidad de desarrollar una teoría, aristotélica, paracelsiana o cartesiana, de la naturaleza íntima de la materia y sus transformaciones sobre la base de experimentos químicos.

En una carta fechada un día antes de la muerte de Boyle, Leibniz le dijo a Huygens<sup>323</sup> que estaba “asombrado” por el hecho de que Boyle “que había realizado tan detallados experimentos no haya llegado a (exponer) alguna teoría química luego de haber meditado tanto tiempo sobre ellos. Sino que, en sus libros, y por todas las consecuencias que extrajo de sus observaciones, él concluyera solamente en lo que todos sabemos, que todo ocurre mecánicamente”.

“Sus libros” como le hizo notar Huygens a Leibniz a la muerte de Boyle “están llenos de experimentos. Pero la experimentación era lo único que a Boyle realmente le interesaba”<sup>324</sup>. Él tenía un cierto fervor en propagar la concepción corpuscularista, pero no estaba interesado en construir una teoría detallada sobre la relación entre los átomos y las propiedades químicas.

## 8 – 10. Del escepticismo de Boyle a la definición de elemento de Lavoisier

Un siglo más tarde, en 1789, Lavoisier ofrecía en su *Traité élémentaire de chimie* una definición operacional de elemento químico: el último término alcanzable mediante el análisis químico. A diferencia de Boyle, quien no dio un solo ejemplo de elemento, Lavoisier publicó una tabla donde se exponían treinta y tres sustancias elementales, como el oxígeno, el hidrógeno, el azoe (nitrógeno), el calórico, la luz, etc., la mayor parte de las cuales son correctas desde el punto de vista actual.

Boyle fracasó en su intento de vincular las propiedades mecánicas de los corpúsculos últimos con las propiedades químicas de los cuerpos macroscópicos. En cambio, Lavoisier tuvo buen cuidado en desligar la determinación de estos elementos de cualquier especulación sobre la naturaleza atómica de la materia. A su juicio, identificar a los elementos con los átomos era condenarse a no

<sup>322</sup> En vez del sauce, Boyle usó una planta de caña que empleaba un tiempo menor para crecer (*The Sceptical Chymist...* 1661. p. 107)

<sup>323</sup> Leibniz a Huygens, 29 de diciembre de 1691, en Huygens, Christiaan., 1888, *Oeuvres Complètes*, 30 vols., La Haye: Martinus Nijhoff, 1888-1950 Vol 10 p. 228)

<sup>324</sup> Huygens, Christiaan., 1888, *Op. cit.* Vol 10. p. 239.

saber nada sobre aquéllos. Su concepto de elemento era de carácter operativo, apegado a la práctica química y lejos de hipótesis físicas puramente teóricas. Sostuvo que definir a una especie como elemento era siempre provisorio ya que el perfeccionamiento de los métodos de análisis podría demostrar que, en realidad, era compuesta. Esa concepción de elementos como aquellas sustancias a las que podemos reducir los cuerpos por descomposición, perduró hasta bien entrado el siglo XX y es muy común encontrar en los libros de texto que las sustancias se clasifican en “elementos y compuestos”.

## T R A I T É É L É M E N T A I R E D E C H I M I E,

PRÉSENTÉ DANS UN ORDRE NOUVEAU  
ET D'APRÈS LES DÉCOUVERTES MODERNES;

Avec Figures :

Par M. L A V O I S I E R, de l'Académie des Sciences, de la Société Royale de Médecine, des Sociétés d'Agriculture de Paris & d'Orléans, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Botanique, de la Société Helvétique de Basle, de celles de Philadelphie, Harisim, Manchester, Padoue, &c.

T O M E P R E M I E R.



A P A R I S,

Chez CUCHET, Libraire, rue & hôtel Serpente.

M. D C C L X X X I X.

Sous le Privilège de l'Académie des Sciences & de la Société Royale de Médecine.

208 COMBINAISONS DE L'OXIGÈNE.  
TABLEAU des combinaisons de l'Oxygène avec les radicaux composés.

Noms des radicaux.	Noms des acides qui en résultent.	
	Nomenclature nouvelle.	Nomenclature ancienne.
Le radical nitro-muriatique	L'acide nitro-muriatique	L'eau régale.
tartrique	L'acide tartareux	inconnu des anciens.
malique	L'acide malique	inconnu des anciens.
citrique	L'acide citrique	L'acide du citron.
pyro-lignique	L'acide pyro-lignique	L'acide empyreumatique du bois.
pyro-mucique	L'acide pyro-mucique	L'acide empyreumatique du sucre.
pyro-sarrique	L'acide pyro-sarrique	L'acide empyreumatique du sucre.
oxalique	L'acide oxalique	Le sel d'oxalle.
acétique	L'acide acétique ou acétique	Le vinaigre, l'acide du vinaigre.
fucique	L'acide fucique	Le sel volatil de fucine.
benzoïque	L'acide benzoïque	Les fleurs de benjoin.
camphorique	L'acide camphorique	inconnu des anciens.
gallique	L'acide gallique	Le principe astringent des végétaux.
lactique	L'acide lactique	L'acide du petit lait aigre.
lactico-lactique	L'acide lactico-lactique	inconnu des anciens.
fucinique	L'acide fucinique	L'acide des fontaines.
ombrique	L'acide ombrique	inconnu des anciens.
fibrique	L'acide fibrique	inconnu des anciens.
lithique	L'acide lithique	Le calcul de la vessie.
prussique	L'acide prussique	La matière colorante du bleu de Prusse.

\* Ces radicaux par un premier degré d'oxygénation, donnent le sucre, l'amidon, le mucilage, & en général tous les oxides végétaux.  
\*\* Ces radicaux par un premier degré d'oxygénation, donnent la limbe animale, différentes humeurs, & en général tous les oxides animaux.

Figura 8.14. Lavoisier. *Traité Élémentaire de Chimie*

Tendrían que pasar más de tres siglos desde los trabajos de Boyle hasta que la Química Cuántica pudiese conectar las características físicas de los corpúsculos con las propiedades químicas de los cuerpos

Según él mismo lo reconoció, la definición de elemento adoptada por Boyle en “*The Sceptical Chymist ...*”, no es original. Creía que toda la materia estaba formada por corpúsculos idénticos y que las cualidades de los cuerpos eran el producto de las diferentes agregaciones de esos corpúsculos.

A diferencia de Lavoisier, Boyle no propuso una tabla de los cuerpos a los que consideraba dentro de la definición de elemento. Encorsetado por su concepción baconiana, el empirismo de Boyle no le permitió establecer un nexo entre los constituyentes últimos de la materia y las propiedades macroscópicas de la misma.

Boyle creía posible la transmutación. Por lo tanto, en su concepción las partículas últimas de la materia no son inmutables. La posibilidad de la transmutación fue el objetivo perseguido por la mayoría de los alquimistas. De modo que más que establecer un cambio entre la Alquimia y la Química, la obra de Boyle tiene aspectos alquímicos.

La definición de elemento dada por Lavoisier, en cambio, es operacional. Fue útil durante mucho tiempo a pesar que en el siglo XIX se comprobó que algunas sustancias consideradas simples eran, en realidad, compuestas. Fue reemplazada por la de “conjunto de todos los nucleidos iguales entre sí y sus isótopos” cuando se comprobó que había sustancias formadas por una sola clase de átomos que podían descomponerse mediante el análisis químico. Así ozono y oxígeno son dos sus-

tancias simples formadas por el mismo elemento pero el ozono se descompone en oxígeno según  $2 \text{O}_3 \rightarrow 3 \text{O}_2$ .

## Bibliografía

**Bensaude Vincent, B., Stengers, I., (1997):** *Historia de la Química*. Addison-Wesley / Universidad Autónoma de México. Madrid.

**Boas, M., (1958):** *Robert Boyle and the Seventeenth-Century Chemistry*. Cambridge University Press. Cambridge. .

**Boyle, R., (1985):** *Física, química y filosofía mecánica*. Alianza Editorial. Madrid.

**Boyle, R., (2003):** *The Sceptical Chymist ...* Dover Publications Inc. New. York.

**Garber, D., Nadler, S. M. (2004):** *Oxford studies in early modern philosophy*, Volume 1. Oxford University Press, London.

**Ihde, A. J.,** Antecedents to the Boyle concept of the elements *J. Chem. Educ.*, 1956, **33** (11), p. 548.

**Kuhn, T. S.** “Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century”. *Isis*. 43. 1952 pp. 12 – 16.

**Leicester, H. M., (1956):** *The Historical Background of Chemistry*. Dover Publications Inc. New York.

**Mazuecos, A., (1992):** Claves y enclaves de la Ciencia Moderna. Los siglos XVI y XVII. Colección Historia de la Ciencia y de la Técnica Ed. Akal. Madrid.

**Meinel, C.** “Early Seventeenth-Century Atomism: Theory, Epistemology, and the Insufficiency of Experiment”, *Isis* **79** (1) (1988), 68-103.

**Metzger, H. (1969):** *Les doctrines chimiques en France du début du XVIIe à la fin du XVIII siècle*. Ed. Albert Blanchard. París.

**Oldroyd, D., (1993):** *El arco del conocimiento*. Ed. Crítica. Barcelona.

**Partington, J. R., (1945):** *Historia de la Química*. Espasa Calpe Argentina. Buenos Aires.

**Rupert Hall, A. (1985):** *La revolución científica. 1500-1750*. Ed. Crítica. Barcelona.

**Santidrián, P.R.** (ed.), *Humanismo y Renacimiento*, Alianza, Madrid 1986; (selección de textos de L. Valla, M. Ficino, A. Poliziano, P. della Mirandola, P. Pomponazzi, B. Castiglione y F. Guicciardini).

**Walden, P.,** Ancient natural-philosophical ideas in modern chemistry, *J. Chem. Educ.*, 1952, 29 (8), p 386

**Williams, K. R,** Robert Boyle: The Founder of Modern Chemistry, *J. Chem. Educ.*, 2009, 86 (2), p 148.

## **IX. LA TEORÍA DEL FLOGISTO Y LA REVOLUCIÓN QUÍMICA.**

### **9 – 1. Introducción**

Ya a principios del siglo XVII, Francis Bacon<sup>325</sup> (1561 – 1626) había puntualizado la importancia de las investigaciones químicas y predijo las ventajas que resultarían de esta ciencia cuando fuese cultivada en forma apropiada, pero no se ocupó de construir una teoría sobre la Química o, al menos, de extender sus fundamentos más allá de lo que se conocía en su época. Tampoco lo hizo Robert Boyle, sin menospreciar la importancia de sus investigaciones y su apreciable liberación de los prejuicios de los alquimistas<sup>326</sup>. Boyle no intentó esbozar nada que semejase una teoría en Química, si bien algunas observaciones que hizo en su libro *Sceptical Chemist* tuvieron un efecto considerable en derribar o, al menos, en acelerar la caída de muchas opiniones químicas de la época, amén de hipótesis pueriles acerca de las funciones animales y la patología y tratamiento de enfermedades basados sobre esas opiniones. “Sus libros” como le hizo notar Christiaan Huygens a Gottfried Leibniz a la muerte de Boyle “están llenos de experimentos. Pero la experimentación era lo único que a Boyle realmente le interesaba”<sup>327</sup>. Él tenía una cierto fervor en propagar la concepción corpuscularista, pero no estaba interesado en construir una teoría detallada sobre la relación entre los átomos y las propiedades químicas. Leibniz le dijo a Huygens<sup>328</sup> que estaba “asombrado” por el hecho de que Boyle “que había realizado tan detallados experimentos no haya llegado a (exponer) alguna teoría química luego de haber meditado tanto tiempo sobre ellos sino que en sus libros, y por todas las consecuencias que extrajo de sus observaciones, él concluía solamente en lo que todos sabemos, que todo ocurre mecánicamente”.

---

<sup>325</sup> Francis Bacon, Barón de Verulam, (1561 – 1626), fue un político, filósofo y abogado que llegó a ser Canciller de Inglaterra, y es considerado el padre del empirismo.

<sup>326</sup> Podría decirse que Boyle fue un alquimista desprejuiciado.

<sup>327</sup> Huygens, Christiaan., 1888, *Œuvres Complètes*, 30 vols., La Haye: Martinus Nijhoff, 1888-1950 Vol 10 p. 239.

<sup>328</sup> (Leibniz a Huygens, 29 de diciembre de 1691, en Huygens, *op. Cit.*, Vol 10 p. 228.

## 9 – 2. Johann Joachim Becher

La primera persona que, con propiedad, puede decirse que intentó construir una teoría sobre la Química fue Johann Joachim Becher. Entre la vasta obra de Becher, la más importante desde el punto de vista químico es *Acta laboratorii Chymici Monacensis seu Physica Subterranea* que sería posteriormente conocida como *Physica Subterranea*. Esta obra está dividida en siete secciones. La primera sección trata sobre la creación del mundo. En la segunda Becher analizó desde el punto de vista químico los cambios que se producen en la Tierra. En la tercera reniega de los principios aristotélicos<sup>329</sup> y postula que son tres los principios que forman todos los cuerpos, a los cuales llamó tierras. Al primero de esos principios lo llamó *tierra fusible* o *tierra pétre*a, y es el que se encuentra en mayor proporción en los metales y en las rocas. Al segundo principio lo llamó *tierra grasa* (*terra pinguis*) cuya característica principal es que “desaparece” por completo en las combustiones y es el principio que le imparte a las sustancias su carácter combustible. Este principio es el más abundante en los minerales metalíferos. Al tercer principio lo llamó *tierra fluida*.<sup>330</sup>

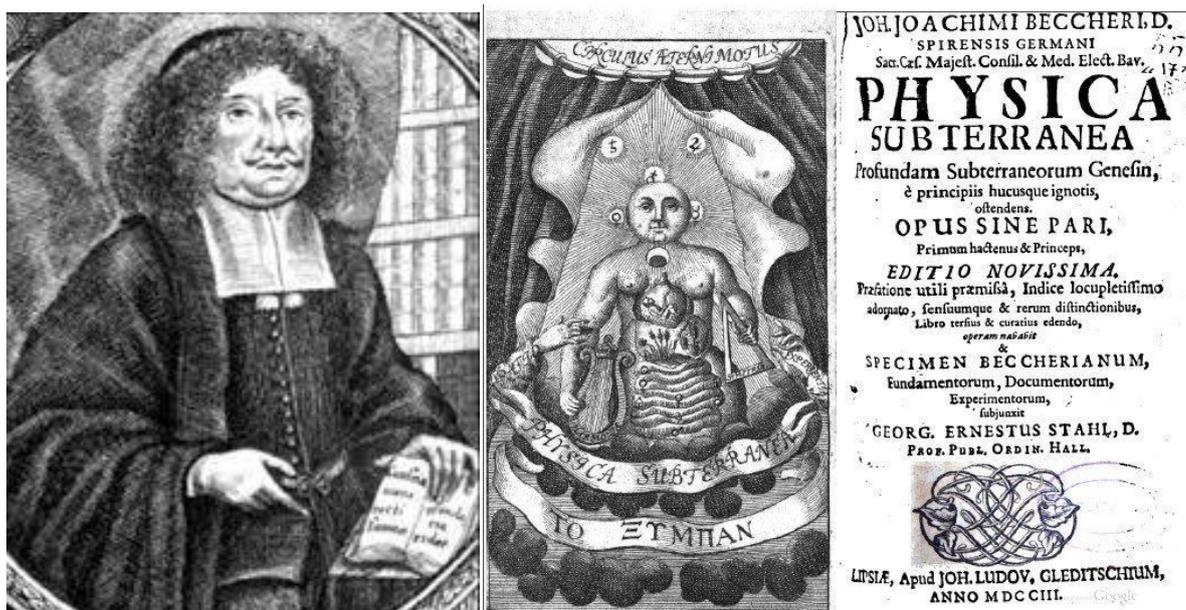


Figura 9.1. Becher, J. J., (1635 – 1682) y *Physica Subterranea*, con los fundamentos, documentación y experimentos de G. E. Stahl. Edición de 1703.

En la cuarta sección se ocupó de la formación de los *mixtos*<sup>331</sup>. La quinta sección está dedicada a detallar las características generales de las tres clases de mixtos: animales, vegetales y metales. La sexta sección trata de los componentes químicos de los mixtos. La séptima está dedicada a las “afecciones” de los cuerpos subterráneos.

Posteriormente, a su *Physica Subterranea* le agregó dos suplementos, uno referido a la obtención de metales y el otro donde analiza las teorías de la transmutación de metales en oro.

<sup>329</sup> Becher decía que un buen peripatético es un mal químico.

<sup>330</sup> Se ha tratado de vincular, erróneamente, estos principios con la sal, el azufre y el mercurio de los alquimistas.

<sup>331</sup> Los *mixtos* son sustancias formadas por los elementos, o principios, en una proporción y modo determinado, lo que le da su forma y cualidades características.



Figura 9.2. Georg.E. Stahl

### 9 – 3. Georg Ernest Stahl y la Teoría del Flogisto

Si bien las concepciones de Becher eran erróneas, su mérito fue el de proponer, en su *Physica Subterranea*, una teoría química mediante la cual todos los hechos conocidos en este campo se podían conectar y deducir de un conjunto de principios. Sus concepciones acerca de la naturaleza y reactividad de las sustancias fueron adoptadas, y modificada considerablemente, por Georg Ernst Stahl (1660 – 1734)

Stahl hizo aportes considerables a las teorías médicas de la época. Sus concepciones sobre la Química fueron trascendentes y, aunque equivocadas, perduraron durante casi todo el siglo XVIII.

De los diversos escritos que publicó, el más importante es *Fundamenta Chymiae dogmaticae et experimentalis* (1723). En ella reconoce que todo el mérito de esta obra se debe a su maestro y amigo Becher. Dividida en dos partes,

expone en la primera los conceptos teóricos mientras que la segunda está dedicada a la práctica química:

§1. Chymia, alias Alchymia & Spagirica, est ars corpora vel mixta vel composita, vel aggregata etiam in principia sua resolvendi, aut ex principiis in talia combinandi.

§ 2. Subjectum ejus sunt omnia mixta &c composita, quæ resolubilia & combinabilia. Objectum est ipsa resolutio & combinatio, seu corruptio & generatio: quemadmodum vero ad finem fine mediis non prevenitur, ita huic etia, arti pro varietate subjectorum varia competunt.

§3. Generaliter media hæc distingui possunt in materialia, seu quæ remotius; & formalia, seu quæ proxime ad finem obtinendum faciunt. Illa sunt instrumenta hæc operationes ipsæ.

§4. Finis est physicus & pathologicus, theoreticus: vel medicus, mechanicus, oeconomicus, practicus.

§5. Efficiens Chymiae causa, seu quæ ipsam exercet, est Chymicus.<sup>332</sup>

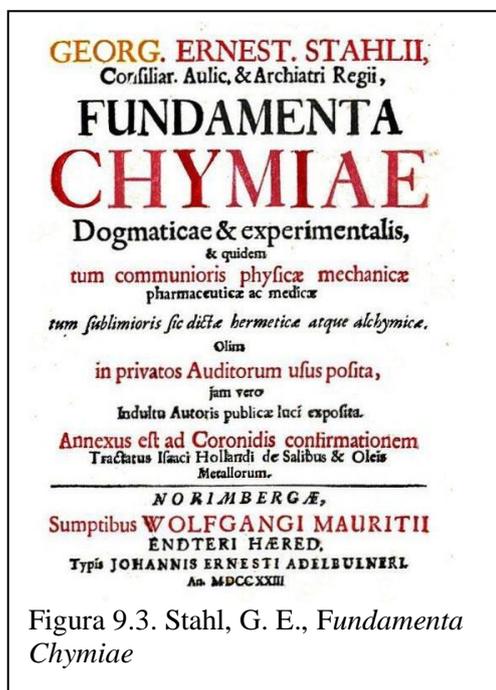


Figura 9.3. Stahl, G. E., *Fundamenta Chymiae*

<sup>332</sup> §1. La Química, también llamada Alquimia o Espagírica, es el arte de resolver los cuerpos mixtos, compuestos y agregados en sus principios y de componer tales cuerpos a partir de esos principios.

§2. El sujeto (de la Química) está formado por todos los cuerpos mixtos, los compuestos y los agregados que se pueden resolver y combinar. El objeto de este arte es, precisamente, la resolución y la combinación, o la corrupción y la generación: de modo tal que, ciertamente, al final los medios no prevengan que este arte esté en armonía con una variedad de otros sujetos.

§3. Los medios son materiales y generalmente se los distingue entre remotos, — y formales — y próximos, cuando al fin se los obtiene. Sus instrumentos, son las operaciones mismas,

§4. Los fines son físicos y patológicos o teóricos, o médicos, mecánicos, económicos, económicos o prácticos.

Su definición de Química fue la más adecuada de su época. Nótese que, además, estableció los sujetos y objetos de esta disciplina, los medios que emplea para su estudio, los fines que persigue y cuál es su “causa eficiente”.

Para Stahl, el sujeto de la Química está formado por todos los cuerpos mixtos, los compuestos y los agregados que se pueden resolver y combinar. El objeto de este arte es precisamente la resolución y la combinación (*corruptio & generatio*). Los medios que emplea la Química son materiales, distinguiendo entre medios “remotos” (y formales) — que, como “la calcinación” o “la destilación”, son los procedimientos generales que se emplean en esta disciplina — o inmediatos, la práctica cotidiana en el laboratorio. Además, sostuvo que, de acuerdo con la proximidad del fin a obtener son instrumentales, como el desarrollo de nuevos aparatos destinados a optimizar los resultados, o las operaciones mismas que se efectúan en el laboratorio para obtener un resultado concreto.

Los fines que atribuyó a la Química fueron diversos: físicos o filosóficos (teóricos) o bien podían ser médicos, mecánicos, económicos o prácticos. La causa eficiente, radicaba en quien la ejercía: el químico.

Stahl sostuvo que para adquirir este arte, se deben conocer los fundamentos científicos involucrando para ello la memoria, el oído y el espíritu. El manejo adecuado de las operaciones se lograría cuando fueran tratadas manualmente y analizadas de manera personal “bajo dos doctrinas emergentes”, que eran las partes teórica y práctica de la Química.

En la concepción de Stahl, la teoría química se adquiere, en general, por “información”. Esa información es axiomática y es suministrada “de manera sintética *à priori*”. Pero, en particular, se adquiere analíticamente y *à posteriori*. Su práctica se realiza mediante una cuidadosa instrucción en las operaciones manuales propias, las cuales, — en general — están limitadas por el lugar, el tiempo, el sujeto y los medios disponibles y, en particular, por la manera de realizarlas.

En cuanto a la estructura de la materia, Stahl sostuvo que todos los cuerpos naturales son simples o compuestos. Los simples no tienen “partes físicas” de distinta naturaleza, pero los compuestos sí. Los simples son *principios*, o la primera causa material de los mixtos, y los compuestos — de acuerdo con las diferencias de sus mezclas — son *mixtos*, *compuestos* o *agregados*. Los *mixtos* están formados únicamente por *principios*, los *compuestos* están formados por *mixtos* en una determinada y única relación, mientras que los *agregados* resultan de una mera unión mecánica, cualquiera sea ella.

Un *principio*, en la concepción de Stahl, se define *à priori* como lo que — en un compuesto — primero se excita y, *à posteriori*, como lo último que se resuelve. Cómo no siempre se puede lograr una resolución perfecta de un mixto, Stahl propuso clasificar a los principios en *físicos* y *químicos*, reservando el término de *físico* para aquellos principios que se supone que se encuentran en la materia pero que aún no han podido ser establecidos mediante procedimientos químicos y el nombre de químico para aquellos cuerpos que se pueden reducir mediante el análisis químico.

A diferencia de Becher, consideraba que los “principios simples” son cuatro y que los mixtos son compuestos formados por esos principios.

El primer objeto de la Química es la *corrupción* (lo que llamaríamos, *análisis*) y el segundo la *generación* (la *síntesis* de compuestos). A estos dos aspectos, le dedica una considerable extensión en su *Fundamenta* y da cuenta de una gran cantidad de procesos químicos y de los aparatos empleados para dichos procesos.

---

§5. La causa eficiente de la Química es la misma (persona) que la ejerce: el químico...

A lo largo de la obra dio una descripción detallada de todas las sustancias conocidas a esa época y de los procesos más comunes para sus “corrupciones” y combinaciones (destilación, cristalización, precipitación, lixiviación, formación de amalgamas, etc.) De todos los procesos y transformaciones que analizó, los más importantes, desde el punto de vista teórico, son los referidos a la calcinación y a la combustión.

De su maestro Becher, tomó la concepción de que todos los cuerpos que se queman por el fuego son sustancias compuestas y que durante la combustión, uno de sus componentes se disipa. Algunos de esos cuerpos combustibles, al quemarse, dejan un ácido. Mientras que otros, dejan un residuo pulverulento sólido. A este residuo que posee las propiedades de una “tierra” lo llamó, genéricamente, la “calx” (cal) del cuerpo combustible. De acuerdo con esta concepción, los metales son sustancias compuestas que al quemarse dejan como producto fijo, una cal. En cambio, cuando se quema azufre, fósforo, carbón u otro “no metal” lo que queda es un ácido.

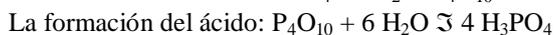
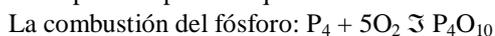
De acuerdo con esta teoría, la combustibilidad de un material se debe a un componente que se encuentra fijo en el combustible pero que se “escapa” mediante la inflamación. Becher bautizó a ese componente como *terra pinguis*. Stahl, en cambio, lo llamó “flogisto” (del griego, combustible).

Para corroborar su teoría de que el flogisto se encuentra en todos los cuerpos combustibles, Stahl propuso varios experimentos. En uno de ellos explicó que al quemar fósforo, este produce una llama intensa, se libera mucho calor y se forma un material que se disipa como un “humo blanco”. Pero si la combustión se realiza en un recipiente de vidrio de forma apropiada, ese “humo blanco” se deposita en su interior y rápidamente absorbe la humedad atmosférica convirtiéndose en un líquido de carácter ácido: ácido fosfórico. Al colocar ese líquido en un crisol de platino y calentar hasta el rojo sombra, se separa agua en forma de vapor y queda un residuo que al enfriar semeja un vidrio incoloro, conocido en esa época con el nombre de “ácido fosfórico seco” o “anhídrido fosfórico”. Cuando se mezcla ese “ácido fosfórico seco” con carbón en polvo en una retorta de vidrio y se calienta lo suficiente, una porción del carbón “desaparece” y se forma fósforo que tiene las mismas propiedades que tenía antes de la combustión.<sup>333</sup>

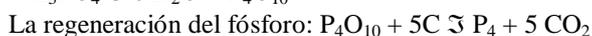
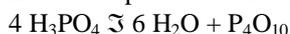
Para esta última etapa, en vez del carbón, Stahl propuso también diversas sustancias combustibles “en tanto puedan proveer la cantidad suficiente de calor” y afirmó que pueden convertir el “ácido seco de fósforo” en fósforo. En vez de carbón, la reducción se puede lograr con negro de humo, azúcar, resinas o metales como el estaño o el antimonio. De estos resultados concluyó que hay un “principio común” que los combustibles le comunican al “ácido seco de fósforo” y, como con todos los combustibles empleados el nuevo cuerpo formado es idéntico, el principio que le fue comunicado debe ser el mismo. Con esto, Stahl “probó” que todos los cuerpos combustibles contienen el mismo principio, y ese principio es el “flogisto”.

Stahl también explicó que cuando el azufre se quema se convierte en ácido sulfúrico. Pero si el ácido sulfúrico se calienta con carbón, o con fósforo, se convierte nuevamente en azufre<sup>334</sup>. Si se

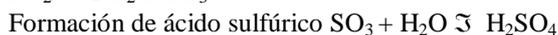
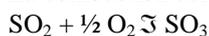
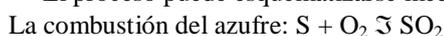
<sup>333</sup> El proceso puede esquematizarse mediante las siguientes ecuaciones:



La descomposición del ácido fosfórico:



<sup>334</sup> El proceso puede esquematizarse mediante las siguientes ecuaciones:



Reducción del ácido sulfúrico



reemplaza el carbón por antimonio o estaño también se regenera el azufre. En este caso el razonamiento es similar al empleado en la combustión y la reducción del fósforo, por lo que la conclusión es la misma.

Al analizar otro experimento Stahl expresó que cuando se calienta al aire un trozo de plomo hasta el rojo sombra, agitando y exponiendo nuevas superficies al aire, se convierte en un pigmento llamado *plomo rojo*<sup>335</sup>; esta sustancia es una cal de plomo. Para que esta cal retome su estado de plomo metálico sólo hay que calentarla con casi cualquier combustible disponible: carbón, turba, azúcar, hierro, harina, cinc, etc. Por lo tanto, estos combustibles deben contener el mismo principio que le comunican al plomo rojo y, al hacerlo, lo convierten en plomo. Ese principio es el flogisto.

Con estos y otros resultados experimentales Stahl “probó” la existencia del flogisto en todos los cuerpos combustibles y sus demostraciones fueron consideradas tan completas, que su opinión fue adoptada por los químicos de la época, casi sin excepción.

#### 9 – 4. La Teoría del Flogisto como ciencia normal

Se entró así en lo que Thomas Kuhn hubiese llamado “período de ciencia normal”. Período que duraría casi un siglo. La comunidad química aceptó que los metales eran sustancias compuestas, formados por “cales” y “flogisto” y que los combustibles no metálicos están formados por ácido y flogisto. Indicando al flogisto mediante la letra griega  $\phi$ , la calcinación se puede representar



La combustión de un material no metálico se puede representar



En la concepción de Stahl, las cales son capaces de unirse al flogisto en proporciones indefinidas. Las que están unidas a una pequeña proporción de flogisto suelen retener su aspecto térreo, pero el aumento de la proporción de flogisto lleva a la cal al estado de metal.

En esta teoría, el color de cada cuerpo combustible se debe a la proporción de flogisto presente en él y si varía la proporción de flogisto — por ejemplo, al calentarlo — el color comienza a cambiar.

La afinidad entre una cal metálica y el flogisto depende de la proporción de flogisto y si esa afinidad es lo suficientemente fuerte, el metal se restaura completamente.

Tanto Becher como Stahl representaron al flogisto como una sustancia “seca”, de naturaleza térrea, cuyas partículas eran extremadamente sutiles y que al liberarse se agitaban y movían con enorme velocidad. Stahl llamó a esto *motus verticillaris* y, según él, ese movimiento era el responsable del fenómeno del calor generado en la combustión y de la ignición o inflamación del combustible.

Dada la gran afinidad del flogisto por los metales y siendo estos insolubles en agua, se supuso que el flogisto también sería insoluble en agua. En esa época, la insolubilidad en agua era conside-

<sup>335</sup> Se refiere al minio,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ .

rada una propiedad característica de los “cuerpos térreos”. De allí que Becher y Stahl le adjudicaron al flogisto el carácter térreo.

Si bien las consecuencias observacionales de la teoría del flogisto parecían corroborarla, aislar el flogisto era imposible. Becher había sugerido que, por su combustibilidad, el azufre tenía las características de esa *terra pinguis*, (el flogisto)<sup>336</sup>. Pero Stahl no lo aceptó, aunque reconoció que el azufre tiene un porcentaje de flogisto muy alto. Según su opinión, el combustible con mayor porcentaje de flogisto era el hollín, y eso explicaba la relativa facilidad con la que el hollín en caliente regeneraba los metales a partir de sus cales. En sus *Experimentum Novum* trató de demostrar que tanto en el hollín como en el azufre el flogisto es el mismo. Para ello, redujo sulfato de potasio mediante carbón obteniendo “hígado de azufre”<sup>337</sup> del cual, por la acción de un ácido, precipita el azufre. A partir de la reducción de cales metálicas mediante hollín, infirió la identidad del flogisto en los metales con el “principio inflamable” que se encuentra en el hollín y en el azufre: de esta identidad concluyó que hay un solo principio, al cual llamó “flogisto”.

## 9 – 5. Enigmas y anomalías en la teoría del flogisto

Durante buena parte de su vigencia, los químicos más relevantes de la época —Caspar Neumann (1693 – 1737), William Cullen (1710 – 1790), Joseph Black (1728 – 1799), Pierre Joseph Macquer (1718 – 1784), Henry Cavendish (1731 – 1810), Carl Wilhelm Scheele (1742 – 1786), Joseph Priestley (1733 – 1804), Tobern Olof Bergmann (1735 – 1784) y otros— adhirieron al “paradigma” de la combustión y la calcinación y se esmeraron en pulirlo y resolver algunos de los “puzzles” que el mismo presentaba. Así, por ejemplo, un interrogante que surgía de la teoría era el de definir la naturaleza de los cuerpos incombustibles. Con el tiempo se llegó a aceptar que estos materiales son los productos que quedan luego de la combustión. De esta manera, el cuarzo fue considerado una “cal” y si un químico no encontraba el combustible que pudiera entregarle su flogisto, la falla no era de la teoría sino que la causa de no hallarlo era su inhabilidad. En este paradigma, el oro era un compuesto y la tarea de encontrar un método para liberar su flogisto y transformarlo en una cal, fue un desafío que ningún químico pudo vencer.

Una de las “anomalías” que presentó la teoría de Stahl, fue el aumento de peso que acompaña a la calcinación. Si en la calcinación o en la combustión se libera flogisto, el ácido o la cal resultante deben tener un peso menor que el combustible de partida.

En 1762, Mathieu Tillet (1714 – 1791) verificó cuantitativamente el aumento de peso que acompaña a la calcinación del plomo. Esto le sorprendió, ya que la liberación de flogisto debería reducir el peso de la cal. Por ello, presentó un informe ante la Academia de Ciencias en donde expresó que “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”.<sup>338</sup>

<sup>336</sup> De allí que se ha afirmado que Becher creía en los tres principios de los alquimistas: azufre, mercurio y sal.

<sup>337</sup> Es una mezcla de sulfuro de potasio y polisulfuros de potasio, que se obtiene a partir de carbonato de potasio y azufre.

<sup>338</sup> El aumento de peso que acompaña a la calcinación de los metales fue hallado en 1489 por Paulus Eck von Sulzbach y publicado en 1556 bajo el título “Clavis philosophorum ludus puerorum et labor malierum” en el *Theatrum Chemicum Præcipus Selectorum Auctorum Tractatus de Chemiæ et Lapidis Philosophici*. Vol. IV, Anno 1489., p.p. 1008 - 1014. En 1630, el médico francés Jean Rey publicó *Essays sur la Recherche de la cause pour laquelle l'Estain & le Plomb augmentent de poids quand on les calcine*, donde “demuestra” que el aumento de peso que se produce en las calcinaciones se debe a la combinación del metal con el aire.

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. Por eso tiene masa negativa, lo que explica el aumento de peso en la calcinación y la disminución de peso en la reducción.

Louis-Bernard Guyton de Morveau, (1737 – 1816) intentó explicar el aumento de peso postulando que el flogisto, al tener una densidad mucho menor que el aire, hacía que el aire se depositase sobre la cal.

Otros químicos de la época le restaron importancia al aumento de peso. En su libro *Elémens de chymie théorique* (1749), Pierre Joseph Maquer sostuvo que en el proceso de formación de una cal y su posterior reducción a metal, debería producirse una disminución del peso. En 1778, al enterarse de los experimentos de Lavoisier, escribió que esos resultados que parecen revertir toda la teoría del flogisto lo habían aterrorizado pero al considerar que era, meramente, una cuestión de relaciones en peso sintió que tenía “un peso menos sobre el estómago”<sup>339</sup>. Otros, aceptaron una hipótesis *ad hoc*: que el flogisto tenía masa negativa.

Otra de las anomalías en la teoría del flogisto fue encontrada en 1774, por el químico francés Pierre Bayen (1725 – 1798). Bayen observó que al calentar óxido de mercurio, se forma mercurio sin que se requiera ningún combustible que le entregue su flogisto a la cal. ¿De dónde proviene, entonces, el flogisto necesario para convertir la cal de mercurio en mercurio metálico? La imposibilidad de responder a esa pregunta hizo que Bayen propusiera que el óxido de mercurio es una sustancia diferente de las cales metálicas usuales y que debería investigarse si existen otras “cales” de comportamiento similar a la del mercurio.

## 9 – 6. Crisis y revolución en marcha

En el último cuarto del siglo XVIII, las anomalías y enigmas que presentaba la teoría del flogisto comenzaron a generar inquietud en la comunidad química. Joseph Priestley, Carl Wilhelm Scheele, Joseph Black y Henry Cavendish, intentaron emparchar la teoría formulando diversas hipótesis sobre sus resultados experimentales. Pero los trabajos de Lavoisier sobre la combustión son los que provocaron la revolución científica que finalmente derrocaría a la teoría del flogisto.

Curiosamente, el principio del fin de la teoría del flogisto se debe a los descubrimientos que hizo un hombre que fue partidario de esa teoría hasta mucho tiempo después que la teoría fuera abandonada: Joseph Priestley, (1733 – 1804).

Priestley, un teólogo no conformista, no tenía muchos recursos para hacer investigación experimental así como tampoco podía conseguir patrocinadores para los mismos, dadas sus ideas religiosas y políticas, pero tuvo la habilidad suficiente para diseñar algunos aparatos para estudiar las propiedades y el comportamiento de los gases y sus descubrimientos le proporcionaron fama internacional. Viviendo en Leeds, en las proximidades de una fábrica de cerveza, observó que en el proceso se desprendía “aire fijo” (dióxido de carbono). El aire fijo había sido descubierto por Joseph Black en 1755, pero Priestley tuvo la sagacidad de recogerlo bajo agua con lo que una parte del gas quedaba disuelta y otra parte dispersa. La dispersión así formada (agua soda) tenía un sabor agrada-

---

<sup>339</sup> Dumas, J. B., (1837); *Leçons sur la philosophie chimique professes aux Collège de France... recueillies par M. Bineau*. Ebrard. Paris. p. 144 – 145.

ble y especial. Publicó su trabajo en 1772<sup>340</sup>. La publicación fue rápidamente traducida al francés y el Colegio de Médicos de Londres la remitió al Secretario del Tesoro de Gran Bretaña puntualizando las ventajas que puede presentar el agua impregnada con ácido carbónico para reducir los casos de escorbuto en alta mar.

El primero de sus descubrimientos fue el nitrógeno. La existencia de este gas ya había sido mencionada en 1674 por John Mayow en su *Tractatus quinque medico-physici* y había sido detectada por Stephen Hales (1677 – 1761) quien inventó un aparato para recoger gases sobre agua, aunque no analizó sus propiedades. Los trabajos de Hales inspiraron a Priestley quien en 1773, logró aislar nitrógeno casi puro, — al cual llamó “aire flogisticado” — y estudió sus propiedades.

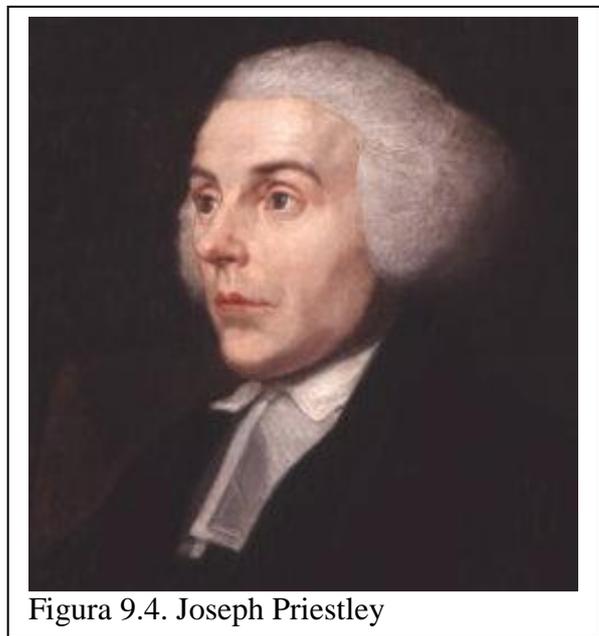


Figura 9.4. Joseph Priestley

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 desflogisticado” — y estudió sus propiedades<sup>341</sup>. En octubre de ese año viajó a París en compañía de su amigo Lord Shelburne. En una cena con Antoine de Lavoisier, la esposa y otros científicos, 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: “*All the company and Mr. and Mrs. Lavoisier as much as any, expressed great surprise*”.<sup>342</sup> 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.<sup>343</sup>

Ya en 1772 Lavoisier había presentado una memoria 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, repitió los experimentos de Boyle de calcinar plomo y estaño en retortas de vidrio. Pesando las retortas cerradas *antes* y *después* del calenta-

<sup>340</sup> **Priestley, J., (1772):** Directions for impregnating water with fixed air; in order to communicate to it the peculiar Spirit and Virtues of Pyrmont Water. J. Johnson. London.

<sup>341</sup> “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 bason of the same... With this apparatus, after a variety of other experiments ... on the 1<sup>st</sup>. 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 surprized me more then 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)

<sup>342</sup> **Priestley, J., (1800):** The Doctrine of Phlogiston Established, p. 88.

<sup>343</sup> Carl Wilhem Scheele, había descubierto el oxígeno un año antes, al que llamó aire ígneo (*feuerluft*), obteniéndolo no sólo del precipitado *per se*, sino también calentando dióxido de manganeso con ácido sulfúrico y por descomposición térmica del nitrato de potasio, nitratos 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.

miento encontró que el peso no variaba. 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 observó que, en la combustión del fósforo con carbón, 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”. Lavoisier no se ocupó más del asunto hasta la visita de Priestley. Parecería que hasta entonces Lavoisier no estaba convencido de que solamente una parte del aire interviene en la combustión y en la respiración. Pero se percató de la importancia del descubrimiento de Priestley para la interpretación de sus propios trabajos (aún inconclusos). Esto le permitió establecer que lo que se incorporaba a la cal era el “aire deflogisticado” y lo pudo demostrar en un experimento de 1776, descrito en 1777 e incorporado a su *Traité Élémentaire de Chimie* en 1789. 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, formado primero calcinando mercurio con aire en una retorta y luego descomponiendo el óxido de mercurio (II), lo llamó inicialmente “*air éminemment respirable*” y luego “*air vital*”.



Figura 9.5. Los esposos Lavoisier.

38 DÉCOMPOSITION

7 à 8 pouces cubiques d'un fluide élastique beaucoup plus propre que l'air de l'atmosphère à entretenir la combustion & la respiration des animaux.

Ayant fait passer une portion de cet air dans un tube de verre d'un pouce de diamètre & y ayant plongé une bougie, elle y répandoit un éclat éblouissant; le charbon au lieu de s'y consumer paisiblement comme dans l'air ordinaire, y brûloit avec flamme & une forte de décrépitation, à la manière du phosphore, & avec une vivacité de lumière que les yeux avoient peine à supporter. Cet air que nous avons découvert presque en même temps, M. Priestley, M. Schéele & moi, a été nommé par le premier, air déphlogistiqué; par le second, air empiréal. Je lui avois d'abord donné le nom d'air éminemment respirable: depuis, on y a substitué celui d'air vital. Nous verrons bientôt ce qu'on doit penser de ces dénominations.

En réfléchissant sur les circonstances de cette expérience, on voit que le mercure en se calcinant absorbe la partie salubre & respirable de l'air, ou, pour parler d'une manière plus rigoureuse, la base de cette partie respirable; que la portion d'air qui reste est une espèce de mofete, incapable d'entretenir la combus-

Figura 9.6. *Traité*, p. 38.

Al describir el oxígeno dice “*cet air que nous avons découvert presque en même temps M. Priestley, M. Schéele & moi ...*”<sup>344</sup>. Ya hemos dicho que Priestley le comunicó la obtención de oxígeno a partir del *precipitatum per se*. Los trabajos de Scheele son independientes y anteriores a los de Lavoisier y Priestley. Por lo que no es adecuado que se atribuya a Lavoisier el descubrimiento del oxígeno.

Lavoisier realizó diversos experimentos que refutaban las consecuencias observacionales derivadas de la teoría del flogisto. Para ello efectuó diversas combustiones en “aire vital” y resumió los resultados en cuatro conclusiones:

Las sustancias sólo arden en aire vital.

Los no metales, como azufre, fósforo y carbón, al quemar producen ácidos. [Este es el origen del nombre oxígeno ((ὄξύς = ácido γείνομα = engendro)]

Por combustión, los metales producen cales con absorción de oxígeno.

La combustión no es, de ningún modo, un proceso debido al escape de flogisto, sino a la combinación de la sustancia combustible con oxígeno.

<sup>344</sup> Este aire, descubierto casi al mismo tiempo por el señor Priestley, el señor Scheele y yo ...”*Traité*... p. 38.

Estas conclusiones constituyeron la base de la “Teoría antiflogística”, que en un comienzo apareció como una alternativa de la teoría del flogisto; pero cuando Lavoisier acumuló suficiente evidencia experimental se encontró en condiciones de afirmar, en 1783, que esta última teoría no sólo era innecesaria, pues todos los fenómenos conocidos podían explicarse también con la teoría contraria, sino incorrecta, puesto que algunos de sus principios o de sus consecuencias estaban en contradicción con la realidad experimental<sup>345</sup>.

Aunque Lavoisier no descubrió el oxígeno ni fue el primero en considerar que el oxígeno es un elemento<sup>346</sup> fue, sin duda alguna, el primero en darse cuenta de la importancia de ese descubrimiento. Si bien para él, el aire común era una sustancia compuesta y no una mezcla de gases y erróneamente estableció que la composición era 73 partes de *gas mefítico* y 27 partes de *gas eminentemente respirable*<sup>347</sup>, merece el reconocimiento por establecer firmemente la verdadera teoría de la combustión y de la calcinación de los metales, mediante ingeniosas experiencias cuantitativas, algo que había sido entrevisto por Hooke, Mayow y Rey.

De los centenares de experimentos que Lavoisier realizó, merecen destacarse los descritos en la memoria titulada “*Sobre la Combustión en General*” (escrita en 1777 y publicada en 1780)<sup>348</sup>. En ella Lavoisier reduce los fenómenos de la combustión a cuatro géneros, siendo el resultado más frecuente de la misma, la acidificación y todos los casos pueden explicarse mediante la idea de la fijación de “*air éminemment respirable*” (oxígeno). De acuerdo con su esquema, para explicar la combustión, la teoría del flogisto sería innecesaria. Pero en ninguna parte de la memoria la consideró incorrecta ni la rechazó. Sólo demostró que su enfoque explicaba lo que la teoría del flogisto no podía explicar de manera convincente.

Recién en una memoria<sup>349</sup> presentada en 1777, leída en 1779 y publicada en 1781, que lleva por título “*Consideraciones generales sobre la naturaleza de los ácidos y de los principios que los componen*”, Lavoisier propuso el nombre de oxígeno (*principe oxygène*) y dice, erróneamente, que este elemento es un constituyente “de todos los ácidos”<sup>350</sup>.

## 9 – 7. Teoría del calórico

Aunque Lavoisier no creía que el calor tuviese peso, lo consideraba aún como un “elemento imponderable”, al cual llamó *calórico*, en 1787. De acuerdo con las ideas de Black sobre el calor latente, sugirió que así como se tenía que:

**hielo + calor = agua**

**agua + calor = vapor de agua**

también se tenía que:

**base oxygène + calorique = gaz oxygène.**

<sup>345</sup> *Œuvres*, vol. II, p. 623.

<sup>346</sup> Ya en 1674, John Mayow, en su libro *Tractatus quinque Medico-Physici* había indicado que el aire está formado por dos “principios”, un *spiritus nitro-aeureus*, que interviene en la respiración y en la combustión y otro que queda en un volumen disminuido luego de esos procesos.

<sup>347</sup> **Lavoisier, A. L., (1789)**: *Traité élémentaire de Chimie*. Tome premier. Cuchet. París. Chap. III. Décomposition de l'air, p. 40.

<sup>348</sup> *Œuvres*, vol. II, p. 225.

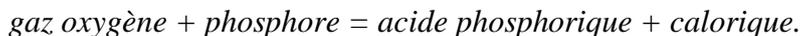
<sup>349</sup> *Œuvres*, vol. II, p. 248.

<sup>350</sup> Los llamados “hidrácidos”, como el clorhídrico, son sustancias ácidas en cuyas moléculas no hay oxígeno.

Adoptó la palabra *gaz* transformación del vocablo “gas” creado por Johann Baptiste van Helmont, para indicar la combinación de un elemento base con calórico.

« ... nous dirons qu'un gaz ou fluide aériforme est une combinaison du *calorique* avec une substance quelconque; & en effet, toutes les fois qu'il y a formation de gaz, il y a emploi de *calorique*; & réciproquement toutes les fois qu'un gaz passe à l'état solide ou fluide, la portion de *calorique* nécessaire pour le constituer dans l'état de gaz, reparôit & devienne libre »<sup>351</sup>

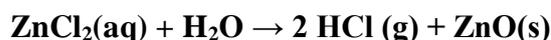
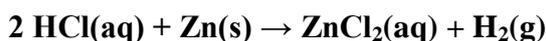
Durante la combustión en “gaz oxygène” se liberaban calórico y luz (a la cual Lavoisier también consideraba como un elemento imponderable). La combustión del fósforo podía representarse así:



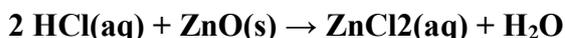
### 9 – 8. ¿El calórico es lo mismo que el flogisto?

En algunos aspectos, el calórico se parecía al viejo flogisto y Lavoisier se dio cuenta de que era necesario explicar de algún modo la producción de fuego durante el proceso de la combustión. En efecto, al tratar virutas de cinc, con ácido clorhídrico, se libera hidrógeno a la vez que se produce calor. El hidrógeno, que en esa época se conocía como “aire inflamable”, se detectaba por su clásico burbujeo y recogido sobre agua o mercurio ardía con desprendimiento de calor. Al evaporar parte del agua de la solución donde se había producido la reacción precipitaba una sal. Pero, mediante un calentamiento intenso se liberaba el ácido de esa sal dejando como residuo la cal del metal.

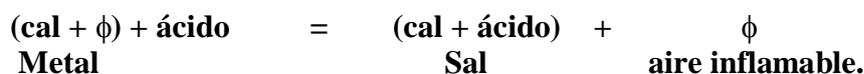
En términos modernos



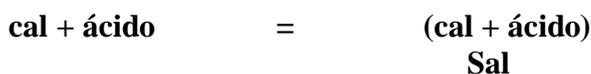
Cuando se hace actuar el mismo ácido sobre la cal se obtiene la misma sal. Pero, a diferencia con la reacción del ácido sobre el metal no se obtiene aire inflamable.



La pregunta que, indudablemente, debió preocupar a Lavoisier es: ¿De dónde proviene el aire inflamable que se obtiene al reaccionar el ácido con el metal? Para la teoría del flogisto la explicación era muy sencilla: El aire inflamable es flogisto, el metal es una cal + flogisto y la sal es cal + ácido. Con estas suposiciones las dos experiencias descritas anteriormente pueden representarse mediante:



<sup>351</sup> “... diremos que un gaz o fluide aeriforme es una combinación de calórico con una sustancia cualquiera y, en efecto, cada vez que se forma un gas hay empleo de calórico y, recíprocamente, todas las veces que un gaz pasa al estado sólido o fluido, la porción de calórico necesario para constituirlo en estado de gaz reaparece y se torna libre. (En Kirwan, R., (1788): *Essai sur le phlogistique et sur la constitution des acides*. Paris. Nota de Lavoisier, p. 12).



La dificultad era seria y Lavoisier no pudo encontrar la solución. Sólo las investigaciones de Cavendish sobre la formación del agua a partir del “aire inflamable” y “aire deflogisticado” (oxígeno) facilitaron la clave para resolver la cuestión.

## 9 – 9. La composición del agua

A principios de la década de 1780, tanto Lavoisier como los partidarios de la teoría del flogisto creían que el agua es una sustancia simple, un “principio”.

El 18 de abril de 1781, John Warltire (1725 – 1810), quien estaba tratando de determinar la masa del calórico, le envió una carta a Joseph Priestley en donde le relataba que, habiendo quemado pequeñas concentraciones de aire inflamable (hidrógeno) en un tubo cerrado de cobre, había registrado una disminución del peso, hecho que atribuía a la pérdida de calórico. Priestley retomó los experimentos de Warltire e hizo explotar una mezcla de aire inflamable y aire deflogisticado en un frasco, notando que, después de la combustión, aparecían gotitas de agua en las paredes del frasco. Priestley comunicó estas experiencias a James Watt (1736 – 1819) y a Henry Cavendish, quien había descubierto el hidrógeno en 1766. Con la autorización de Priestley, Cavendish se abocó al estudio de la combustión del hidrógeno en aire., tarea que le llevaría un par de años.

En marzo de 1782 Priestley<sup>352</sup> investigó la reducción de las cales de los metales, producida cuando estas se calentaban en una atmósfera de aire inflamable (hidrógeno). Este gas era encerrado en una campana sobre agua o mercurio y la cal se sostenía dentro de ella mediante una cuchara vertical y se la calentaba concentrando los rayos solares mediante una lente. Usando rojo de plomo ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ), obtuvo plomo metálico y operó de modo que la cal absorbiese todo el aire inflamable. Según su interpretación el proceso es:



Al respecto escribió:

“As soon as the minium was dry, by means of the heat thrown upon it, I observed that it became black, and then ran in the form of perfect lead; at the same time that the air diminished at a great rate, the water ascending within the receiver. I viewed this process with the most eager and pleasing expectation of the result, having at that time no fixed opinion on the subject; and therefore I could not tell except by actual trial whether the air was decomposing in the process, so that some other kind of air would be left, or whether it would be absorbed *in toto*. The former I thought the more probable, as if there was any such thing as phlogiston in inflammable air, I imagined, consisted of it and something else. However, I was then satisfied that it would be in my power to determine, in a very satisfactory manner, whether the phlogiston in inflammable air had any base or not; and if it had, what that base was.”

“For, seeing the metal to be actually revived, and that in a considerable quantity, at the same time that the air was diminished, I could not doubt but that the calx was actually imbibing some-

<sup>352</sup> Priestley, J.; (1790): *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*. Vol. I, p. 249

thing from the air; and from its effects in making the calx into metal, it could be no other than that to which chemists had unanimously given the name of *phlogiston*<sup>353</sup>.

Repetió este experimento con las mayores precauciones, variando las condiciones y la naturaleza de la cal. Para ello usó óxidos de estaño, de bismuto, de mercurio, de plata, de hierro y de cobre. En vez de recoger el hidrógeno sobre agua, utilizó mercurio y, en todos los casos, encontró que el hidrógeno se “absorbía” totalmente. De estos resultados experimentales, parecería que quedaba de-mostrado que el aire inflamable contenía flogisto o, directamente, era flogisto, idea sostenida por Henry Cavendish (1731 – 1810) en 1766 y por Richard Kirwan (1733 – 1812) en 1782. De modo que su conclusión fue:

“... that phlogiston is the same thing as inflammable air, and is contained in a combined state in metals, just as fixed air is contained in chalk and other calcareous substances: both being equally capable of being expelled again in the form of air.”<sup>354</sup>

Convencido de haber encontrado un método empírico que “demostraba” la existencia del flogisto, Priestley se abocó a establecer las proporciones de flogisto presentes en diversos metales, determinando las cantidades de aire inflamable que podían incorporar sus cales. Encontró, por ejemplo, que la cal de estaño ( $\text{SnO}_2$ ) absorbe, en condiciones ambientales, 377 onzas fluidas (1 fl. oz.: 29,5734 mL) de gas inflamable para formar 1 onza (1 oz: 28,3495 g) de estaño y que en la formación de 1 onza de plomo a partir de litargirio ( $\text{PbO}$ ) se absorben 108 onzas fluidas de ese gas.<sup>355</sup> Suponiendo que estas reacciones se efectuasen a 20 °C y 1 atm, las cantidades estequiométricas para obtener 1 onza de cada metal serían, respectivamente, 388 y 111 fl. oz. Estos ejemplos dan una idea de la precisión con que Priestley trabajaba.

Priestley se encontró entonces a la vera de un gran descubrimiento que, en primer lugar, destruiría la teoría de Stahl y que, en segundo término, podría haber llevado a otro descubrimiento de magnitud: la determinación de la composición del agua, ya que en muchos experimentos en los cuales desecaba cuidadosamente el aire inflamable, al cabo de la reducción se producía agua “en cantidad suficiente”. Pero sus ideas acerca del flogisto no le permitieron establecer el verdadero significado de sus resultados. En su concepción teórica, al flogisticar una cal, ella aumentaría su peso y que el peso del metal formado debería ser igual al peso de la cal más el del flogisto absorbido. En vano trató de probarlo experimentalmente, ya que sus resultados no concordaban con su hipótesis. Lejos de aceptar la realidad empírica, introdujo diversas hipótesis auxiliares para justificar el fracaso:

<sup>353</sup> Ni bien el minio (óxido de plomo) se secó mediante el calor que fluyó sobre él, observé que se tornó negro y tomó la forma de un perfecto plomo y, al mismo tiempo, el aire disminuyó en gran proporción y que el agua ascendía dentro del recipiente. Observé este proceso con la mayor impaciencia y la agradable expectativa del resultado ya que en esa época no tenía una opinión fija sobre el tema y, por lo tanto, no podía decir, excepto por un ensayo real, si el aire se descomponía en el proceso de modo que quedase otro tipo de aire, o si sería absorbido por completo. Esto último, pensé, sería lo más probable si en el aire inflamable existiese algo así como el flogisto. Imaginé que consistiría en eso y algo más. No obstante, me hubiera gustado poder determinar de una manera muy satisfactoria, si el flogisto tenía alguna base en el aire inflamable, o no; y si la tenía, cual era.

Al ver que el metal realmente revivía y lo hacía en cantidad apreciable, y que al mismo tiempo el aire (inflamable) disminuía, no pude sino pensar que la cal se estaba embebiendo realmente en algo del aire y, a juzgar por los efectos de transformación de la cal en metal, ese algo del aire era lo que los químicos han llamado *flogisto*.” Priestley, J.; (1790): *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*. Vol. I, p. 251 – 252.

<sup>354</sup> ... que el flogisto es la misma cosa que el aire inflamable y está contenido en un estado de combinación en los metales, tal como el aire fijo (*dióxido de carbono*) está contenido en la caliza (*carbonato de calcio*) y otras sustancias calcáreas: ya que ambos son igualmente capaces de ser nuevamente expulsados en forma de gas. *Ibid.* p. 254

<sup>355</sup> Priestley, J.; (1790): *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*. Vol. I, pp. 258 y ss.

“...that were it possible to procure a perfect calx, no part of which should be sublimed and dispersed by the heat necessary to be made use of in the process, I should not doubt but that the quantity of inflammable air imbibed by it would sufficiently add to its weight.”<sup>356</sup>



Resulta extraño que un hombre, sin duda inteligente y avezado experimentador en Química, no haya aceptado el resultado experimental de que la calcinación de un metal incrementa el peso. Negar la evidencia experimental lo llevó a escribir:

“Of late, it has been the opinion of many celebrated chemists, Mr. Lavoisier among others, that the whole doctrine of phlogiston is founded on mistake. The arguments in favour of this opinion, especially those which are drawn from the experiments Mr. Lavoisier made on mercury, are so specious that I own I was myself much inclined to adopt it.”<sup>357</sup>

En tanto Priestley dejaba pasar la oportunidad de encontrar el verdadero mecanismo de la calcinación y la combustión, Cavendish no alcanzaba a precisar qué ocurría en la descomposición del agua.

Los experimentos de Cavendish sobre la formación de agua a partir de aire inflamable ( $H_2$ ) y aire deflogisticado ( $O_2$ ) comenzaron como una continuación del trabajo preliminar de Priestley y Warltire, y los expuso en una memoria cuyo título es *Experiments on Air*<sup>358</sup>. Comenzó por demostrar que, cuando los dos gases se hacen explotar en un vaso cerrado de cobre o de vidrio, no hay pérdida de peso (contrariamente a lo que suponía Warltire). Usando distintas proporciones de mezcla, llegó a la conclusión que:

“Cuando el aire inflamable y el aire común se hacen explotar en proporciones adecuadas, casi todo el aire inflamable y cerca de un quinto del aire común pierden su elasticidad y se condensan en un rocío que se deposita sobre el vidrio.”

“Para examinar mejor la naturaleza de este rocío” quemó los gases e hizo pasar el “aire quemado” por un tubo de vidrio de unos 8 pies de largo con el objeto de condensar el rocío. “Con este dispositivo se condensó en el tubo una cantidad de agua superior a los 135 granos. Esta agua no tenía gusto ni olor y no dejaba sedimento apreciable cuando se evaporaba a sequedad y tampoco desprendía ningún olor picante durante la evaporación, en una palabra, parecía agua pura.”

Cavendish repitió el ensayo de Priestley quemando, mediante una chispa eléctrica, aire deflogisticado y aire inflamable en un globo de vidrio cuya capacidad era de 8800 granos<sup>359</sup>. El globo fue

<sup>356</sup> ... (lo comprobaría) si fuera posible encontrar una cal perfecta, de la que ninguna parte sublimase o dispersase por el calor necesario para usarla en el proceso, no tendría dudas de que la cantidad de aire inflamable embebida sería suficiente para aumentar su peso.” Priestley, J.; (1790): *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* Vol. I. p. 261.

<sup>357</sup> Últimamente, ha sido la opinión de muchos químicos célebres, M. Lavoisier entre ellos, de que toda la doctrina del flogisto está fundada sobre un error. Los argumentos a favor de esta opinión, especialmente los que se deducen de los experimentos que con mercurio hizo M. Lavoisier, son tan engañosos que hasta yo mismo estuve tentado de adoptarlos. Priestley, J.; (1790): *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* Vol. I. p. 249.

<sup>358</sup> *Phil. Trans* 1784. 74, p. 119 y ss; Partington, J. R.; “The composition of Water”, *Alembic Club Reprint* N° 3. 1928.

<sup>359</sup> En este experimento, un grano se consideró como el volumen que ocupa un grano (0.06g) de agua.

vaciado mediante una bomba neumática y en él se hacía entrar la mezcla de ambos gases. Comprobó que en las explosiones desaparecían ambos gases en la relación de volúmenes aire inflamable: aire deflogisticado = 2,02: 1.

En el globo se recogían unos 30 granos de agua. Cuando usaba aire común, el agua formada era sensiblemente ácida al paladar, estaba saturada de álcali fijo y al evaporarla dejaba un residuo de nitro de casi 2 granos. Esto es, el agua en el globo estaba unida a una pequeña cantidad de “ácido nitroso”. Cavendish encontró que se obtenía más ácido cuando se utilizaba un exceso de aire común, pero no se formaba ácido cuando utilizaba un exceso de aire inflamable. Cavendish no pudo encontrar la causa de esta formación de ácido<sup>360</sup>, lo que retrasó considerablemente la publicación de su trabajo. Al respecto, en la Memoria leída ante la Royal Society el 15 de enero de 1784 expresó:

“I think, we must allow that dephlogisticated air is in reality nothing but dephlogisticated water, or water deprived of its phlogiston; or, in other words, that water consists of dephlogisticated air united to phlogiston; and that inflammable air is either pure phlogiston, as Dr. Priestley and Mr. Kirwan suppose, or else water united to phlogiston: since, according to this supposition, these two substances united together form pure water.”<sup>361</sup>

Más adelante, reafirmó:

“According to this hypothesis, we must suppose, that water consist of inflammable air united to dephlogisticated air...”<sup>362</sup>

En la primavera de 1783, Sir Charles Blagden (1748 – 1820) —quien posteriormente sería Secretario de la Royal Society— viajó a París y en una conversación con Lavoisier le comentó que Cavendish había encontrado que el producto de la combustión del “aire inflamable” es agua. Lavoisier se dio cuenta de la gran importancia que tenía el descubrimiento de Cavendish para la consolidación de una teoría antiflogística y con qué facilidad podía responder a la pregunta ¿De dónde proviene el aire inflamable que se obtiene al reaccionar un ácido con un metal? De modo que resolvió repetir el experimento de Cavendish, con sumo cuidado y en una escala lo suficientemente grande como para prevenir cualquier ambigüedad. Con la colaboración de Pierre Simon de la Place, perfeccionó sus condiciones experimentales y el 24 de junio de 1783, ambos los hicieron público ante la presencia de Jean Baptiste Le Roi (1720 – 1800), Alexandre-Theophile Vandermonde (1735 – 1796) y Sir Charles Blagden. La cantidad de agua formada fue considerable lo que les permitió afirmar que el agua se forma a partir de

### 1 volumen de oxígeno

### 1,96 volúmenes de hidrógeno.

Si bien el experimento fue concluyente, Lavoisier no quedó satisfecho y para corroborar los valores de la composición del agua obtenidos por *síntesis*, realizó, conjuntamente con Jean Baptiste

<sup>360</sup> La chispa eléctrica provocaba la reacción del oxígeno con el nitrógeno.

<sup>361</sup> “Creo que debemos admitir que el aire deflogisticado sólo es, en realidad, nada más que agua desflogisticada o agua despojada de su flogisto o, en otras palabras, que el agua consiste en aire desflogisticado (oxígeno) unido al flogisto y que el aire inflamable es puro flogisto, como suponen el Dr. Priestley y el Sr. Kirwan u otra agua unida al flogisto, ya que de acuerdo con esta suposición, estas dos sustancias unidas forman el agua pura” *Philosophical Transactions*. Vol. 74, 1784, pp. 171 – 172.

<sup>362</sup> “De acuerdo con esta hipótesis, debemos suponer que el agua consiste en aire inflamable unido a aire deflogisticado. *Ibidem*, p. 180.

Meusnier de La Place (1754 – 1793), un experimento cuantitativo de *descomposición* del agua. Para ello, hicieron pasar una cantidad medida de vapor de agua sobre un alambre de hierro al rojo enroscado en un tubo de porcelana. El vapor se descompuso por acción del calor y su oxígeno se combinó con el hierro al rojo. El hidrógeno se recogió en un tubo con agua. A partir del aumento de peso que sufrió el hierro al oxidarse, calcularon el volumen que ocuparía el oxígeno absorbido en condiciones ambientales y del volumen de hidrógeno recogido, establecieron una relación de volúmenes similar a la obtenida por síntesis.

Mientras que la memoria de Lavoisier fue publicada como presentada en 1783 con el título «*Dans lequel on a pour objet de prouver que l'eau n'est point une substance simple, un élément proprement dit, mais qu'elle est susceptible de décomposition et de recomposition*»<sup>363</sup>, la publicación de la memoria de Cavendish se demoró hasta enero de 1784. Esto hizo que algunos autores franceses le adjudicasen a Lavoisier haber descubierto la composición del agua.

Es fácil darse cuenta de cómo estos experimentos le permitieron a Lavoisier obviar todas las objeciones a su teoría de la oxidación y combustión. Él afirmó que cuando el cinc o el hierro son atacados por el ácido sulfúrico diluido el hidrógeno se forma “por la descomposición del agua y el oxígeno del agua se une al cinc o al hierro convirtiéndose en un óxido, mientras que el hidrógeno se escapa en estado gaseoso”<sup>364</sup>. Cuando se calienta óxido de hierro en contacto con hidrógeno, este gas se combina con el oxígeno presente en la cal formando agua y dejando libre al metal.

De este modo, el descubrimiento de la composición del agua le dio a la teoría de Lavoisier un mayor carácter explicativo y predictivo que la teoría de Stahl.

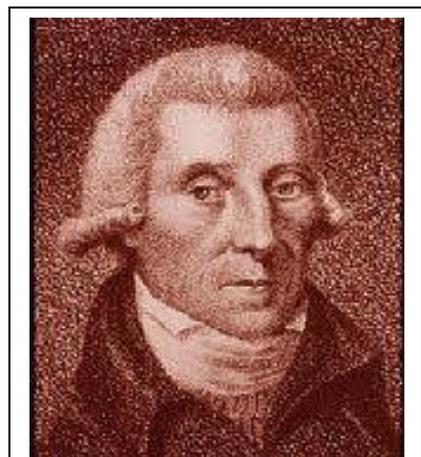


Figura 9.8. Richard Kirwan

### 9 – 10. Kirwan y la resistencia a abandonar la teoría del flogisto

Con posterioridad al descubrimiento del oxígeno, Richard Kirwan esbozó la hipótesis de que cuando se calcina un cuerpo combustible, o se lo transforma en ácido, este se combina con “aire fijo” (dióxido de carbono) y su flogisto se une al “aire vital” (oxígeno) o a otras sustancias. “Pero, aún el aire vital más puro contiene agua, la que es absorbida por la cal o por el ácido, y esto explica el aumento de peso”<sup>365</sup>.

Kirwan gozaba de una excelente reputación, en parte por sus trabajos sobre Mineralogía<sup>366</sup> y en parte por sus trabajos sobre la composición de las sales. En 1787, intentó refutar la teoría antiflogística y con tal fin publicó un trabajo al que tituló “*An Essay on Phlogiston and the Composition of Acids*”. En este libro, mantuvo

<sup>363</sup> La publicación apareció en 1784 en la página 468 y ss. de las *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1781 (las publicaciones de la Academia llevaban varios años de atrasos). Pero el trabajo fue, indudablemente retocado, ya que en esa memoria Lavoisier dice: “*Ce fut le 24 juin 1783 que nous fîmes cette expérience, M. de Laplace et moi, en présence de MM. le Roi, de Vandermonde, de plusieurs autres académiciens, et de M. Blagden, aujourd'hui secrétaire de la Société royale de Londres...*” siendo que Blagden asumió la Secretaría de la Royal Society en mayo de 1784. El 20 de enero de 1786, Blagden, en una carta publicada en los *Chemische Annalen* de Lorenz Crell, (Vol. I. p. 58) acusa severamente al gran químico francés de haber querido plagiar el descubrimiento de Cavendish, acusación a la cual Lavoisier nunca respondió.

<sup>364</sup> En realidad el hidrógeno proviene del ácido y en la solución no hay óxido del metal.

<sup>365</sup> Kirwan, R.: (1787): *Essay on Phlogiston and the Constitution of Acids*, p. 25.

<sup>366</sup> Su tratado *Elements of Mineralogy* (1784) fue el resultado de 18 años de investigaciones sobre afinidad química. Esta obra, en 2 volúmenes fue objeto de varias ediciones hasta 1810.

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 metal se produce la absorción de hidrógeno.

Su libro está dividido en trece secciones. En la primera estableció las densidades de los gases de acuerdo con los mejores datos que entonces existían. La segunda sección está dedicada a la composición de los ácidos y a la síntesis y descomposición del agua. La sección tercera se ocupa del ácido sulfúrico, la cuarta del ácido nítrico, la quinta del “ácido muriático” (clorhídrico), la sexta del agua regia<sup>367</sup>, la séptima del ácido fosfórico, la octava del ácido oxálico, la novena de la calcinación de metales, la reducción de las cales y la formación del “aire fijo” (CO<sub>2</sub>), la décima de la disolución de los metales, la undécima de la precipitación de los metales por acción de sales de otros metales, la duodécima de las propiedades del hierro y el acero, mientras que la décimo tercera engloba todos los argumentos a modo de conclusión.

En esta obra, Kirwan admitió la hipótesis de Lavoisier según la cual durante la combustión y la calcinación el oxígeno se une al combustible y al metal. También admitió que el agua es un compuesto formado por oxígeno e hidrógeno, pero usó estas admisiones a su favor para identificar al hidrógeno con el flogisto y tratar de demostrar la existencia de hidrógeno en todos los cuerpos combustibles. En este aspecto, Kirwan estaba usando buena parte de la argumentación expuesta por Tobern Bergmann y que, a esa época ya era apoyada por la mayoría de los químicos partidarios de la teoría de Stahl.

## 9 – 11. El triunfo de la revolución

En 1788, el libro de Kirwan fue traducido al francés por Marie-Anne Pierette Paulze (1758 – 1936), la esposa de Lavoisier<sup>368</sup>. Un grupo de químicos franceses se hizo cargo de la refutación de los argumentos de Kirwan para mostrar la superioridad de la teoría de Lavoisier sobre la teoría del flogisto. La Introducción y las secciones segunda, tercera y undécima fueron examinadas y refutadas por el propio Lavoisier. Las secciones cuarta, quinta y sexta fueron analizadas y rebatidas por Claude Louis Berthollet (1748 - 1822), de Morveau se ocupó de contrarrestar los argumentos de las secciones séptima y décimo tercera, de Antoine François, Conde de Fourcroy (1755 - 1809) contestó uno por uno los argumentos de las secciones octava, novena y décima mientras que la sección decimosegunda fue criticada por Gaspard Monge (1746 – 1818). Las refutaciones fueron realizadas con tacto y elegancia pero fueron tan contundentes y completas que produjeron el efecto deseado. Richard Kirwan renunció a sus opiniones, abandonando la teoría del flogisto y aceptando la doctrina antiflogística.

De este modo, la teoría de Lavoisier fue ganando adeptos y, a partir de 1790, la mayoría de los químicos británicos se habían “convertido” al nuevo paradigma. Como excepción, quedaron adhiriendo al viejo paradigma William Austin (1754 – 1793), George Pearson (1751 – 1828) y Joseph Priestley. Este último, debió afrontar la intolerancia y el fanatismo, por lo cual su casa fue arrasada. Si bien era “Fellow” de la Royal Society, tenía demasiados enemigos dentro de esa socie-

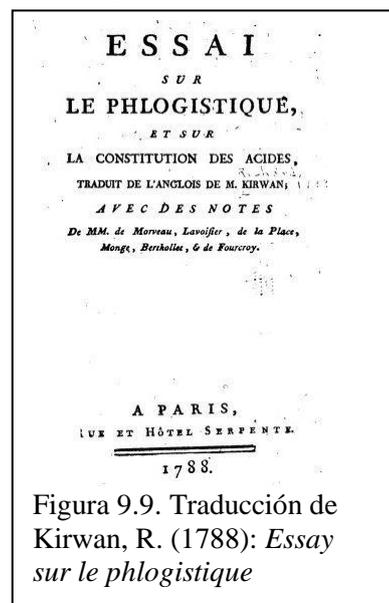


Figura 9.9. Traducción de Kirwan, R. (1788): *Essai sur le phlogistique*

<sup>367</sup> El agua regia (del latín *aqua regia* = agua real) es una solución altamente corrosiva formada por ácido nítrico y ácido clorhídrico, generalmente en proporción de volúmenes 1 a 3.

<sup>368</sup> *Essai sur le phlogistique, et sur la constitution des acides. Traduit de l'Anglais de M. Kirwan. Avec des notes de M.M. de Morveau, Lavoisier, de la Place, Monge, Berthollet & de Fourcroy.* Paris. 1788.

dad como para que sus opiniones fueran acogidas con simpatía. En 1794, la intolerancia de sus colegas a sus opiniones liberales, lo obligó a abandonar Birmingham y radicarse en los Estados Unidos.

### **Bibliografía:**

**Holmyard, E. J. (1990):** *Alchemy*. Dover Publications Inc. New York.

**Katz, M. (2011):** “La contribución de Jean Rey a la Teoría de la combustión”. En *Química y Civilización*, Lydia Galagovsky, Directora, Asociación Química Argentina, Buenos Aires, pp. 13 – 20.

**Katz, M. (2011):** “Mujeres en la ciencia: Marie-Anne Pierrette Paulze Lavoisier”. En *Química y Civilización*, Lydia Galagovsky, Directora, Asociación Química Argentina, Buenos Aires. Pp. 125 -130.

**Leicester, H. M., (1956):** *The Historical Background of Chemistry*. John Wiley & Sons, Toronto.

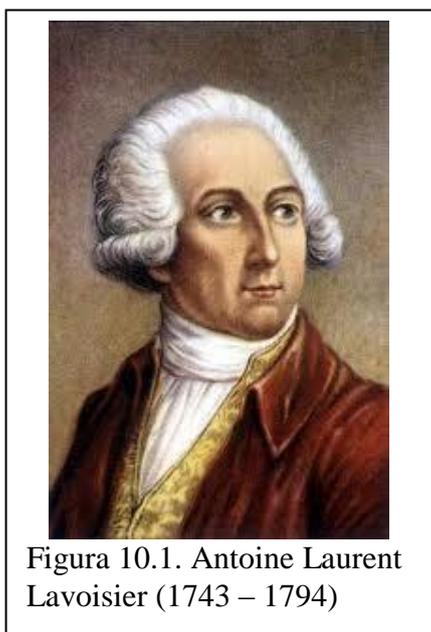
**Partington, J. R., (1945):** *Historia de la Química*. Espasa – Calpe Argentina S.A., Buenos Aires.



# X. LA QUÍMICA CUANTITATIVA

## 10 – 1. Introducción

Gracias a los trabajos de Lavoisier y su concepción de que el objetivo de la Química es descifrar la relación entre las propiedades de la materia y su naturaleza, efectuada mediante el análisis cuantitativo, el último cuarto del siglo XVIII se caracterizó por un desarrollo notorio de la investigación química. En su *Traité Élémentaire de Chimie* (1789) escribiría “La química avanza hacia su objetivo, dividiendo, subdividiendo y volviendo a subdividir”<sup>369</sup>. Según él, todas las técnicas de las experiencias de Química se fundamentan sobre el siguiente principio: “Debemos siempre admitir un balance o igualdad exacta entre los principios que constituyen el cuerpo en examen y los que forman los productos del análisis mismo”<sup>370</sup>



En esta misma obra analiza la polisemia de la palabra elemento:

*Je me contenterai donc de dire que, si par le nom d'éléments nous entendons désigner les molécules simples et indivisibles qui composent les corps, il est probable que nous ne les connaissons pas : que, si, au contraire, nous attachons au nom d'éléments ou de principes des corps l'idée du dernier terme auquel parvient l'analyse, toutes les substances que nous n'avons encore pu décomposer par aucun moyen sont pour nous des éléments; non pas que nous puissions assurer que ces corps, que nous regardons comme simples, ne soient pas eux-mêmes composés de deux ou même d'un plus grand nombre de principes; mais, puisque ces principes ne se séparent jamais, ou plutôt puisque nous n'avons aucun moyen de les séparer, ils agissent à notre égard à la manière des corps simples, et nous ne devons les supposer composés qu'au moment où l'expérience et l'observation nous en auront fourni la preuve.*<sup>371</sup>

<sup>369</sup> Lavoisier, A. L., (1789) : *Traité Élémentaire de Chimie*, p. 137.

<sup>370</sup> *Ibid*, p. 101.

<sup>371</sup> Me limitaré a decir que, si con el nombre de elementos designamos a las moléculas indivisibles y simples que componen los cuerpos, es probable que no los conozcamos; pero si, por el contrario, el nombre elemento o principio nos da la idea del último término que gestiona el análisis, todas las sustancias que en ningún caso hemos sido capaces de descomponer son para nosotros elementos. No podemos asegurar que esos cuerpos, que consideramos como simples no se componen de dos o incluso un número mayor de principios, sino que esos principios no separados, o mejor dicho, que no tenemos manera de separarlos, actúan ante nosotros como cuerpos simples, y no debemos suponerlos compuestos hasta que la experiencia y la observación nos hayan proporcionado la evidencia. (*Traité...* página 7)

De esta manera, Lavoisier expresaba que asignarle la categoría de “elemento” a una especie, era algo provisorio. En su *Traité*, publicó una lista de 33 elementos entre los que incluyó a la luz, al calórico, la alúmina y la sílice.

La conservación de la masa y la existencia de elementos con características inmutables que se podían determinar mediante el análisis químico, hicieron de Lavoisier un atomista “científico” y esta doctrina fue central en el nuevo paradigma químico.

## 10 – 2. La Química cuantitativa

A partir de las enseñanzas de Lavoisier, las balanzas, los “bertholímetros”, los “eudiómetros”, pasaron a ser instrumentos infaltables en cualquier laboratorio y de esta manera se llegaron a enunciar varias “leyes” empíricas que se conocen, hoy en día, con el nombre de “Leyes gravimétricas”.

Estas leyes enuncian relaciones entre masas de distintas sustancias en distintos procesos de síntesis, descomposición o combinación.

Los enunciados de estas leyes, que suelen ser un trabalenguas para nuestros estudiantes, fueron la base del establecimiento de una teoría acerca de la naturaleza de la materia que, si bien ha sido completamente reinterpretada, permitió un avance espectacular en el desarrollo de la Química.

Las leyes gravimétricas se asientan en una ley empírica enunciada por Lavoisier referida a la constancia de la masa en los procesos químicos, enunciada como “ley de la indestructibilidad de la materia” en el texto citado y que traducida a un lenguaje contemporáneo puede expresarse como

*“La masa de un sistema aislado permanece constante cualquiera sea las transformaciones físicas o químicas que en él ocurran”.*

## 10 – 3. Proporciones constantes

Ya en el siglo XVII se pueden encontrar ejemplos aislados de análisis y síntesis cuantitativas de sustancias. Johann Kunckel (1630 – 1703), había hallado que 12 partes de plata daban 16 partes de “luna córnea” (cloruro de plata), valor muy próximo al correcto que es 15,9. Tobern Olaf Bergmann (1735 – 1784) realizó un gran número de análisis de sales metálicas a fin de determinar las proporciones de metales que contenían. De modo que la mayoría de los químicos que se dedicaban a la investigación cuantitativa, admitían, tácitamente, que cada sustancia tiene una composición definida.

Joseph Louis Proust (1754 – 1826), fue un químico francés que trabajó como Profesor de Química en Madrid entre 1789 y 1808. Realizó un gran número de análisis de investigaciones sobre la composición de minerales y de sustancias obtenidas artificialmente. En 1797 descubrió el óxido de cobre (I) y demostró que hay metales que pueden formar más de un óxido. También encontró que hay más de un sulfuro de cobre cada uno de los cuales tiene una composición definida.

En 1797, Proust enunció una generalización empírica que se conoce hasta hoy en día como “ley de las proporciones constantes”:

Debemos reconocer una mano invisible que maneja la balanza en la formación de los compuestos. Un compuesto es una sustancia a la cual la naturaleza asigna relaciones fijas, o sea un ser al cual la Naturaleza crea siempre con una balanza en la mano, pondere et mesura”.

En nuestro lenguaje moderno:

“Cada sustancia tiene una composición, en peso, definida”.

Esta ley encontró una encendida oposición en Claude Louis Berthollet (1748 - 1822) quien, a través de su libro *Statique Chimique*, 2ª Parte, sostenía que:

“Los metales como el cobre, estaño y plomo, al ser calentados al aire pueden absorber oxígeno continuamente en proporciones que van aumentando hasta un cierto límite superior fijo, dando de este modo, una serie continua de óxidos, como queda evidenciado, en el caso del plomo, por el cambio de color”.

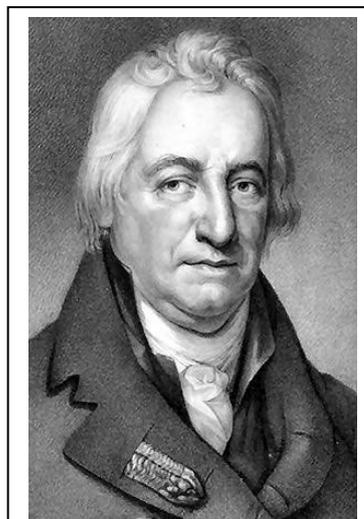


Figura 10.3. Claude Louis Berthollet

Proust, en una serie de artículos que aparecieron entre 1802 y 1808, demostró que esos óxidos eran mezclas de un número pequeño de óxidos definidos y distinguió cuidadosamente entre mezclas (*mélanges*) y soluciones (*dissolutions*) por una parte y compuestos químicos (*combinaisons*) por otra. Así, de esta manera, los términos de la supuesta serie de óxidos de estaño eran mezclas de dos óxidos definidos, el subóxido (80 % de estaño y 20 % de oxígeno) y del protóxido (estaño 72%, oxígeno 28%). Analizando sulfuros metálicos encontró casos análogos de mezclas.

Proust también refutó las opiniones de Berthollet sobre la composición variable de ciertas sales de cobre, de nitratos de mercurio, etc. Sin embargo, no pudo refutar empíricamente la hipótesis de Berthollet según la cual las aleaciones metálicas y los vidrios eran “compuestos” formados en proporciones indefinidas<sup>372</sup>.

En los albores del siglo XIX, no sólo Proust sino un gran número de químicos habían reconocido que los elementos pueden combinarse en más de una proporción para dar compuestos distintos.

En 1789, William Higgins (1763 – 1825) publicó su libro “*A Comparative View of the Phlogistic and Antiphlogistic Theories*”. Entre las conclusiones experimentales que expuso en ese libro podemos mencionar:



Figura 10.2. Joseph Louis Proust

<sup>372</sup> Hoy en día se conoce un gran número de sustancias naturales (por ejemplo, muchos silicatos) y un elevado número de sustancias artificiales que no tienen composición definida, a pesar de lo cual se las considera “sustancias”. Los compuestos que tienen composición definida se llaman “daltónidos” en homenaje a Dalton quien fue un firme defensor de la teoría de Proust. Las sustancias que tienen composición variable se llaman “berthólidos” en homenaje a Berthollet.

“Por lo tanto, 100 granos de azufre requieren 100 ó 102 de materia gravitante real de aire deflogistizado para formar ácido vitriólico volátil y como el ácido vitriólico volátil tiene una gravedad específica muy poco menor que el doble de la del aire deflogistizado, podemos concluir que las moléculas últimas de azufre y de aire deflogistizado contienen igual cantidad de materia sólida; ... De aquí podemos concluir que en el ácido vitriólico volátil una molécula última está unida a una sola molécula última de aire deflogistizado y que en el ácido vitriólico perfecto cada molécula simple de azufre está unida a dos de aire deflogistizado, siendo la cantidad necesaria para la saturación... Si dos pulgadas cúbicas de aire inflamable ligero requieren de sólo una de aire deflogistizado para que se condensen, tenemos que suponer que contienen igual número de divisiones y que la diferencia de sus gravedades específicas depende principalmente del tamaño de sus moléculas últimas, o tendremos que suponer que las moléculas últimas del aire inflamable ligero requieren de 2, 3 o más moléculas últimas de aire deflogistizado para saturarlas. Si este último fuera el caso, podríamos producir agua en un estado intermediario, tanto como los ácidos vitriólico y nitroso, lo que parece ser imposible, en cualquier proporción que mezclemos nuestros aires, o bajo cualquier circunstancia que los combinemos, el resultado es invariablemente el mismo. Esto es semejante a lo que se puede observar respecto de la descomposición del agua. Por lo tanto, podemos concluir justamente que el agua está compuesta por moléculas formadas por la unión de una molécula simple de aire deflogistizado a una molécula última de aire inflamable ligero y que ellas son incapaces de unirse a una tercera molécula de cualquiera de sus principios constituyentes”<sup>373</sup>.

Este último párrafo indica que Higgins se había dado cuenta que las combinaciones químicas tienen lugar solamente por la unión de los átomos y que la unión involucra números definidos de átomos, siendo lo mismo válido para las descomposiciones. Esto sería corroborado una década más tarde por Proust.

Si bien Higgins encontró que para formar un compuesto los átomos se combinan en proporciones definidas, no llegó a establecer enunciados concretos que le permitiesen adjudicarse la paternidad de la teoría atómica, algo que reclamó insistentemente luego de la publicación de la obra de Dalton.

#### 10 – 4. Proporciones múltiples

Aunque Proust había reconocido que dos elementos pueden combinarse en más de una proporción no llegó a establecer claramente la relación entre las cantidades de uno de ellos que se unía con una masa dada del otro. Tal como lo mencionamos en la cita anterior, eso también fue establecido por Higgins, no sólo en el caso de los óxidos de azufre sino también en el caso de los óxidos de nitrógeno. Sus análisis químicos y a los resultados experimentales de Lavoisier le demostraban que había 5 compuestos diferentes formados por nitrógeno (*aire flogistizado*) y oxígeno (*aire deflogistizado*). Entonces postuló que la diferencia entre las propiedades de esas sustancias se debía a las cantidades de átomos (*moléculas últimas*) de oxígeno unidos a un átomo de nitrógeno en cada compuesto. Al respecto escribió:

*“Supongamos que P es una molécula última de aire flogistizado... sea a una molécula última de aire deflogistizado... [Esta sería la composición de uno de los óxidos de nitrógeno] ... Supongamos que otra molécula última de aire deflogistizado b se une a P... Este es el que considero el verdadero estado del aire nitroso... Supongamos ahora que otra molécula c se une a P ... este es el estado del vapor nitroso rojo o ácido nitroso rojo.*

<sup>373</sup> Higgins, William, (1789): "A Comparative View of the Phlogistic and Antiphlogistic Theories." pág. 37.

*Supongamos ahora nuevamente que una cuarta molécula de aire deflogistizado d se combina con P,... Pienso que este es el estado del ácido nitroso pálido o de color pajizo. Finalmente, supongamos que una quinta molécula e se une a P, de esta manera a, b, c, d y e gravitarán cada una hacia P como si fuera su centro común de gravedad. Este es el más perfecto estado del ácido nitroso incoloro y, en mi opinión, ninguna molécula más de aire deflogistizado puede unirse a la de aire flogistizado la que tiene toda su fuerza de atracción repartida entre las moléculas de aire deflogistizado a, b, c, d y e. Esto ilustra la naturaleza de la saturación“.*<sup>374</sup>

Traducido al lenguaje contemporáneo, hay cinco óxidos de nitrógeno, que se diferencian en que en cada compuesto, unidos a un átomo de nitrógeno hay 1, 2, 3, 4 y 5 átomos de oxígeno. Por lo tanto, el número de átomos de oxígeno que se combina con un átomo de nitrógeno en esos compuestos distintos, guardan una relación sencilla.<sup>375</sup> Si bien encontró esta y otras regularidades, no las publicó como un enunciado de generalización empírica.

La bibliografía suele adjudicar a Dalton el enunciado de la llamada “ley de las proporciones múltiples”. En rigor Dalton sólo dijo:

“Si hay dos cuerpos A y B que tienden a combinarse, el orden según el cual los componentes pueden formarse, comenzando por el más simple, es el siguiente:

1 átomo de A + 1 átomo de B = 1 átomo de C, binario

1 átomo de A + 2 átomos de B = 1 átomo de D, ternario

2 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de E, ternario

1 átomo de A + 3 átomos de B = 1 átomo de F, cuaternario

3 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de G, cuaternario

Las siguientes reglas generales pueden ser adoptadas como guía en todas las investigaciones relativas a la síntesis química:

1º) Cuando puede obtenerse un solo compuesto de dos cuerpos, se supondrá binario a menos que alguna causa indique lo contrario.

2º) Cuando se observen dos compuestos, se los supondrá a uno binario y al otro ternario.

3º) Cuando se obtienen tres compuestos podemos esperar que uno de ellos sea binario y los otros dos ternarios. Historia de la Química

4º) Cuando se observan cuatro compuestos, deberían esperarse uno binario, dos ternarios y uno cuaternario, etc.

5º) Un compuesto binario deberá tener siempre un peso específico mayor que la mezcla de los dos ingredientes.

6º) Un compuesto ternario deberá tener siempre un peso específico mayor que la mezcla de un binario y uno simple que de combinarse lo formarían.

<sup>374</sup> Higgins, William, (1789): " *A Comparative View ....* " pág. 132 -135

<sup>375</sup> Nótese que establece una relación entre átomos y no entre masas.

7º) Las reglas y observaciones anteriores se aplican igualmente cuando se combinan dos cuerpos tales como C y D, D y E, etc.

Por la aplicación de estas reglas a hechos químicos ya bien establecidos, deducimos las siguientes conclusiones:

Que el agua es un compuesto binario de hidrógeno y oxígeno y los pesos relativos de los átomos elementales están aproximadamente 1:7.

Que el amoníaco es un compuesto binario de hidrógeno y ázoe y los pesos relativos de los dos átomos están aproximadamente como 1:5... “.

Es decir, Dalton generalizó las relaciones entre átomos cuando hay más de un compuesto formado por los mismos elementos no como el resultado de un conjunto de experimentos sino partiendo de un principio de máxima simplicidad ya que en esa época se suponía que el comportamiento de la naturaleza es tan sencillo que está en la capacidad del hombre descifrarlo.

El enunciado que suele aparecer en los textos, afirmando que cuando dos sustancias simples se combinan para formar más de un compuesto, las masas de uno de ellos que se combinan con la misma masa del otro guardan entre sí una relación sencilla, es atribuido a Jöns Jacob Berzelius.

## 10 – 5. Equivalentes

La llamada “ley de los equivalentes” surgió del estudio de las proporciones en que se combinan los ácidos y las bases. En 1699, Wilhelm Homberg (1652 – 1715), determinó las masas de varios ácidos necesarios para neutralizar una misma masa de sal de tártaro ( $K_2CO_3$ ), así como las masas de las distintas sales obtenidas por evaporación; pero sus resultados no son exactos.

En 1766, Henry Cavendish encontró que masas iguales de un mismo ácido requieren, para neutralizarse, diferentes masas de bases diferentes y llamó *equivalentes* a dichas masas. En 1788 encontró que las masas de ácido sulfúrico y de ácido nítrico que neutralizaban a la misma masa de potasa, también se neutralizaban con la misma masa de mármol. Halló así que las relaciones entre las masas de los dos ácidos eran las mismas en ambos casos.

En 1783, Richard Kirwan determinó las masas de varios metales y de varias bases requeridas para saturar 100 partes de tres ácidos inorgánicos, expresando sus resultados en tablas que son, esencialmente, tablas de masas equivalentes, aunque de ellas no sacó conclusión alguna.

El que encontró una relación matemática entre los “equivalentes” de una misma sustancia al reaccionar con sustancias diferentes, fue Jeremiah Benjamin Richter (1762 – 1807). En esa época se entendía por “equivalente” a la masa de un ácido requerida para neutralizar una masa dada de álcali. Hoy en día se ha extendido el concepto llamando equivalente<sup>376</sup> a la masa de un elemento que se



Figura 10.4. Jeremiah B. Richter

<sup>376</sup> También “equivalente gramo” o “masa de combinación”.

combina con (o que sustituye a) 1,0 g de hidrógeno, u 8 g de oxígeno o 35,5 g de cloro en un determinado compuesto.

En 1791 Richter estableció que al agregar acetato de calcio a una solución de tartrato de potasio, precipitaba tartrato de calcio y el sistema resultante era neutro. Repitiendo los experimentos con otras reacciones de doble descomposición encontró que si las soluciones iniciales eran neutras, los productos también lo eran; por lo que dedujo que debía existir una relación de masas constante entre las sustancias intervinientes. Ese fue el germen del enunciado de la ley que lleva su nombre. En los años siguientes estableció una cantidad enorme de relaciones de masas entre las sustancias que se combinan y las que se descomponen, así como tablas en las que para cada ácido dan las proporciones de combinación de las distintas bases.

En el año 1795, en su libro<sup>377</sup>, Richter enuncia:

“Si P es la masa de un elemento determinante y a, b, c, d, e, etc., las masas por él determinados y si Q es la masa de otro elemento determinante y  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ , etc., representan las masas del mismo elemento y si, las masas de compuestos neutros P + a y Q +  $\beta$ , P + a y Q +  $\gamma$ , P + c y Q +  $\delta$ , P + a y Q +  $\epsilon$ , etc. se descomponen por doble afinidad, de modo que los productos resultantes sean neutros, se verifica que las masas a, b, c, d, e, etc., tienen entre sí las relaciones cuantitativas iguales a las correspondientes entre las masas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ , etc., o inversamente”.

Muy claro ¿no? Este jeroglífico, traducido al lenguaje químico moderno dice que

“Los equivalentes químicos de un mismo elemento en compuestos distintos guardan entre sí una relación sencilla”.

En 1802 Ernst Gottfried Fischer tradujo al alemán el libro de Berthollet “*Recherches sur les Lois de L’Affinité*” en el cual agrega una tabla única de pesos equivalentes de ácidos y bases referidos a 1000 partes de ácido sulfúrico<sup>378</sup>. Esta tabla se reproduce parcialmente en la Figura 10.5. De la tabla se observa, por ejemplo, que para neutralizar 859 partes en peso de soda (NaOH) se requieren 427 partes en peso de lo que se llamaba en ese entonces ácido fluórico (HF), 577 partes en peso de ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), etc. o para neutralizar 1405 partes en peso de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) se requieren 525 partes en peso de alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O), 615 partes en peso de magnesia (Mg(OH)<sub>2</sub>), etc.

. Bases		Ácidos	
Alúmina	525	Fluórico	427
Magnesia	615	Carbónico	577
Amoníaco	672	Muriático	712
Cal	793	Oxálico	755
Soda	859	Fosfórico	979
Estronciana	1329	Sulfúrico	1000
Potasa	1605	Nítrico	1405
Barita	2222	Acético	1480

Figura 10.5. Tabla de equivalentes de Fischer

Richter mismo publicó una tabla en el año 1803 que contenía 18 ácidos y 30 bases.

<sup>377</sup> Ueber die Neuern Gegenstände der Chymie, 1795, Cap. IV, p. 67.

<sup>378</sup> Ueber die Gesetze der Verwandtschaft. Claude Louis Berthollet. Berlin. 1802. p.229.

De esta manera, en los albores del siglo XIX, los químicos disponían de un conjunto de leyes que les permitían desarrollar fructíferamente su profesión.

### **Bibliografía:**

**Leicester, H. M., (1956):** *The Historical Background of Chemistry*. John Wiley & Sons. Ltd. Toronto.

**Partington, J. R., (1945):** *Historia de la Química*. Espasa – Calpe Argentina S.A., Buenos Aires.

**Perrin, J., (1948):** *Los Principios de la Química Física*, Espasa Calpe Argentina S.A, Buenos Aires.

**T. S. Wheeler.** “William Higgins, Chemist (1763 - 1825)” *Endeavour* 11 pp 47 - 52 1952

Thomson, T., (1831): *The History of Chemistry*, Vol. II. Colburn & Bentley, London.

# XI. JOHN DALTON Y LA TEORÍA ATÓMICA

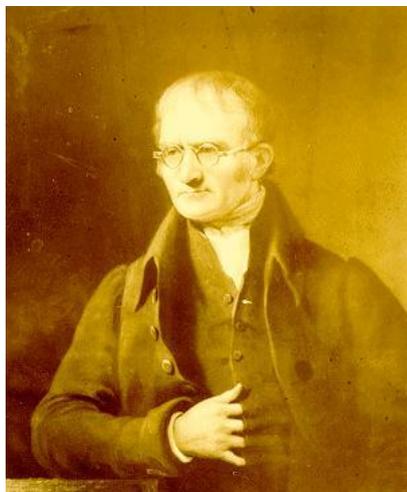


Figura 11.1. John Dalton (1766-1844)

## 11 – 1. John Dalton

Nació en Eaglesfield un pueblo de Cumberland el 5 de septiembre de 1766. Fue el quinto hijo de una familia cuáquera de condición humilde. Desde muy chico tuvo que dedicarse a las tareas rurales pero no dejó de concurrir a la escuela cuáquera de Pardshow Hall donde su maestro John Fletcher le enseñó matemática, lengua inglesa, latín, griego y ciencias naturales. A los doce años dirigió una escuela donde los alumnos eran, generalmente, mayores que él.

En 1785 abrió otra escuela en Kendall que dirigió hasta 1793 en que se mudó a Manchester, donde ejerció la docencia en una escuela presbiteriana.

Desde niño fue aficionado a la meteorología y a lo largo de su vida hizo más de 200.000 observaciones meteorológicas cuidadosamente anotadas en su diario de trabajo. En 1793 publicó en Manchester su primer libro *Meteorological Observations and Essays*. En 1799 se retiró de la escuela y se dedicó a dar clases particulares y a investigar privadamente temas relacionados con el comportamiento de los gases en la atmósfera.

En 1802 enunció su “Ley de las presiones parciales” y al año siguiente, publicó su escala de pesos atómicos en la parte final de un trabajo sobre la ley de Henry, aunque no expuso los fundamentos de esa escala.

En 1808 se publicó su obra más importante, el Volumen 1 de *A New System of Chemical Philosophy* que, a pesar de los trabajos de Gay Lussac sobre las relaciones de volúmenes en las combinaciones entre gases, suscitó una gran adhesión de la comunidad científica de la época. Las comprobaciones de Berzelius, Davy, Wollaston y otros científicos sobre la ley de las proporciones múlti-

ples hicieron que durante la década siguiente a la publicación de su obra su fama se extendiese a toda Europa. En 1822, viajó a París donde fue nombrado miembro de la Academia Francesa de Ciencias y agasajado por los más importantes científicos franceses, encabezados por Laplace.

A pesar de su fama, vivió una vida pobre dando clases particulares de aritmética. Recibió una medalla de oro de la Corona Británica, fue nombrado Fellow de la Royal Society y recibido personalmente por el Rey William IV.

En 1837 sufrió una parálisis parcial y su salud comenzó a deteriorarse. Sin embargo, no dejó de hacer observaciones meteorológicas un sólo día, incluso el de su muerte, el 27 de julio de 1844.

Fue su interés por la controversia entre Proust y Berthollet la que concitó su atención sobre la naturaleza de las partículas que forman la materia. La hipótesis de que todos los átomos de un mismo elemento son iguales en peso, forma, etc., rondaba aparentemente en la cabeza de Dalton ya en 1802, pues comenzó a trabajar en su laboratorio tratando de relacionar masas de combinación. Si todas las partículas últimas, como él las llamaba, de un mismo elemento tienen el mismo peso y si cuando los elementos se combinan para formar un compuesto lo hacen en una relación numérica definida, la composición de la sustancia resultante debe ser constante. De allí que más adelante escribiría:

*“... Las opiniones a que me refiero en particular son las de Berthollet sobre las leyes de la afinidad química, como son que la afinidad química es proporcional a la masa y que en todas las uniones químicas existen grados insensibles en las proporciones de los principios constituyentes. La inconsistencia de estas opiniones, tanto con la razón como con la observación, pienso que no pueden dejar de llamar la atención de cualquiera que adquiriera una visión apropiada de los fenómenos...”*<sup>379</sup>

En octubre de 1803, el germen de la Teoría Atómica bullía en la cabeza de Dalton aunque no le podía dar la forma científica adecuada para presentarla en sociedad. El 21 de ese mes leyó ante el auditorio de la Philosophical Society de Manchester el artículo “*Sobre la Absorción de los gases por el agua y otros líquidos*” donde corroboró los experimentos de William Henry y que hoy se conoce como “Ley de Henry”<sup>380</sup> y estableció lo que hoy se conoce como “Ley de las presiones parciales”<sup>381</sup>

En este artículo recurrió a la hipótesis “*de la acción independiente de los fluidos elásticos al ser mezclados*” y del comportamiento de los gases como un conjunto de partículas en movimiento. Afirmó que:

*“... Todos los gases que penetran en el agua y otros líquidos por medio de una presión, están mezclados mecánicamente con el líquido y no combinados químicamente con él... Los gases mezclados de esta manera con el agua, etc., retienen la elasticidad o poder repulsivo entre sus propias partículas exactamente lo mismo en el agua que fuera de ella, no interviene el agua ni tiene mayor influencia al respecto que el mero vacío ... Una partícula de gas que presione sobre la superficie del agua es semejante a una única bala que presiona sobre la cumbre de una pila de balas de base cuadrada ...”* Aquí subyace la concepción mecánico - cinética<sup>382</sup> de que los gases están formados por partículas en movimiento y vacío”.

<sup>379</sup> *A New System of Chemical Philosophy, Manchester. Vol I. 1808.*

<sup>380</sup> “La solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión que ejerce ese gas sobre el líquido”.

<sup>381</sup> La suma de las presiones parciales de los gases constituyentes de una mezcla gaseosa es igual a la presión total”

<sup>382</sup> Es notoria la influencia de la *Hydrodinámica* de Bernoulli (1738)

Tabla de los pesos relativos de las partículas últimas de cuerpos gaseosos y de otro tipo.	
Hidrógeno	1
Azoe	4,2
Carbono	4,3
Amoníaco	5,2
Oxígeno	5,5
Agua	6,5
Fósforo	7,2
Hidrógeno fosforado	8,2
Gas nitroso	9,1
Éter	9,6
Óxido de carbono gaseoso	9,8
Óxido nitroso	13,7
Azufre	14,4
Ácido nítrico	15,4
Ácido carbónico	15,3
Alcohol	15,1
Ácido sulfuroso	19,9
Ácido sulfúrico	25,4
Hidrógeno carburado de aguas estancadas	6,3
Gas olefiante	5,3

Figura 11.2. Tabla de pesos relativos de Dalton

Finalmente comentó:

*“... la mayor dificultad concerniente a la hipótesis mecánica surge de que los diferentes gases cumplen leyes diferentes ¿Por qué el agua no admite el mismo volumen de cualquier clase de gas? He considerado debidamente esta cuestión, y aunque no puedo darme todavía por satisfecho estoy casi persuadido de que la circunstancia depende del peso y número de las partículas últimas de los diferentes gases: son menos absorbibles aquellas cuyas partículas son simples y más livianas y las otras son tanto más a medida que aumentan en peso y complejidad. Una investigación sobre los pesos relativos de las partículas últimas de los cuerpos es un tema, que yo sepa, enteramente nuevo: he estado últimamente realizando esta investigación con éxito notable. El fundamento de ella no tiene cabida en este escrito, solamente incluiré los resultados que parezcan confirmados por mis experimentos...”*

A final agregó la tabla de la Figura 11.2 <sup>383</sup>

Curiosamente, el conocimiento de los principios de la Teoría Atómica de Dalton no se debió a su autor sino a Thomas Thomson (1773 - 1852) quien en 1807, en la tercera edición de su libro *A System of Chemistry* expuso las suposiciones que se deben efectuar respecto de la composición de las sustancias para deducir a partir de los análisis cuantitativos de las mismas los pesos atómicos de los elementos.

## 11 – 2. Los postulados de la Teoría Atómica de Dalton

En 1808, cinco años después de aquella lectura en la Philosophical Society Dalton publicó su teoría en el Volumen I de la primera edición de *A New System of Chemical Philosophy*. Tanto su

<sup>383</sup> Dalton no explicó cómo obtuvo la tabla, pero hizo una referencia al método en un par de conferencias dictadas en la Royal Institution (London) en diciembre de 1803 y enero de 1804

austero espíritu cuáquero como la meticulosidad de los experimentos con que intentó corroborar sus hipótesis fueron los responsables de esa demora. De esa edición rescatamos los siguientes párrafos que sintetizan los postulados de la teoría y algunas de sus hipótesis auxiliares.

*“El preguntarse si las partículas últimas de un cuerpo, tal como el agua, son todas semejantes, esto es, de la misma forma, peso, reviste bastante importancia. De lo que conocemos, no tenemos razón para suponer alguna diversidad en estos aspectos: si ella existe en el agua, debe existir igualmente en los elementos que constituyen el agua; a saber hidrógeno y oxígeno. Ahora bien, es casi imposible concebir como los agregados de partículas diferentes pueden ser tan uniformemente iguales. Si algunas de las partículas de agua fuese más pesada que las otras y si alguna porción del líquido estuviera, en alguna ocasión, constituida principalmente por estas partículas más pesadas, debe suponerse que esto afectará al peso específico de la masa, circunstancia no conocida. Por lo tanto, podemos concluir que las partículas últimas de todos los cuerpos homogéneos son perfectamente iguales en peso, forma, etc., En otras palabras, cada partícula de agua es igual a toda otra partícula de agua, cada partícula de hidrógeno es igual a toda otra partícula de hidrógeno, etc.,...”*

*“...Cuando un cuerpo existe en estado elástico, sus partículas últimas están separadas una de otra por una distancia mayor que cualquier otro estado. Cada partícula ocupa el centro de una esfera relativamente grande y sostiene su posición manteniendo a todas las demás... a una distancia considerable. El intentar concebir el número de partículas en un gas es algo así como si intentásemos concebir el número de estrellas en el universo... pero si tomamos un volumen dado de cualquier gas, nos parece que si hacemos las divisiones muy pequeñas el número de partículas debe ser finito lo mismo que en un espacio dado del universo el número de estrellas y planetas no puede ser infinito.”*

*“... El análisis y la síntesis química consisten en la separación de las partículas unas de otras y de su reunión. Ninguna creación o destrucción de materia está dentro del alcance de la acción química... Los cambios que podemos producir consisten tan sólo en separar las partículas que estaban en estado de cohesión o de combinación y unir aquellas que previamente estaban separadas.”*

*“... Uno de los grandes objetos de este trabajo es mostrar la importancia y la ventaja de asegurar los pesos relativos de las partículas últimas, tanto de los cuerpos simples como de los compuestos, el número de partículas simples elementales que constituyen una partícula compuesta y el número de partículas menos compuestas que entran en la formación de una más compuesta”.*

*A continuación enunció ciertas hipótesis para tratar de establecer esos pesos relativos.*

“Si hay dos cuerpos A y B que tienden a combinarse, el orden según el cual los componentes pueden formarse, comenzando por el más simple es el siguiente:

1 átomo de A + 1 átomo de B = 1 átomo de C, binario

1 átomo de A + 2 átomos de B = 1 átomo de D, ternario

2 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de E, ternario

1 átomo de A + 3 átomos de B = 1 átomo de F, cuaternario

3 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de G, cuaternario

Las siguientes reglas generales pueden ser adoptadas como guía en todas las investigaciones relativas a la síntesis química:

1º) Cuando puede obtenerse un solo compuesto de dos cuerpos, se supondrá binario a menos que alguna causa indique lo contrario.

2º) Cuando se observen dos compuestos, se los supondrá a uno binario y al otro ternario.

3º) Cuando se obtienen tres compuestos podemos esperar que uno de ellos sea binario y los otros dos ternarios.

4º) Cuando se observan cuatro compuestos, deberían esperarse uno binario, dos ternarios y uno cuaternario, etc.

5º) Un compuesto binario deberá tener siempre un peso específico mayor que la mezcla de los dos ingredientes.

6º) Un compuesto ternario deberá tener siempre un peso específico mayor que la mezcla de un binario y uno simple que de combinarse lo formarían.

7º) Las reglas y observaciones anteriores se aplican igualmente cuando se combinan dos cuerpos tales como C y D, D y E, etc.

Por la aplicación de estas reglas a hechos químicos ya bien establecidos, deducimos las siguientes conclusiones:

Que el agua es un compuesto binario de hidrógeno y oxígeno y los pesos relativos de los átomos elementales están aproximadamente 1:7

Que el amoníaco es un compuesto binario de hidrógeno y azoe y los pesos relativos de los dos átomos están aproximadamente como 1:5 ....”

De los tres primeros párrafos se pueden extraer tres hipótesis que pueden considerarse el “núcleo duro de la teoría”.

Todos los cuerpos están constituidos por un vasto número de partículas, o átomos de materia, que —en el caso de sólidos o líquidos— se mantienen unidos por fuerzas de atracción más o menos potentes o —en el caso de los gases— se mantienen a distancias considerables.

Los átomos de un mismo elemento son perfectamente iguales entre sí (en peso, forma, volumen, etc.), pero distintos a los átomos de otros elementos.

Los átomos son indivisibles, indestructibles e increables. El análisis y la síntesis química consisten simplemente en la separación o unión de átomos.

El cuarto párrafo podría sintetizarse

Los átomos se combinan en proporciones numéricas sencillas (1:1, 1:2, 2:1, 2:3, 3:2, etc.)

Acompañado de varias “reglas generales que pueden ser adoptadas como guía en todas las investigaciones relativas a la síntesis química”.

### 11 – 3. El postulado de las proporciones numéricas sencillas

Los primeros tres enunciados constituyen un modelo hipotético que se diferencia de la imagen griega en que incorpora las fuerzas de atracción como causa de unión de los átomos (supuesta ya por Newton), consideró a los átomos gaseosos en posiciones fijas (hoy sabemos que esto es erróneo) y sostuvo que los átomos de elementos distintos son de naturaleza diferente. Cabe preguntarse entonces: ¿Cuál es la diferencia fundamental entre esta teoría y la concepción griega? ¿Por qué se considera a Dalton el padre de la teoría atómica, cuando un siglo y medio antes, científicos distinguidos como Gassendi y Newton ya habían recurrido a la representación corpuscular de la materia? En primer lugar, la teoría griega no fue una teoría científica en la medida que no estaba fundamentada o corroborada por una experimentación cuidadosa, sino que se basaba sobre simples conjeturas. La respuesta al segundo interrogante quizás no satisfaga plenamente al lector no avezado en ciencias: simplemente, porque encontró que los diversos datos experimentales pueden ser resumidos en un conjunto limitado de generalizaciones acerca de la naturaleza y comportamiento de la materia.

Las distintas publicaciones científicas presentan un considerable número de artículos que describen técnicas de investigación, experimentos y sus resultados, tablas de valores, datos estadísticos, etc. De cuando en cuando algún científico descubre alguna relación de causalidad entre los experimentos descritos en distintos artículos y les da coherencia bajo la forma de un enunciado general. ¿Cuál es su mérito? Su mérito es precisamente ese: darle unidad a un conjunto de datos experimentales dispersos mediante una “explicación” de porqué se obtienen esos resultados experimentales. Ese enunciado constituye una hipótesis general. Un conjunto articulado de hipótesis generales acerca de un campo de la realidad constituye una teoría científica. A partir de allí los trabajos de investigación sobre los temas de ese campo de la realidad se facilitarán enormemente por una razón muy simple: existe una teoría al respecto.

Un párrafo aparte merece el cuarto enunciado. Suponer que los átomos se combinan en proporciones numéricas sencillas fue en su momento algo arbitrario. Sin embargo, le permitió a Dalton inferir las propiedades de los átomos a partir del análisis químico. Este enunciado está basado sobre el Principio de mayor simplicidad y no es la primera vez que la convicción en la simplicidad de las leyes de la Naturaleza hace posible el acercamiento a la solución de un problema.

A diferencia de Richter — quien pudo establecer una escala de pesos equivalentes usando, simplemente, un indicador ácido-base que le permitía determinar qué masa de una especie neutralizaba una cierta masa de la otra —, Dalton carecía de un indicador que le permitiese conocer la relación numérica de los átomos en los compuestos. De allí que haya utilizado todo ese conjunto de reglas auxiliares — que ni siquiera se cumplen en los ejemplos propuestos — para calcular los pesos atómicos relativos del oxígeno y del nitrógeno a partir de considerar al agua y al amoníaco compuesto binarios. Como dato anecdótico podemos mencionar que, en 1818 cuando Louis Jacques Thenard le comunicó su síntesis del agua oxigenada ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), Dalton supuso que la relación de 1 a 1 entre los átomos se cumplía en ésta sustancia y no en el agua, aunque mantenía para el oxígeno un peso atómico relativo igual a 7.

Fue el mismo Berthollet, quien en el prólogo a la traducción francesa del libro de Thomson, *A System of Chemistry*, explicitó lo arbitrario de las reglas de simplicidad y advirtió al lector que hipótesis de ese tipo pueden dar lugar a cálculos erróneos en los pesos atómicos relativos.

## 11 – 4. Justificación de las leyes empíricas

Una buena teoría debe justificar las leyes experimentales. Veamos cómo a partir de los postulados de Dalton, pueden inferirse algunas de las ya comentadas.

Si los átomos son indivisibles, indestructibles e increables, el número de átomos de cada elemento presente en un sistema cerrado permanecerá constante, cualquiera sea la modificación física o química que en ese sistema se produzca. Entonces, la masa de cada elemento (que es la suma de las masas de todos sus átomos) se mantendrá constante y la masa del sistema, que está dada por la suma de las masas de todos los elementos, también se mantendrá constante. Es decir se debe cumplir la *ley de Lavoisier*.

Si todos los átomos de un elemento A son iguales entre sí y todos los átomos de otro elemento B son iguales entre sí, además A y B se combinan para formar un compuesto C cuyas partículas son iguales entre sí, los átomos de A y de B se combinan según una relación numérica definida. Todas las partículas resultantes tendrán los mismos números y clases de átomos. Si todos los átomos de un mismo elemento tienen la misma masa, cada partícula resultante tendrá una composición en peso definida. Por lo tanto, la sustancia — que es el conjunto de todas esas partículas — tendrá una composición constante y definida. Es decir, se debe cumplir la *ley de Proust*.

Dalton tuvo que recurrir al cuarto enunciado aún no estando plenamente convencido de su validez, pues era la única forma que podía relacionar porcentajes en peso de los compuestos con los números de los distintos átomos que forman sus partículas y a partir de eso establecer una escala arbitraria de pesos atómicos. La tabla original publicada en el Volumen I fue modificada en ediciones posteriores sobre la base de datos de la bibliografía y de análisis propios.

Analicemos como elaboró su tabla de pesos atómicos. El agua era entonces el único compuesto conocido que contiene oxígeno e hidrógeno. Por el cuarto enunciado supuso que es un compuesto binario. La relación de pesos de oxígeno e hidrógeno que se combinan para formar agua debería ser la misma que la de los pesos de sus átomos. Si se toma como unidad de referencia el peso de un átomo de hidrógeno, el valor obtenido suministra el peso atómico relativo del oxígeno. Mediante consideraciones análogas, supuso que el amoníaco es un compuesto binario (en rigor está formado por 4 átomos) y partiendo de la composición en peso del amoníaco calculó el peso atómico relativo del nitrógeno. De esta manera fue elaborando su escala de pesos atómicos relativos.

Supongamos que los átomos de dos elementos A y B, se pueden combinar para dar dos compuestos diferentes C y D. Sean  $p$  y  $q$  los átomos de A que se combinan con el mismo número  $n$  de átomos de B respectivamente. Si el cuarto enunciado es válido y se aplican las reglas,  $p$  y  $q$  deben ser números pequeños. Por lo tanto

$$p : n / q : n = p / q$$

tiene que ser una relación de números enteros. Ahora bien, consideremos una masa  $m_B$  de la sustancia B en la que hay  $z \cdot n$  átomos, cada uno de ellos de masa  $\alpha_B$ . Resulta evidente que

$$m_B = z \cdot n \cdot \alpha_B$$

Con esos  $z \cdot n$  átomos de B se combinan  $z \cdot p$  átomos de A para dar C y  $z \cdot q$  átomos de A para dar D. Las respectivas masas de A,  $m_A$  y  $m'_A$  que se combinan con  $m_B$  serán

$$m_A = z \cdot p \cdot \alpha_A$$

y

$$m_B = z \cdot q \cdot \alpha_A$$

donde  $\alpha_A$  es la masa de cada átomo de A. Dividiendo miembro a miembro estas dos igualdades se tiene que

$$\frac{m_A}{m'_A} = \frac{p}{q}$$

que es una relación de números enteros. Por lo tanto:

*Cuando dos sustancias simples, A y B, se combinan entre sí para dar más de un compuesto, las masas de una de ellas, mA y m'A, que se combinan con la misma masa de la otra, mB, guardan entre sí una relación de números enteros y pequeños*

Esta es la ley de las proporciones múltiples y que surge de aplicar los postulados de la Teoría de Dalton. Los resultados de esta predicción fueron probados experimentalmente por Thomas Thomson<sup>384</sup> y William Hyde Wollaston<sup>385</sup> en 1808 y especialmente por Jöns Jakob Berzelius (1779 - 1848) entre 1808 y 1811. La confirmación de la predicción de Dalton contribuyó notablemente a la difusión y aceptación de su teoría atómica. Sin embargo el mismo Dalton sabía que podía ser objetada debido a las aproximaciones experimentales. En efecto, la relación  $p/q$  estará comprendida entre dos números que serán tanto más próximos cuanto mayor sea la precisión experimental. Ahora bien, existe una infinidad de fracciones ordinarias comprendidas entre dos números por próximos que estos sean. Por lo tanto la razón  $p/q$  podrá suponerse igual a una cualquiera de dichas fracciones<sup>386</sup>. Otra pregunta que cabría hacerse es ¿cuando un número deja de ser pequeño? Existen polisulfuros metálicos donde la relación entre el número de átomos de azufre y el del metal fluctúa de 1 a 8. ¿Una relación 8: 1 puede considerarse como de números pequeños?

Todos los postulados de Dalton tuvieron que modificarse a la luz de los resultados experimentales posteriores. Sin embargo, constituyeron durante más de un siglo los pilares sobre los que se asentó la investigación química y tienen, aún hoy, un cierto grado de validez en lo que respecta a la descripción macroscópica de muchas reacciones químicas.

## 11 – 5. Leyes de la combinación en volumen

Al regreso de su viaje por América, el naturalista Alexander von Humboldt solicitó la colaboración de Joseph Louis Gay-Lussac (1778 - 1850) para analizar varias muestras de aire, tomadas de distintos lugares con el fin de comprobar si la constitución de la atmósfera es constante o variable. Gay-Lussac decidió utilizar el método eudiométrico de Cavendish, consistente en mezclar el aire con una determinada masa de hidrógeno en un tubo graduado, hacer saltar una chispa en su interior para convertir todo el oxígeno en agua y, midiendo la contracción de volumen, deducir la proporción del oxígeno en el aire. De sus experimentos comprobó no solo la constancia de la constitución de la atmósfera sino, además, que el hidrógeno y el oxígeno se combinan en una relación de volúmenes de 2 a 1, cualquiera sea la proporción de los gases mezclados inicialmente y siempre que se

<sup>384</sup> Thomson corroboró la ley analizando la composición de los oxalatos y oxalatos ácidos de varios metales.

<sup>385</sup> Wollaston W. H. *On super-acid and sub-acid salts*. London. 1808

<sup>386</sup> Un análisis más profundo sobre la inconsistencia del enunciado de la Ley de las proporciones múltiples puede encontrarse en Perrin, J. *Los Principios de la Química Física*. Espasa Calpe Argentina S.A. Buenos Aires, 1948.

midan los volúmenes en las mismas condiciones de presión y temperatura. Entre 1805 y 1808, extendió sus investigaciones a la combinación de otros gases comprobando que

*Cuando dos sustancias gaseosas se combinan, lo hacen en una relación de volúmenes sencilla, siempre que los volúmenes se midan a la misma presión y temperatura. Además, si los productos de la reacción son gases, sus volúmenes guardan relaciones sencillas con los de los gases reaccionantes, siempre que se midan a la misma presión y temperatura*

Estos dos enunciados se conocen como *leyes de la combinación en volumen* de Gay-Lussac, quien las comunicó en la *Société Philomatique D' Arcueil* el 31 de diciembre de 1808<sup>387</sup>, es decir pocos meses después de la aparición de “*A New System of Chemical Philosophy*”.



Figura 11.3. Joseph Louis Gay-Lussac

## 11 – 6. Dificultades en la teoría atómica

Las leyes de la combinación en volumen guardan una cierta analogía con los postulados de la teoría atómica. En efecto, las primeras establecen relaciones sencillas entre *volúmenes* de gases reaccionantes, mientras que la teoría atómica postula relaciones sencillas entre el *número de átomos* reaccionantes. Por otra parte las reacciones estudiadas por Gay-Lussac incluían la síntesis del bicarbonato de amonio y carbonato de amonio en las que se requiere, respectivamente, un volumen de amoníaco por volumen de dióxido de carbono y dos volúmenes de amoníaco por volumen de dióxido de carbono. Es decir, cuando dos sustancias gaseosas se combinan para dar más de una sustancia compuesta, los *volúmenes* de una de ellas que se combinan con el mismo *volumen* de la otra guardan entre sí una relación sencilla (medidos a igual temperatura y presión). Notemos la semejanza de este enunciado con el de la ley de las proporciones múltiples.

Las semejanzas observadas despertaron la curiosidad de los investigadores de la época. Surgió así la necesidad de establecer alguna correlación entre los volúmenes de los gases y los números de átomos en ellos presentes. Veamos cómo puede llegarse a ella.

<sup>387</sup> «Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres». *Mémoires de la Société d'Arcueil*, II, pp 207 et ss.

Experimentalmente se comprueba que, a la misma presión y temperatura, un volumen de gas cloro reacciona con un volumen de gas hidrógeno, lo que reafirma a la ley de Gay-Lussac. Si suponemos que un átomo de cloro reacciona con un átomo de hidrógeno, relación sencilla según el postulado de Dalton, resulta evidente que el número de átomos de cloro presentes en un volumen cualquiera  $V$  de ese gas, debe ser igual al número de átomos de hidrógeno presentes en el mismo volumen  $V$  de hidrógeno.

Berzelius empleó ese mismo razonamiento para distintos resultados experimentales y su lógica era tal que lo llevó a formular la siguiente hipótesis:

*“Volúmenes iguales de gases distintos, medidos a la misma presión y temperatura, tienen el mismo número de átomos”*

Esta misma suposición ya la había planteado Dalton al intentar coordinar las leyes de Gay-Lussac con su propia teoría atómica. Para ello consideró la relación de volúmenes en la síntesis del óxido nítrico. Según los resultados experimentales de Gay-Lussac, a la misma presión y temperatura

1 volumen de nitrógeno + 1 volumen de oxígeno  $\rightarrow$  2 volúmenes de óxido nítrico

Si la hipótesis de Berzelius es correcta

$n$  átomos de nitrógeno +  $n$  átomos de oxígeno  $\rightarrow$   $2n$  “átomos” de óxido nítrico

Por lo tanto

1 átomo de nitrógeno + 1 átomo de oxígeno  $\rightarrow$  2 “átomos” de óxido nítrico

Ahora bien, ¿cuántos átomos de nitrógeno y oxígeno hay en un “átomo” de óxido nítrico? Si la hipótesis de Berzelius fuese cierta, en cada átomo de óxido nítrico debería haber *medio* átomo de cada elemento, lo que está en contradicción con el postulado de la indivisibilidad del átomo.

Debido a esa contradicción, Dalton rechazó de plano la hipótesis de Berzelius y hasta llegó a afirmar que los resultados experimentales de Gay-Lussac eran erróneos.

Dado que los experimentos de Gay Lussac eran inobjetables y que distintos científicos comprobaban relaciones sencillas de combinación entre los volúmenes de otros gases, Dalton introdujo una hipótesis *ad hoc* para salvar su teoría de la refutación. Propuso que las partículas últimas de cada cuerpo gaseoso contienen una cantidad de “calórico” que le son características. Esta cantidad de calórico es la responsable de mantener a las demás partículas a una cierta distancia. La mayor o menor atracción por el calórico de las partículas compuestas resultantes de la combinación es la responsable de la variación de las distancias entre esas partículas compuestas<sup>388</sup>. Sin embargo, le resultó infructuosa la búsqueda de una ley que vinculase la cantidad de calórico con las distancias entre las partículas, lo que le hubiera dado una corroboración independiente a la hipótesis *ad hoc*.

<sup>388</sup> Tomado de W. Ostwald “*Die Grundlagen der Atomtheorie*”. 3a. ed. Leipzig Akademische Verlagsgesellschaft. 1921.



Figura 11.4. Lorenzo Romano Amadeo Carlo Avogadro

### 11 – 7. La hipótesis de Avogadro

El aparente desacuerdo entre los resultados experimentales de Gay-Lussac y los postulados de la teoría atómica fue ingeniosamente obviado por un filósofo y jurista italiano Lorenzo Romano Amadeo Carlo Avogadro di Quaregna e di Cerreto (1776 - 1856). En 1811 publicó en el *Journal de physique*<sup>389</sup> un artículo bajo el título de “*Ensayo sobre una manera de determinar las masas relativas de las moléculas elementales de los cuerpos, y las proporciones en las que ellos entran en estos compuestos*”. En este artículo, en lugar de admitir que los átomos de las sustancias simples gaseosas son partículas libres, Avogadro supuso que se encuentran asociados en número limitado, constituyendo cada asociación una partícula independiente, para la cual usó la denominación de Gassendi, *molécula* (del latín pequeña masa). Las sustancias simples gaseosas son un conjunto de moléculas formada cada una de ellas por un reducido número de átomos iguales. Al producirse una transformación química los átomos de las moléculas se disocian entre sí recombinándose con los átomos de otros elementos originando así las moléculas de las sustancias compuestas. En su trabajo, Avogadro expresa:

“*M. Gay-Lussac ha mostrado en una Memoria interesante que los gases siempre se unen en una proporción muy simple de volumen, y que cuando el resultado de la unión es un gas, su volumen también está relacionado de manera simple a aquéllos de sus componentes. Pero las proporciones cuantitativas de las substancias en compuestos sólo parecen depender del número relativo de moléculas que se combinan, y en el número de moléculas compuestas que resultan. Debe admitirse entonces que también existen relaciones muy simples entre los volúmenes de las substancias gaseosas y los números de moléculas simples o compuestas que los forman. La primera hipótesis que se presenta a partir de esta conexión, y aparentemente incluso la única admisible, es la suposición que el número de moléculas íntegras en cualquier gas siempre es el mismo para volúmenes iguales, o siempre proporcional a los volúmenes. Por el contrario, si fuéramos a suponer que el número de moléculas contenidas en un volumen dado es diferente para gases diferentes, sería escasamente posible concebir que la ley que regula la distancia entre moléculas pudiera dar en todos los casos relaciones tan simples como aquéllas que los hechos que acabamos de detallar nos compelen a reconocer entre el volumen y el número de moléculas. Por otro lado, es muy bien concebible que estando las moléculas de los gases a semejante distancia, su atracción mutua no pueda ejercerse, su atracción variable por el calórico pueda limitarse a condensar una cantidad más o menos pequeña alrededor de ellos, sin que la atmósfera formada por este fluido tenga una magnitud mayor en un caso que en el otro, y, por consiguiente, sin que varíen las*

<sup>389</sup> Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons, *Journal de physique, d'Histoire naturelle et des Arts*, **73**: 58-76 (1811)

distancias entre las moléculas; o, en otras palabras, sin que el número de moléculas contenido en un volumen dado sea diferente. Dalton, es verdad, ha propuesto una hipótesis directamente opuesta a esto, a saber, que la cantidad de calórico siempre es el mismo para las moléculas de todos los cuerpos en el estado gaseoso, y que la mayor o menor atracción por el calórico sólo resulta en producir una mayor o menor condensación de esta cantidad alrededor de las moléculas, y por lo tanto variando así la distancia entre las moléculas. Pero en nuestra actual ignorancia de la manera en que esta atracción de las moléculas por el calórico se ejerce, no hay nada que nos decida a priori en favor de una de estas hipótesis en lugar de la otra; y deberíamos inclinarnos mejor por adoptar una hipótesis neutra según la cual la distancia entre las moléculas y las cantidades de calórico varían más bien según leyes desconocidas, si la hipótesis que acabamos de proponer estuviese basada sobre esa simplicidad de relación entre los volúmenes de los gases en combinación que parece no poder explicarse de otro modo”.

Con una claridad realmente sorprendente estableció un método para determinar las masas relativas de los átomos que forman las sustancias simples gaseosas

“... Partiendo de esta hipótesis, está claro que tenemos los medios de determinar de manera muy fácilmente asequible las masas relativas de las moléculas de las sustancias en el estado gaseoso, y el número relativo de estas moléculas en compuestos; pues **las proporciones de las masas de las moléculas será entonces igual a la relación de las densidades de los diferentes gases a igual temperatura y presión, y el número relativo de moléculas en un compuesto es dado enseguida por la proporción de los volúmenes de los gases que lo forman.** Por ejemplo, dado que los números 1,10359 y 0,07321 expresan las densidades de los gases oxígeno e hidrógeno comparados con la densidad del aire atmosférico que se toma como unidad, y la proporción de los dos números representa, por consiguiente, la relación entre las masas de volúmenes iguales de estos dos gases, también representará, en nuestra hipótesis, la proporción de las masas de sus moléculas. Así la masa de la molécula de oxígeno es aproximadamente 15 veces el de la molécula de hidrógeno, o más exactamente, como 15.074 a 1. De la misma manera la masa de la molécula de nitrógeno será a la del hidrógeno como 0.96913 a 0.07321, es decir, como 13, o más exactamente 13.238, a 1. Por otro lado, dado que sabemos que la proporción de los volúmenes de hidrógeno y oxígeno en la formación de agua es 2 a 1, se sigue que el agua resulta de la unión de cada molécula de oxígeno con dos moléculas de hidrógeno. Semejantemente, según las relaciones en volumen establecidas por M. Gay-Lussac para los elementos del amoníaco, óxido nitroso, gas nitroso, y el ácido nítrico, el amoníaco será el resultado de la unión de una molécula de nitrógeno con tres de hidrógeno, el óxido nitroso de una molécula de oxígeno con dos de nitrógeno, gas nitroso de una molécula de nitrógeno con uno de oxígeno, y ácido nítrico de uno de nitrógeno con dos de oxígeno....”.

El párrafo resaltado se conoce hoy en día como Principio de Avogadro y se enuncia en términos modernos como

“Volúmenes iguales de gases distintos, medidos a la misma presión y temperatura, contienen el mismo número de moléculas”.<sup>390</sup>

A continuación describió minuciosamente como se calculan, a partir de medidas de densidades relativas al aire, las masas atómicas relativas de distintos elementos presentes en los óxidos de nitrógeno, en el trióxido de azufre, en el dióxido de carbono, en los óxidos de fósforo, el distintos compuestos de cloro, de mercurio, de hierro, de plomo, de plata, etc., comparando los resultados de sus cálculos teóricos con los publicados por Dalton en “A New System of Chemical Philosophy”

Cabe mencionar que en 1814, André Marie Ampère llegó a las mismas conclusiones que Avogadro<sup>391</sup> partiendo de las relaciones cristalográficas propuestas por Haüy.

<sup>390</sup> Enunciado que tiene validez en tanto los gases se comporten idealmente.

Aún cuando no se puede dar una prueba directa de la hipótesis de Avogadro, todas las consecuencias que de ella se deducen fueron siempre corroboradas experimentalmente, no estando además, en contradicción con ningún resultado empírico conocido. Por estas causas y por su importancia fundamental en el desarrollo de la Química, se le adjudica el carácter de un Principio.

## 11 – 8. ¿Cómo llegó Dalton a enunciar su teoría?

Es notoria la influencia que ejerció Newton en el pensamiento de Dalton<sup>392</sup>. El comportamiento mecánico de las partículas descrito por Newton, analizado por Daniel Bernoulli en su *Hydrodinámica* y que fuera magistralmente expuesto por M. L. Lomonosov (1711 - 1765), quien desarrolló la teoría cinética de los gases admitiendo la agrupación de “imperceptibles partículas de materia” en partículas compuestas<sup>393</sup> eran temas que habían impresionado profundamente a Dalton, que como meteorólogo trató siempre de descifrar el comportamiento del aire y, por extensión, de los gases. También Lavoisier — fundamentalmente por su teoría de la combustión — tuvo gran influencia en su concepción de la teoría atómica<sup>394</sup>.

Una de las incógnitas planteada desde hace un siglo y medio es “¿Cuál fue el camino seguido por Dalton para concebir su teoría?”

En la Memoria de 1803 sobre absorción de los gases hay una discontinuidad notoria entre la última conclusión y la presentación de una tabla de pesos de partículas últimas calculadas según “fundamento que no tiene cabida en este escrito...”

Según Henry Enfield Roscoe y Arthur Harden<sup>395</sup>:

*“No parece haber duda que la idea de la estructura atómica surgió en la mente de Dalton como una concepción puramente física sugerida por su estudio de las propiedades físicas de la atmósfera y de otros gases. Habiéndose encontrado en el curso de estos estudios con el problema de asegurar los diámetros relativos de las partículas que, según estaba firmemente convencido, formaban todos los gases, recurrió a los resultados del análisis químico. Auxiliado por la suposición de que las combinaciones se realizan siempre de la manera más simple posible, concluyó que las combinaciones químicas se producían entre partículas de peso diferente, y esto es lo que diferencia su teoría de las especulaciones históricas de los griegos. La extensión de esta idea a la generalidad de las sustancias lo condujo necesariamente a la ley de las combinaciones en proporciones múltiples y la comparación de los datos experimentales confirmó brillantemente la verdad de sus deducciones. Una vez descubierto el principio de las uniones atómicas, se mostró susceptible de aplicación universal.”*

<sup>391</sup> Lettre de M Ampère à M. le Comte de Berthollet, sur la détermination des proportions dans lesquelles les corps se combinent d’après le nombre et la disposition relative des molécules dont leurs particules intégrantes sont composées, *Annales de chimie et de physique* **90**, 43 – 86, (1814)

<sup>392</sup> En el Libro 2, proposición 23, teorema 18 de sus Principia, Newton demuestra que un fluido gaseoso cuyas partículas se atrajeran en razón inversa de la distancia cumpliría con la Ley de Boyle - Mariotte. Dalton trató de conciliar el teorema de Newton con la mezcla de gases, lo que lo llevó a encontrar experimentalmente la Ley de las presiones parciales.

<sup>393</sup> A. T. Grigoryan. “M. V. Lomonosov and his physical theories” *Archives Internationales d’Histoire de la Science*. N° 62, pp. 53- 60. 1963.

<sup>394</sup> Para Dalton, el “calórico” de cada especie gaseosa es el responsable de la repulsión de las partículas.

<sup>395</sup> H. E. Roscoe - A. Harden. *A New View of the Origin of Dalton’s Theory*. Macmillan & Co. London. 1896.

La versión de Roscoe y Harden no es aceptada plenamente. Desiderio Papp<sup>396</sup> propuso una idea distinta sobre el origen de la teoría. Supuso que Dalton llegó a ella exclusivamente por el método hipotético deductivo partiendo de dos principios muy antiguos: el de la indestructibilidad de los átomos y el de la persistencia de la materia a los cuales le agregó como hipótesis auxiliar el principio de la simplicidad de las leyes naturales. Esto le habría permitido enunciar su teoría *a priori* para tratar de corroborarla posteriormente mediante los resultados del análisis químico.

H. Guerlac<sup>397</sup> encaró el interrogante como un ejercicio de aplicación del método histórico para examinar las evidencias a favor y en contra de que Dalton conociera los trabajos de Richter cuando estableció su primera tabla de pesos atómicos relativos.

En 1805 en las *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester* fue publicado un trabajo de Dalton titulado “*Experimental enquiry into the several gases or elastic fluids*” donde analizó la formación de los ácidos nítrico y nitroso a partir de óxido nítrico y concluyó que “*Los elementos de oxígeno pueden combinarse con cierta porción de gas nitroso o con el doble de esa cantidad, pero no con alguna cantidad intermedia*”. Esta sería la primera corroboración experimental de la ley de las proporciones múltiples hecha por el propio Dalton.

Sin embargo, la corroboración más importante a la teoría atómica de Dalton y a la ley de las proporciones múltiples no ocurrió hasta 1862 cuando el químico belga Jean Servais Stas (1813 - 1891) publicó los resultados experimentales<sup>398</sup> para la determinación de pesos atómicos más precisos que se realizaron durante el siglo XIX. Tomando como patrón al oxígeno al que asignó una masa atómica relativa de 16,00000 realizó procedimientos analíticos y sintéticos minuciosos con sustancias de extremada pureza<sup>399</sup> no sólo para determinar la escala de masas atómicas relativas sino para establecer la validez de la Ley de Proust en los compuestos que hoy llamamos daltónidos.

### Bibliografía:

**Halperin de Destailats, L., (1998):** *Teoría atómico molecular*, Instituto Politécnico Nacional, México.

**Roscoe, H. E. – Harden, A., (1896):** *A New View of the Origin of Dalton's Theory*, Macmillan & Co, London

**Thomson, T., (1831):** *The History of Chemistry*, Vol. II. Colburn & Bentley, London.

**Henry, W. Ch., (1854):** *Memoirs of the Life and Scientific Researches of John Dalton*, The Cavendish Society, London.

**Partington, J. R. (2011):** *A Short History of Chemistry*, Third Edition, Dover Books on Chemistry, New York.

---

<sup>396</sup> D. Papp. “¿Cuál es el origen gnoseológico de la teoría de Dalton?”. *Archives Internationales d'Histoire de la Science*. N° 23- 24 pp 232 - 248. 1953.

<sup>397</sup> H. Guerlac. Some Daltonian Doubts. *Isis*. 52. pp 544 - 554. 1961.

<sup>398</sup> Comentados en la “Stas Memorial Lecture”: *Jean-Servais Stas and the Measurement of the Relative Masses of the Atoms of the Chemical Elements*, por J. W. Mallet, *J. Chem. Soc. Trans.* 1893. 63, 1 – 56.

<sup>399</sup> Para tener una idea de la precisión de sus trabajos, podemos mencionar que Stas encontró que las masas de plata combinadas con la misma masa de cloro en el cloruro de plata y en el clorato de plata guardan la relación 1:1 con un error de 1 /10.000.000 (J. Perrin, *Los Principios de la Química - Física*. Espasa - Calpe Argentina Bs. Aires, 1948)

## **XII. LOS ALBORES DE LA TEORÍA ELECTROQUÍMICA**

### **12 – 1. Introducción**

Los inicios del siglo XIX se caracterizaron por el desarrollo de métodos de estudio de las propiedades químicas basados sobre la acción de la electricidad sobre la materia. Entre los investigadores que descollaron en este campo, merecen destacarse Sir Humphry Davy, Jöns Jakob Berzelius y Michael Faraday.

### **12 – 2. Humphry Davy.**

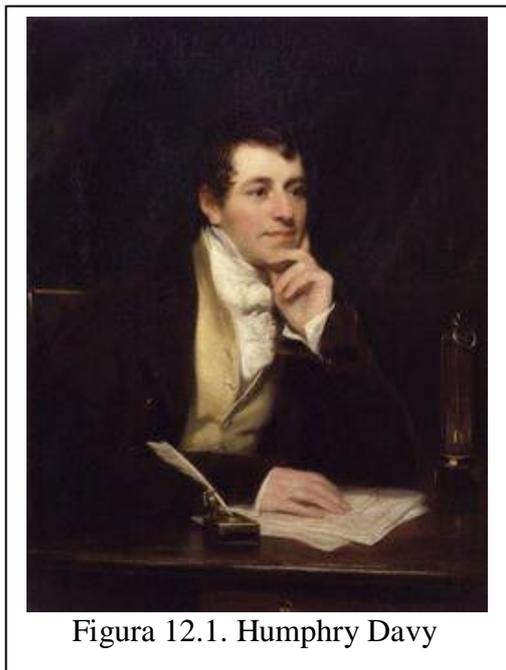


Figura 12.1. Humphry Davy

Humphry Davy nació en Penzance en Cornwall, el 17 de diciembre de 1778. Su padre, Robert Davy, fue un artesano de la madera y su madre, Grace Millett, descendía de de una familia tradicional de la zona. Cuando Grace quedó huérfana de ambos padres fue adoptada por John Tonkin, un eminente cirujano de Penzance. Humphry, fue el mayor de cinco hermanos y siendo niño, la familia se mudó a Varfell donde él pasaba parte del tiempo con sus padres y parte con Tonkin quien lo inscribió en una preparatoria dirigida por el clérigo de apellido Bushell. Bushell quedó impresionado por la capacidad y el talento de Davy y convenció a Robert Davy para que enviase a su hijo a una escuela dirigida por el Reverendo J. C. Coryton. En esa escuela, Davy mostró su precocidad intelectual y su capacidad para leer rápidamente, y comprender libros sobre distintos temas a la vez que componer baladas y escribir poemas. En esa época, se familiarizó con el funcionamiento de una pila galvánica y de la “botella de Leiden”. En 1793, viajó a Truro donde completó su formación bajo la

dirección del Reverendo Dr. Cornelius Cardew. Al año siguiente falleció su padre y John Tonkin consiguió que comenzara a trabajar como aprendiz en la farmacia de John Bingham Borlase, farmacéutico y médico que con el tiempo llegó a ser uno de los profesionales más prestigiosos de Penzance. En la farmacia de Borlase, Davy se interesó por la Química y comenzó a utilizar una boharedilla de la casa de Tonkin para sus experimentos. Los amigos decían que era “incurrible” y que, algún día, iba a volar por el aire debido a sus ensayos explosivos.

Trabajando en la farmacia, Davy conoció a Davies Giddy, quien luego cambiaría el apellido Giddy por el de su esposa, Gilbert. Davies, quien desde 1791 era miembro de la Royal Society,

quedó impresionado por la inteligencia y la capacidad de Davy y le ofreció la posibilidad de usar su biblioteca. Para esa época, Gregory Watt, el hijo del mejorador de la máquina de vapor visitó Penzance por razones de salud y se alojó en la casa de Davy donde trabó amistad con Humphry, ofreciendo darle clases de Química. También en esa época visitó Penzance Thomas Wedgwood, cuya familia poseía una de las fábricas de porcelana más importantes de Inglaterra, con los que Davy trabó amistad. Davies le presentó al Dr. Edwards, quien le permitió a Davy usar su laboratorio de Química. Trabajando con Edwards, Davy se interesó por la corrosión de las esclusas del puerto de Hayle, que se deterioraban rápidamente por el contacto del cobre con el hierro en el agua de mar. En esa época, este tipo de fenómeno galvánico no tenía una explicación científica, pero de alguna manera influyó para que, posteriormente, Davy hiciera experimentos para cubrir con cobre a las superficies de los barcos expuestas al agua.

En 1797, Davy se interesó en los trabajos de Lavoisier y repitió algunos de sus experimentos a la vez que desarrolló otros de su propia inventiva. Como resultado escribió *Young man's Researches on Heat and Light*.

En 1798, el Dr. Thomas Beddoes (1760 – 1808), quien fuera profesor de Química en Oxford, y el geólogo John Hailstone (1759 – 1847), visitaron Cornwall para examinar la conformación geológica de su costa ya que sostenían hipótesis diferentes acerca de la formación de las rocas. Allí se encontraron con Davies Gilbert quien les presentó a Humphry Davy. En esa época, Beddoes estaba a cargo de la organización de la Pneumatic Medical Institution, un centro de estudios situado en Bristol que se dedicaría a investigar los tratamientos más adecuados para las enfermedades causadas por la inhalación de diferentes gases. Beddoes necesitaba un asistente para hacerse cargo del laboratorio de la institución y Gilbert le recomendó a Davy a la vez que Gregory Watt le entregó el manuscrito de *Young man's Researches on Heat and Light*, que luego sería publicado por Beddoes en el primer volumen de su obra *West-Country Contributions*.

El 2 de octubre de 1798, Davy comenzó a trabajar en la Pneumatic Institution donde se dedicó a analizar la composición de los óxidos de nitrógeno. Razonando acerca del fenómeno de la respiración se fue convenciendo de los errores de la teoría de Lavoisier. El 22 de febrero de 1799, en una carta a Davies Gilbert escribió “Ahora estoy tan convencido de la inexistencia del calórico como de la inexistencia de la luz”. El 10 de abril de ese año, en otra carta a Davies le expresó: “Ayer descubrí cuan necesario es repetir los experimentos. El óxido de azote gaseoso ( $N_2O$ , gas hilarante) es perfectamente respirable cuando es puro. Nunca es nocivo salvo cuando contiene gas nitroso (NO). En uno de sus experimentos aspiró dieciséis cuartos (1 cuarto =  $\frac{1}{4}$  de galón =  $0,946 \text{ dm}^3$ ) y no se intoxicó en absoluto. Ese año publicó “*Researches, Chemical and Philosophical, chiefly concerning Nitrous Oxide and its Respiration.*” Años más tarde, Davy se lamentaría de haber publicado esas hipótesis inmaduras a las que consideraría como “los sueños de un genio mal empleado al que la luz del experimento y la observación nunca lo condujeron a la verdad”<sup>400</sup>. Sin embargo, el libro describía tantos experimentos novedosos que tuvo una buena acogida entre los científicos de la época.

En 1799, el Conde Rumford propuso crear en Londres una “institución para difundir el conocimiento”, la “Royal Institution of Great Britain”. George Finch, el 8º Conde de Winchilsea fue su primer Presidente, el Conde Rumford su primer Secretario y el Dr. Thomas Garnett (1766 – 1802) su primer “Lecturer”. En 1801, El Dr. Garnett enfermó gravemente y tuvo que renunciar. Rumford propuso, y logró, que la Royal Institution nombrase a Davy “Assistant Lecturer in Chemistry” y director del laboratorio químico.

---

<sup>400</sup> “Davy, Sir Humphry (1778 –1829), natural philosopher,” by Robert Hunt, *Dictionary of National Biography*, (1888)

### 12 – 3. Davy y la electroquímica

Ya en el año 1800 Davy le había informado a Gilbert que, mientras analizaba los efectos de los óxidos de nitrógeno, en sus ratos de ocio había repetido varios experimentos galvánicos con éxito. Davy fue un pionero en el campo de la electrólisis al usar una pila galvánica para descomponer compuestos comunes y obtener así nuevos elementos.

El 20 de noviembre de 1806, leyó ante la Royal Society su trabajo “*On some chemical Agencies of Electricity*,”<sup>401</sup> considerado el mejor trabajo de su producción. Ya se había demostrado que cuando dos alambres de platino, unidos a los bornes de una pila galvánica, se sumergen cada uno en un recipiente con agua y ambos recipientes se contactan mediante un trozo de asbesto humedecido, se forma un ácido alrededor del alambre que actúa como electrodo positivo y un álcali alrededor del alambre que actúa como electrodo negativo. Algunos decían que el álcali era soda cáustica otros, que era amoníaco. En cuanto al ácido, algunos decían que era ácido nítrico mientras que otros afirmaban que era clorhídrico e inclusive, ácido oximuriático. Mediante experimentos concluyentes, Davy demostró que, en todos los casos, el ácido y el álcali derivan de la sal contenida en el agua o en el recipiente en que se encuentra la solución. La sal más común que se descompone es el cloruro de sodio, debido a que existe en el agua y en el ágata, basalto, y otros materiales que forman el recipiente. Cuando el mismo recipiente de ágata se usa en sucesivos experimentos, las cantidades de ácido y de álcali formados disminuyen y al final, sus concentraciones no son apreciables. Cuando Davy usaba recipientes de vidrio se liberaba hidróxido de sodio y el vidrio quedaba sensiblemente corroído. Si sumergía los alambres en agua destilada y los recipientes no contenían siquiera trazas de materiales salinos, no se formaba ni ácido ni álcali y sólo se liberaba hidrógeno en el electrodo positivo y oxígeno en el negativo.

Cuando Davy disolvía nitrato de calcio en el recipiente en que sumergía el electrodo positivo y agua destilada en el que colocaba el electrodo negativo y entre ambos recipientes colocaba un tercero conteniendo una solución de ácido sulfúrico, al conectar los tres recipientes mediante tiras de asbesto húmedas se formaba sulfato de calcio en el recipiente intermedio y casi nada de hidróxido de calcio en el recipiente que contenía al electrodo negativo.

Davy continuó con sus trabajos y en noviembre de 1807 dio otra conferencia en la Royal Society titulada “*On some new phenomena of chemical changes produced by electricity, particularly the decomposition of the fixed alkalies, and the exhibition of the new substances which constitute their bases; and on the general nature of alkaline bodies*”<sup>402</sup>. En este trabajo describió una serie de experimentos que lo llevaron a formular conclusiones importantes: que toda sustancia que tiene afinidad química por otra tiene un estado particular de electricidad y que el grado de afinidad entre dos sustancias es proporcional a la intensidad de esos estados opuestos. Cuando una sustancia compuesta resultante de la afinidad de otras dos se pone en contacto con los polos de una batería galvánica, el polo positivo atrae al constituyente de la sustancia compuesta que tiene un estado de electricidad negativo y repele al otro constituyente. El polo negativo actúa de manera inversa, atrayendo al constituyente positivo y repeliendo al negativo. Cuanto mayor es la potencia de la batería, mayores son las fuerzas de esas atracciones y repulsiones. Por lo tanto, incrementando suficientemente la energía que suministra la batería podría descomponerse cualquier sustancia compuesta. Davy concluyó que el oxígeno, el cloro, el bromo, el yodo, el cianógeno y los ácidos son cuerpos “negativos”, debido a que siempre se forman en el entorno del polo positivo, mientras que el hidrógeno, el azote, el carbono, el selenio, los metales, los álcalis, las “tierras” y los óxidos básicos se depositan alrededor del polo negativo y, por lo tanto, son cuerpos “positivos”.

<sup>401</sup> *Phil. Trans.* 1807, 1, pp. 1 – 56.

<sup>402</sup> *Phil. Trans.* 1808. 1 *et seq.* Reimpreso en “*Alembic Club Reprint*” N° 6.

De acuerdo con la opinión de Davy, la afinidad química es un mero caso de atracciones ejercidas por cuerpos en diferentes estados de electricidad y fue más allá de sus resultados experimentales al concluir que las atracciones que existen entre los *átomos* de las diferentes sustancias son meramente consecuencia de esos diferentes estados de electricidad.

Davy supuso que la electricidad consiste en dos fluidos distintos que se atraen con una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Si las partículas de cada fluido repelen a las otras con una fuerza que varía según esa ley, entonces los átomos de cada sustancia deben estar cubiertos externamente con una capa de alguno de esos fluidos eléctricos y que esa cobertura debería tener mayor o menor extensión según la sustancia considerada. El oxígeno y otras sustancias que favorecen la combustión tendrían sus átomos recubiertos de una capa de electricidad negativa, mientras que el hidrógeno, el carbono y los metales tendrían átomos recubiertos con electricidad positiva. No hizo referencia alguna de cuál es la causa de la adherencia de la electricidad a los átomos ni por qué esa cantidad de electricidad no es proporcional a la cantidad de materia sino a la superficie, pero afirmó que esa adherencia es fuerte.

La teoría de Davy sobre la afinidad eléctrica, si bien era bastante imperfecta, fue adoptada por los químicos de la época y modificada bastante debido a los trabajos de Berzelius.

Provisto de una máquina galvánica suficientemente potente, formada por 250 placas de cinc y de cobre de 24 pulgadas cuadradas de superficie, Davy se abocó a la descomposición de la potasa y de la soda, sustancias que si bien se admitía que son compuestas, todos los intentos para descomponerlas habían fracasado. Su intento fue exitoso. Al polo negativo de una batería potente le conectó un alambre de platino que hacía contacto sobre un terrón de potasa ligeramente húmedo. La potasa reposaba sobre una bandeja de platino conectada al polo positivo de la batería. Al accionar el dispositivo a pleno, la potasa comenzó a fundir en la zona de contacto con el platino, se produjo una efervescencia violenta en la superficie superior y en la inferior se formaron pequeños glóbulos de un brillo metálico intenso que parecía similar al del mercurio. Algunos de esos glóbulos ardían con explosión, produciendo una llama brillante mientras que otros no ardían pero perdían su brillo quedando recubiertos por una capa superficial de color blanco. Davy concluyó que esos glóbulos estaban formados por un metal al que le dio el nombre de *potassium*. A partir de este resultado comprobó que la potasa es un compuesto formado por cinco partes en peso del metal y una parte de oxígeno. De este modo confirmó que la potasa es un óxido metálico, algo que estaba en duda desde la época de Lavoisier. Pocos días después comprobó que la soda es un compuesto de otro metal blanquecino al que bautizó *sodium*, que la cal viva es un compuesto de *calcium* y oxígeno, que la magnesia está formada por *magnesium* y oxígeno, que la barita está formada por *barium* y oxígeno, que la estronciana está compuesta por *strontium* y oxígeno. En resumen, los “álcalis fijos” y las “tierras alcalinas” son óxidos metálicos. Cuando en 1817, el químico sueco Johann Arfvedson (1792 – 1841) descubrió la “lithia”, Davy tuvo éxito en descomponerla mediante una batería, resolviéndola en oxígeno y un metal blanquecino al que bautizó *lithium*. En cambio, no pudo descomponer la glucina (BeO) descubierta por Louis Nicolas Vauquelin en 1797, ni la yttria (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), descubierta por Johann Gadolin en 1794, ni la zirconia (ZrO<sub>2</sub>) descubierta por Martin Heinrich Klaproth en 1789, lo que sí lograría Berzelius en 1824. Tampoco pudo descomponer la alúmina. Estas sustancias no eran lo suficientemente buenas conductoras de la electricidad como para poder ser descompuestas por la batería de Davy, pero ningún químico de la época, que conociera el tema, podía dudar que eran óxidos metálicos. Años más tarde estos óxidos fueron descompuestos mediante la acción conjunta de cloro y potasio, obteniéndose los respectivos metales.

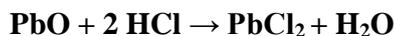
De esta manera, los trabajos de Davy lograron que las bases que antes se distinguían en cuatro clases, álcalis, tierras alcalinas, tierras propiamente dichas y óxidos metálicos, comenzaran a ser consideradas como integrantes de una sola clase ya que eran todos óxidos metálicos.

## 12 – 4. El descubrimiento del cloro

El cloro fue descubierto en 1774 por el químico sueco Carl Wilhelm Scheele calentando pirolusita ( $\text{MnO}_2$ ) con ácido clorhídrico.



Scheele bautizó al gas formado como “ácido marino deflogisticado” pero no lo consideró un elemento. Claude Louis Berthollet<sup>403</sup> repitió y mejoró los experimentos de Scheele y de ellos concluyó que el ácido clorhídrico se combinaba con el oxígeno del dióxido de manganeso formando un ácido oxigenado, de allí el nombre de *ácido oximuriático* impuesto al cloro. La opinión de Berthollet fue aceptada por los químicos de la época. Joseph – Louis Gay Lussac (1778 – 1850) y Louis Jacques Thenard (1777 – 1857) intentaron vanamente descomponer el ácido oximuriático resolverlo en ácido muriático y oxígeno. Sus conclusiones fueron que “no hay una evidencia directa que pueda inducir probar que el oxígeno es uno de sus constituyentes”. De sus experimentos postularon que el ácido clorhídrico contenía agua como constituyente esencial. Para determinar el porcentaje de agua contenido, lo hicieron pasar sobre litargirio caliente, observando que se formaba una sal y agua. En rigor la reacción que ocurría era:



Estos resultados experimentales, presentados por Gay Lussac y Thenard a la Academia de Ciencias el 27 de febrero de 1809, motivaron que Davy volviese a investigar las propiedades del cloruro de hidrógeno. Ya en 1808 había observado que al tratar potasio con cloruro de hidrógeno gaseoso se forma cloruro de potasio desprendiéndose una cantidad importante de hidrógeno, alrededor de un tercio del volumen del cloruro de hidrógeno empleado. También demostró que no puede obtenerse cloruro de hidrógeno a partir de cloro a menos que haya presente agua. Esta última conclusión fue corroborada por Gay Lussac y Thenard en 1810. Ese año, Davy fue incorporado como “Fellow” de la Royal Society y en julio de ese año presentó allí un trabajo probando que el llamado “ácido oxi-muriático” es una sustancia simple a la que bautizó con el nombre de “cloro” y que el ácido muriático es un compuesto formado por cloro e hidrógeno.

La conclusión de Davy implicaba una contradicción con la teoría química vigente de magnitud tan importante como fue la introducida por Lavoisier respecto de la acción del oxígeno en los procesos de combustión y calcinación. Davy refutaba la hipótesis de que el oxígeno es el principio acidificante a la vez que contradecía todas las opiniones vigentes acerca de que los cloruros eran compuestos oxigenados. Los llamados “muriatos” eran combinaciones de cloro con un combustible o un metal y tenían un comportamiento análogo a los óxidos. De esta manera daba una interpretación diferente a la reacción estudiada por Gay Lussac y Thenard: “cuando el ácido muriático gaseoso reacciona con el litargirio en caliente, se produce una doble descomposición, el cloro se une al plomo y el hidrógeno del ácido muriático se une al oxígeno del litargirio formando agua, siendo esto la verdadera causa de la formación del agua”.

No era fácil que los químicos aceptasen cambio en el paradigma vigente, pero la controversia que originó no fue tan encendida como durante la llamada “Revolución Química”. Los químicos franceses no opusieron demasiada resistencia a admitir la nueva teoría que, de alguna manera, disminuía el prestigio de dos de sus representantes más eminentes, Lavoisier y Berthollet. Este último no participó de la controversia. Gay-Lussac y Thenard, en su *Recherches physico-chimiques* publicado en 1811, manifestaron sus razones para preferir la vieja hipótesis. Sin embargo, a menos de un año de esa publicación, ambos aceptaron la opinión de Davy, de que el cloro es una sustancia simple y que el “ácido muriático” es un compuesto de hidrógeno y cloro.

<sup>403</sup> *Mémoires de l'Académie Royal* 1785, pp. 276 – 295.

Los que sí se opusieron a la teoría de Davy fueron el Dr. John Murray, Profesor de la Universidad de Edimburgo y Jöns Jacob Berzelius. El Dr. Murray fue un excelente químico que se había especializado en análisis de aguas minerales. Publicó diversas críticas a la teoría de Davy en el *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts* dirigido por William Nicholson. La polémica fue contestada por el hermano de Humphry Davy. John Davy, quien demostró que los compuestos de flúor tenían propiedades químicas similares a los homólogos de cloro y su descubrimiento del fosgeno y del ácido clorocarbónico y sus propiedades inclinaron la balanza de la polémica a su favor.

Berzelius apoyó la vieja teoría del ácido oximuriático en un trabajo que publicó en los *Annals of Philosophy*. El posterior descubrimiento del yodo y la analogía de los compuestos de yodo con los de cloro lograron que los químicos se sintieran satisfechos con la teoría de Davy. Durante algunos años, Berzelius siguió negando que el cloro fuese una sustancia simple pero en 1820 terminó por aceptarlo convirtiéndose en un defensor de la teoría de Davy. Esta se vio ratificada en 1826 cuando el químico, Antoine-Jérôme Balard, (1802 – 1876) encontró sales de bromo en las cenizas de las algas marinas de Montpellier<sup>404</sup>. A partir de esas sales pudo obtener bromo y con ese resultado se ratificó la teoría de Davy.

1812 fue un año muy particular en la vida de Davy. Ese año fue ordenado Caballero del Imperio Británico, se casó con una viuda elegante y rica, Jane Apreece, publicó su primer tomo, y único, de su *Elements of Chemical Philosophy*. Tuvo también varios accidentes que le produjeron daños físicos. Ya en 1801 se había intoxicado con N<sub>2</sub>O contaminado con NO que con el agua le formó HNO<sub>2</sub> en los pulmones. En 1812, una proyección de tricloramina salpicó sus ojos lo que le afectó la visión. Ese mismo año, perdió dos dedos y un ojo en dos explosiones que ocurrieron en su laboratorio. A partir de entonces, fue secundado continuamente por Michael Faraday.

En abril de 1813 comenzó a estudiar las propiedades y reacciones de los compuestos de flúor y, aunque no pudo aislarlo, pudo demostrar que el flúor es un elemento. Recién en 1886 Henri Moissan (1852 – 1907) logró aislarlo por electrólisis de fluoruro de potasio en una solución de fluorhídrico. En octubre de 1813, Davy viajó a Francia acompañado por su esposa y Michael Faraday, que era su asistente y su valet. Allí recibió una medalla y 3000 francos con la que Napoleón Bonaparte lo premió por sus trabajos sobre electroquímica. Estando en París, fue nombrado Miembro del Institut de France. Gay-Lussac le pidió que investigue una misteriosa sustancia que en 1811 había aislado el químico francés Bernard Courtois (1777 – 1838). Courtois —que en 1802 había aislado el primer alcaloide del opio: la morfina— al agregar un poco de ácido sulfúrico a las cenizas de las algas marinas observó que se producían vapores de color violáceo. Al sublimar, los vapores producían un sólido de brillo casi metálico. Usando un pequeño laboratorio portátil que llevaba consigo, Davy preparó diversos compuestos de yodo y comprobó que esa sustancia tenía un comportamiento similar al del cloro, por lo que consideró que era una sustancia simple y a la que bautizó con el nombre de *iodine*.

En diciembre de 1813, se trasladaron a Italia. Estando en Florencia Davy, realizó varios experimentos con la ayuda de Faraday. Entre ellos el de quemar un diamante con una lente para determinar que es una sustancia formada exclusivamente por carbono. De Florencia se trasladaron a Roma y en junio de 1814 se encontraron en Milán con Alessandro Volta, luego de lo cual retornaron a Inglaterra. En 1815, se dedicó a desarrollar una lámpara para iluminar los túneles y excavaciones mineras que ofreciera seguridad ya que en los años anteriores se habían producido explosiones debido al gas grisú y al metano, gases abundantes en las minas. A Davy se le ocurrió revestir la lámpara con una malla cilíndrica de hierro que previniera que la llama salga fuera de la lámpara. Si bien la lámpara de seguridad había sido inventada en 1813 por el ingeniero irlandés William Reid Clanny (1770 – 1850), la lámpara de Davy lo hizo acreedor a un premio de 2000£ y a la medalla Rumford otorgado por la Royal Society. Para la misma época, el ingeniero George Stephenson (1781 – 1848)

---

<sup>404</sup> El bromo también había sido descubierto el año anterior por el Dr. Carl Jacob Löwig (1803 – 1890) de la Universidad de Heidelberg, por lo que se lo considera también el descubridor de ese elemento.

presentó ante la Royal Society una lámpara basada en el mismo principio, pero que en vez de tener una malla metálica, estaba encerrada en un cilindro de vidrio que tenía pequeños agujeros para la entrada de aire. Davy siempre creyó que Stephenson le había robado la idea, lo cual no era cierto. La lámpara de Davy, y las modificaciones que se hicieron a partir de ella, se usaron en las minas del sur de Gran Bretaña, mientras que la de Stephenson se popularizó en las minas del norte del reino.

Como consecuencia de sus trabajos demostrando que había ácidos que carecían de oxígeno, en 1815 Davy propuso una modificación sustancial a la teoría ácido – base de Lavoisier. Sugirió que los ácidos son sustancias que contienen hidrógeno reemplazable, es decir, hidrógeno que puede ser reemplazado total o parcialmente por metales. Cuando los ácidos reaccionan con metales, liberan su hidrógeno como gas y forman sales. En cambio, las bases son sustancias que cuando reaccionan con ácidos forman sales y agua. Estas definiciones fueron aceptadas, casi sin modificaciones, a lo largo del siglo XIX.

En enero de 1819, Davy fue nombrado “Baronet” un título nobiliario intermedio entre Barón y Caballero, en esa época el honor más alto concedido jamás a un hombre de ciencia en Gran Bretaña<sup>405</sup>. Al año siguiente fue electo Presidente de la Royal Society cargo al cual renunció en 1827 debido a su estado de salud. Viajó a Italia para vivir en un clima más templado que en Inglaterra, pero en 1829, estando en Génova enfermó gravemente y el 29 de mayo falleció.

## 12 – 5. Las contribuciones de Gay – Lussac y Thenard a la electroquímica.

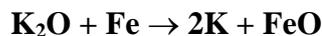
La difusión de los trabajos sobre electroquímica que Davy presentara ante la Royal Society y que fueron publicados en 1807 y 1808, concitó la atención de muchos investigadores en esta especialidad. La posibilidad, teórica, de que mediante una batería lo suficientemente poderosa podría resolverse cualquier sustancia compuesta y, de este modo obtener nuevos materiales, despertó el interés de Napoleón Bonaparte, a la sazón, Emperador de Francia. En 1808, Bonaparte consignó una suma muy importante de dinero para Jean-Girard Lacuée, Conde de Cessac (1752 - 1841), que era el Gobernador de la École Polytechnique, para construir una batería galvánica de gran potencia, a la vez que Gay – Lussac y Thenard fueron designados para hacer los experimentos con esa batería. Estos químicos diseñaron un proyecto que incluía una enorme cantidad de experimentos electroquímicos. Los resultados de ese proyecto, fueron publicados en 1811 en dos volúmenes bajo el título "*Recherches Physico-chimiques, faites sur la Pile; sur la Preparation chimique et les Proprietes du Potassium et du Sodium; sur la Decomposition de l'Acide boracique; sur les Acides fluorique, muriatique, et muriatique oxygene; sur l'Action chimique de la Lumiere; sur l'Analyse vegetale et animale, &c*" cuyos contenidos contribuyeron enormemente al desarrollo de la Química.

La primera parte de las *Recherches* contiene un estudio muy minucioso e interesante de la batería galvánica y de qué circunstancias depende su energía. En la puesta a punto del dispositivo calcularon el gasto energético de su funcionamiento.

La segunda parte está dedicada a los experimentos para obtener potasio y sodio. Davy había obtenido solamente cantidades minúsculas de potasio por la acción de su batería galvánica sobre la potasa. Gay-Lussac y Thenard idearon un método que permitía descomponer potasa en cantidades importantes. El método consistía en colocar virutas de hierro limpias en un cañón de fusil doblado, cubierto externamente con arcilla y colocado en un horno. A un extremo del cañón de fusil se le ajustaba un tubo conteniendo una cantidad de potasa cáustica. Ese tubo, bien sellado, se sumergía

<sup>405</sup> En 1892, la Corona Británica le concedería el título de Barón a William Thomson (luego Lord Kelvin of Largs) pero no por su contribución a la Física o a la Termodinámica sino por su contribución al establecimiento de un cable telegráfico que unió London con New York.

bajo la superficie de mercurio. El otro extremo del cañón de fusil tenía ajustado otro tubo que también se sumergía en mercurio. Mediante el horno se elevaba la temperatura del cañón hasta el rojo blanco. La potasa entonces fundía y goteaba lentamente sobre las virutas de hierro. A una temperatura muy elevada se producía las reacciones:



El potasio, volátil, se recogía en el otro extremo del cañón y se extraía una vez que el sistema se enfriaba.

Mediante un procedimiento análogo, Gay-Lussac y Thenard obtuvieron cantidades apreciables de sodio, lo que les permitió estudiar sus propiedades físicas y químicas con más detalle con que lo había hecho Davy. Determinaron las densidades de ambos metales con gran precisión, su acción sobre el agua y midieron la relación entre las masas de los metales y las del hidrógeno desprendido. Descubrieron también que, calentando estos metales en oxígeno de alta pureza, son capaces de unirse a cantidades adicionales de oxígeno, formando los peróxidos de potasio ( $\text{K}_2\text{O}_2$ ) y de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}_2$ ). Estos peróxidos, de color amarillento, al sumergirlos en agua, liberan oxígeno regenerando los respectivos óxidos. Expusieron una gran variedad de sustancias a la acción del potasio, descubriendo un gran número de reacciones curiosas e importantes, que arrojaron luz sobre las características y reactividad de esas sustancias metálicas. Calentando, en un tubo de cobre, potasio con ácido bórico anhidro lograron descomponer el ácido y demostrar que en su descomposición cede su oxígeno quedando un material de color negro, como el carbón de leña, al que dieron el nombre de *boro*. No pudieron determinar con exactitud las proporciones de los componentes del ácido bórico, pero los experimentos posteriores de Davy, lograron resultados más precisos.

Sus experimentos con el ácido fluorhídrico son sumamente valiosos. Obtuvieron ese ácido en estado de alta pureza y pudieron determinar sus propiedades físicas y su reactividad frente a varias sustancias. Sus tentativas de descomponerlo, así como las de Davy, terminaron en el fracaso. Sin embargo, a raíz del descubrimiento que el ácido fluorhídrico permite obtener ácido fluorbórico ( $\text{HBF}_4$ ), André-Marie Ampère sugirió que, por su reactividad química similar al del ácido clorhídrico, ese ácido debía ser un compuesto de hidrógeno y un soporte desconocido de la combustión, al que le dieron el nombre de *flúor*. Esta opinión también fue adoptada por Davy, aunque sus experimentos no lo podían probar con certeza. Las investigaciones posteriores sobre la reactividad del ácido fluorhídrico que hizo Berzelius hicieron que la comunidad química aceptara la teoría de que el ácido fluorhídrico es un hidrácido de naturaleza y reactividad similar a los otros hidrácidos halogenados. Recién en 1886, Henri Moissan obtuvo el flúor en estado de alta pureza, confirmando así todas las características predichas por Gay-Lussac, Thenard, Davy y Berzelius.

Además de los numerosos descubrimientos descriptos en el *Reserches Physico-chimiques*, Gay-Lussac es el autor de dos trabajos de tanta importancia que no deben omitirse. Demostró que los cianógenos son componentes del azul de Prusia y del ácido prúsico y tuvo éxito en la determinación de la composición del cianógeno  $(\text{CN})_2$ . Determinó la composición y fórmula del ácido prúsico (HCN) del ácido sulfocianico (HCNO), del ácido clorocianico (HCNCl). Años después, Wöhler descubriría el ácido el ácido cianico (HCNO) y lo sintetizaría tratando de demostrar que no se requiere “fuerza vital” para producir un compuesto orgánico.

El otro trabajo importante de Gay-Lussac describe la naturaleza peculiar del yodo, las características de los ácidos yódico y yodhídrico, y de una gran variedad de compuestos en los cuales el yodo es componente.

A Thenard se debe, entre otros, el descubrimiento del agua oxigenada, ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), en el que el hidrógeno es capaz de combinarse con el doble de oxígeno que el que existe en agua, y de determinar las características de este líquido curioso que él llamó deutóxido del hidrógeno. Encontró que posee características oxidantes y que es un excelente blanqueador.

## 12 – 6. Jöns Jacob Berzelius

Berzelius nació en Wäfnersunda, Suecia el 20 de agosto de 1779. Su padre fue director de una escuela en el pueblo vecino de Linköping. En la escuela media, Berzelius no parecía prometer mucho ya que en su certificado de egreso consta “sólo justifica dudosas esperanzas” y sus examinadores en la Universidad de Upsala, donde estudió Medicina, no destacaron de él habilidades en la Química. Sin embargo, en 1802 se destacó por la publicación de varias investigaciones químicas por lo que fue nombrado Profesor Asistente de Química y Farmacia en la Escuela Médica de Estocolmo, un cargo que fue creado especialmente para él. Cinco años más tarde fue nombrado Profesor Titular, cargo que retuvo durante un cuarto de siglo. En 1818, el Rey Karl de Suecia lo nombró miembro de la nobleza y en 1835, en ocasión de su boda, fue nombrado Barón.



Figura 12.2. J.J. Berzelius

En Estocolmo, el laboratorio privado de Berzelius se convirtió en la meta de muchos químicos jóvenes cuya ambición máxima era trabajar con el gran maestro. Entre ellos estuvo Friedrich Wöhler quien posteriormente sintetizaría la urea a partir de cianato de amonio.

Como químico experimental, Berzelius es comparable a Scheele. No obstante su trabajo siguió una línea diferente ya que estuvo principalmente dedicado al desarrollo de esquemas comprensivos y precisos del análisis cualitativo y cuantitativo. Habiendo establecido esos esquemas, los empleó para probar que las leyes de la combinación química eran correctas y para determinar las masas atómicas relativas de varios elementos. Los resultados que obtuvo son en muchos casos sorprendentes por su similitud con los que se aceptan actualmente y ofrecen una muestra de sus habilidades experimentales.

Los trabajos de Berzelius fueron los que más contribuyeron a la adopción de la Teoría Atómica propuesta por Dalton y a la aceptación del sistema de notación química que se emplea actualmente.

## 12 – 7. La teoría dualista de la materia

Berzelius adoptó el “dualismo” como la base para el entendimiento del comportamiento químico de las sustancias. Ya antes de su tiempo, muchos compuestos habían sido considerados como consistentes de dos porciones. El desarrollo de la electroquímica debido, en gran parte, a los trabajos de Davy, Gay-Lussac, Thenard y el mismo Berzelius, logró un mayor consenso en la hipótesis “dualista” de Berzelius y ese es, quizás, el gran mérito de quien la propuso y fundamentó.

Para Berzelius, las sustancias compuestas se forman mediante una disposición de los átomos de lado a lado.<sup>406</sup> Los compuestos de primer orden se forman de esta manera a partir de las partículas más pequeñas de los elementos; a su vez, estos compuestos dan lugar a la formación de compuestos de segundo orden; y así sucesivamente. Berzelius, al igual que sus precursores, buscaba la razón de la combinación de los átomos en la afinidad, pero al igual que para Davy, la formación de un compuesto era una consecuencia de las características eléctricas de las partículas más pequeñas. Si bien Davy desarrolló ideas ingeniosas sobre el modo en que se correlacionan los fenómenos químicos y eléctricos y pudo explicar un gran número de hechos de manera excelente, no llegó a producir una teoría que sirviera de fundamento para un sistema químico. Berzelius fue el primero para hacer esto. Él tomó como tarea principal, establecer en Química un sistema uniforme que pudiera ser aplicable a todos los hechos conocidos y lo logró.

Según Berzelius, la electricidad no se genera cuando dos sustancias se ponen en contacto, sino que es una característica de la materia; y en cada átomo se suponen, dos polos eléctricos opuestos<sup>407</sup>. Sin embargo, estos polos no contienen cantidades iguales de electricidad. En consecuencia, los átomos tienen una polaridad neta, son unipolares: la electricidad de uno de los polos predomina sobre la del otro; y así cada átomo (y por lo tanto cada elemento) parece tener carga eléctrica positiva o negativa. Sobre esta base, es posible ordenar las sustancias elementales en una serie, de modo que cada miembro sea siempre más electronegativo que el que le sigue en la serie. El oxígeno se encuentra en la cima, y — según Berzelius — es absolutamente electronegativo, mientras que las otras sustancias son positivas o negativas de acuerdo a cómo se las compare con el que le precede en la serie o el que le sigue. Esta serie no constituye una tabla de afinidades en el sentido de la tabla de Geoffroy-Bergmann; y no expresa la afinidad de las sustancias individuales para el oxígeno. Berzelius no se había olvidado de la enseñanza de Berthollet, de que la afinidad no es un carácter constante e independiente de las condiciones físicas y sabía perfectamente que el oxígeno se puede remover de los óxidos metálicos mediante el carbón o el azufre, o sea, por otras sustancias electro-negativas. Para él, la afinidad dependía principalmente de la intensidad de la polaridad, es decir, de la cantidad de electricidad contenida en los dos polos. Pero esta intensidad es variable, especialmente ante los cambios de la temperatura. En general, Berzelius consideraba que esa afinidad aumenta con la temperatura, lo que explicaba por qué ciertas combinaciones ocurren solamente a una temperatura alta<sup>408</sup>.

Durante la combinación de dos elementos, los átomos se disponen de manera de enfrentar sus polos opuestos, y descargan mutuamente sus electricidades libres, por lo que se producen los fenómenos del calor y de la luz. Además, Berzelius sostuvo que el movimiento de las partículas últimas sólo es posible si las sustancias están en estado líquido. En este aspecto coincidía con la vieja doctrina química que explicaba lo mismo mediante la frase “*Corpora non agunt nisi soluta*” (las sustancias no obran recíprocamente a menos que estén disueltas).

Cuando una sustancia es expuesta a la acción de una corriente eléctrica, esta restaura a los átomos su polaridad original, por lo que la sustancia se resuelve en sus componentes.

Un compuesto de primer orden —por ejemplo, la potasa— no es eléctricamente (ni tampoco químicamente) inactivo, puesto que, durante la combinación, sólo un polo de cada átomo se neutraliza. Al seguir siendo unipolar, puede entrar en otras combinaciones (de segundo orden) que están dotadas de fuerzas eléctricas —por ejemplo, combinándose con el ácido sulfúrico. Pero las intensi-

---

<sup>406</sup> **Berzelius, J.J., (1819)** : *Essai sur la theorie des proportions chimiques et sur l'influence chimique de l'electricite*, Mequignon-Marvis, Paris, p. 26. Ver también, **Berzelius, J.J., (1827)**: *Lehrbuch der Chemie*, Arnold, Dresden, Vol. 3, part I.

<sup>407</sup> **Berzelius, J.J., (1819)** : *Essai ...* p. 85.

<sup>408</sup> **Berzelius, J.J., (1827)**: *Lehrbuch der Chemie*, Arnold, Dresden, Vol. 3, part I., pp. 73-74.

dades de estas fuerzas disminuyen cuanto más alto se torna el orden de un compuesto, ya que, en general, los polos más fuertes son los que se neutralizan primero.

Según Berzelius, la unipolaridad específica de los óxidos depende solamente del radical o del elemento combinado con el oxígeno. Este último da lugar a las sustancias con mayor alcance posible electropositivo y electronegativo (los álcalis y los ácidos)<sup>409</sup>.

Todas las reacciones químicas, y los fenómenos del calor y la luz que las acompañan, según Berzelius, son producidos por la electricidad, que “parece así ser la primera causa de la actividad de todo lo que nos rodea en la Naturaleza.”<sup>410</sup>

Si una sustancia C descompone a una sustancia compuesta AB de modo que B pueda llegar a ser libre, C debe poder neutralizar una mayor cantidad de la polaridad eléctrica de A que la que puede B. Además, un intercambio mutuo entre dos sustancias AB y CD solamente ocurre si las polaridades eléctricas están más equilibradas en AC y BD que lo que estaban previamente. En reacciones de esta clase, Berzelius, como Berthollet, supuso que las cantidades de las sustancias presentes y la cohesión influyen sobre los resultados de los fenómenos, pero a diferencia de Berthollet él consideraba a la afinidad como una función de la polaridad eléctrica, y que es independiente de la capacidad de saturación de la sustancia.

Estas ideas constituyen la base de la teoría dualista de la combinación química que Berzelius estableció como sigue:<sup>411</sup>

“Cada combinación química depende enteramente y solamente de dos fuerzas opuestas: las electricidades, a saber, positivas y negativas y cada compuesto está formado por dos porciones, unidas por los efectos de sus interacciones electroquímicas, ya que no hay ninguna tercera fuerza de interacción. De esto se sigue que cada sustancia compuesta, cualquiera sea el número de sus componentes puede ser dividida en dos partes, de las cuales una es eléctricamente positiva y otra es eléctricamente negativa. Así, por ejemplo, el sulfato de la soda no se compone de azufre, de oxígeno, y de sodio, sino de ácido sulfúrico y de soda, cada una de las cuales puede, a su vez, ser dividido en un componente electropositivo y otro electronegativo. De la misma forma, el alumbre no se puede considerar compuesto inmediatamente por sus componentes elementales, sino que debe ser mirado como el producto de la reacción del sulfato de alúmina, como elemento negativo, con el sulfato de la potasa, como elemento positivo.”

El sistema dualista de Berzelius requería una nomenclatura y una notación adecuadas para no dar lugar a equívocos. El esquema de nomenclatura<sup>412</sup> fue un perfeccionamiento del introducido por Guyton, Lavoisier, Berthollet, y Fourcroy, y la notación es la base de la que se emplea actualmente.

Berzelius clasificó a las sustancias en ponderables e imponderables. En esta última clase incluyó a la electricidad, el magnetismo, el calor, y la luz. Las ponderables, a su vez, podían ser elementos (sustancias simples), compuestos, soluciones y mezclas. Entre las sustancias simples, Berzelius colocó a los metales y los “metaloides”. El término “metaloides había sido empleado por Paul Erman (1764 – 1851) en 1812 para designar a los metales alcalinos y las “tierras”<sup>413</sup>, pero Berzelius fue el primero en darle el significado de “todo elemento ponderable que no es un metal”<sup>414</sup>.

<sup>409</sup> Berzelius, J.J., (1827): *Lehrbuch* ... p. 76.

<sup>410</sup> *Ibid.* P. 77.

<sup>411</sup> Berzelius, J. J., (1825) *Lehrbuch der Chemie*, vol. I, Part I, p. 79.

<sup>412</sup> *Journ. de Phys.* **73**, 253.

<sup>413</sup> *Gilbert's Annalen der Physik*, Vol. **42**, p. 45 (1812).

<sup>414</sup> *Kungliga Svenska Vetenskaps-Academiens Handlingar*, Vol. **33**, pp. 28-74, (1812).

En el esquema de Berzelius, los compuestos del oxígeno son llamados óxidos o ácidos. A las sustancias de esta clase que no poseen ni características básicas ni ácidas, y contienen relativamente poco de elemento negativo, las llamó subóxidos. Los compuestos oxigenados básicos formadores de sales se designan como óxidos; cuando un elemento o un radical forma dos de estos óxidos, se los distingue mediante las terminaciones del nombre específico. Esto es muy fácil en la nomenclatura latina (que Berzelius propuso emplear); por ejemplo, oxidum ferrosium (con el porcentaje menor de oxígeno) y oxidum ferricum (con el porcentaje mayor de oxígeno). Finalmente, en el sistema de Berzelius también se distinguen los superóxidos. Éstos contienen una proporción relativamente grande de oxígeno, y deben ser reducidos antes de que formen las sales.

Respecto del agua, Berzelius consideró que podía intervenir en las sustancias de tres maneras distintas. Podría formar parte de un ácido, como en el ácido sulfúrico o de una base, como en el caso de los álcalis cáusticos, o podría formar parte del agua unida a las sales. En los primeros dos casos, la llamaba “agua de hidratación” mientras que en el último caso era “agua de cristalización” que podía ser separada sin modificar esencialmente la naturaleza de las sales.

El sistema de notación de Berzelius ha probado ser tan práctico que se ha conservado hasta el presente sin modificaciones sustanciales. En él, el átomo de un elemento se representa mediante la letra inicial del nombre latino del elemento y, si hay más de un elemento con la misma letra inicial se agrega una segunda para distinguirlos. En el caso de las sustancias compuestas se colocan los símbolos de cada elemento uno al lado del otro. Cuando en un compuesto hay varios átomos de un mismo elemento, su número se indica a continuación del símbolo por sobre (o debajo) de la línea de escritura, excepto cuando los átomos de un mismo elemento son 2. En este caso, la propuesta de Berzelius fue que el símbolo del elemento se tache mediante una barra<sup>415</sup>. Así, por ejemplo, para indicar lo que hoy escribimos H<sub>2</sub>, en la notación de Berzelius se debía escribir  $\text{H}$  y entonces, la fórmula del agua sería  $\text{HO}$ .

En el caso de compuestos más complicados, las diversas letras se debían separar mediante el símbolo + y la manera de disponerlos dependía del dualismo.

## 12 – 8. Pesos atómicos y fórmulas de las sustancias

Por supuesto, escribir la “fórmula” de una sustancia, especialmente si esta es compuesta implicaba conocer cuántos átomos de cada clase hay en la partícula última de esa sustancia. Por lo que Berzelius se abocó a la búsqueda de la manera de obtener esos datos a partir de resultados experimentales.

En 1808, Dalton había propuesto unas reglas totalmente arbitrarias para establecer la composición de los átomos de un “átomo compuesto”. Al respecto postuló que si sólo se conoce un compuesto formado por dos elementos, los átomos compuestos se unen uno a uno. Si se conocen 2 compuestos formados por dos elementos, en uno la relación de átomos es 1 a 1 y en el otro 1 a 2, etc.

Si bien Berzelius rechazó el postulado de Dalton por ser enteramente arbitrario y falto de base experimental, consideró que deben existir ciertas regularidades que determinan el número de áto-

---

<sup>415</sup> Berzelius, J.J. *Lehrbuch* .... 3, part I, 108.

mos que se combinan mutuamente<sup>416</sup>. Razonó que si fuera ilimitado el número de átomos de una especie que se combinan con un número ilimitado de átomos de otra, existiría un número infinito de compuestos que diferirían tan poco en su composición que aún los análisis más rigurosos no podrían establecer diferencias entre ellos.

El postulado de que los átomos son indivisibles y la teoría dualista, según la cual los átomos se disponen uno a uno según su polaridad eléctrica no eran suficientes para explicar las proporciones múltiples. Por lo que Berzelius se dedicó a tratar de aplicar otras leyes empíricas que, de algún modo, limitasen el número de átomos de cada especie que intervienen en una combinación y que, por lo tanto, limitasen el número de compuestos formados por los mismo elementos.

La primera herramienta que usó Berzelius para estimar “pesos atómicos” fue la ley de la combinación en volumen de los gases. Esta ley le permitiría decidir qué valores toman las masas atómicas relativas de los elementos con margen de error casi nulo ya que para él, en el caso de los gases de sustancias simples, átomos y volúmenes eran numéricamente iguales.”Por ejemplo, sabemos con certeza el número relativo de átomos de nitrógeno y oxígeno en los diferentes estados de oxidación del nitrógeno, los del nitrógeno y el hidrógeno en el amoníaco, los del cloro y el oxígeno en los diferentes estados de oxidación del cloro”<sup>417</sup>. Mediante estas relaciones de volúmenes puso calcular la relación de los átomos cuando otras sustancias simples al estado gaseoso se combinan para dar productos gaseosos. Razonó que si dos volúmenes de hidrógeno gaseoso se combinan con un volumen de oxígeno para dar dos volúmenes de vapor de agua, eso implica que las partículas últimas del vapor de agua consisten en dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. No pudiendo concebir como alguien pudiese extraer una conclusión diferente se embarcó en una discusión con Thomas Thomson (1773 – 1852) quien sostenía que en un volumen de hidrógeno hay la mitad de los átomos presentes en el mismo volumen de oxígeno. “Se ha postulado que el agua está formada por un átomo de oxígeno y un átomo de hidrógeno, pero dado que se forma a partir de dos volúmenes de este último y un volumen del primero, se concluye que en el caso del hidrógeno y de las sustancias inflamables en general, el volumen pesa solo la mitad en relación al átomo, mientras que en el caso del oxígeno, volumen y átomo tienen el mismo peso relativo. Como esto es una suposición arbitraria cuya certeza ni siquiera se puede poner a prueba, me parece más simple y más adecuado a la probabilidad suponer que hay la misma relación entre el peso y el volumen en los átomos de las sustancias combustibles con en el oxígeno, debido a no hay nada que nos haga suponer una diferencia entre ellos. Si el agua es considerada como compuesta por dos átomos de un radical y un átomo de oxígeno, entonces, la teoría corpuscular (atómica) y la teoría de los volúmenes coinciden de manera que sus diferencias sólo consisten en el estado de agregación en el cual las sustancias se nos presentan”<sup>418</sup>.

Si bien Berzelius aceptó la relación entre átomos y volúmenes para las sustancias simples al estado gaseoso, no la extendió al caso de las sustancias compuestas. Consideró que las partículas de esas sustancias no ocupan el mismo volumen que las de las sustancias simples. Además encontró que diversas sustancias compuestas al estado gaseoso no muestran uniformidad de volumen entre sí. Él no adoptó la diferencia entre “átomos físicos” y “átomos químicos” (moléculas) propuesta por Avogadro y Ampère, por lo que tuvo que elaborar sus hipótesis para refutar la sugerencia de Dalton de que la ley de Gay-Lussac era imprecisa, separando por completo las relaciones átomo-volumen para sustancias simples de las compuestas.

Resulta evidente que la ley de combinación en volumen de Gay Lussac, y las conclusiones que de ella extrajo Berzelius resultaban insuficientes para establecer una escala de pesos atómicos sobre la base de resultados experimentales. Aplicando esa ley sólo podía establecer los pesos atómicos

<sup>416</sup> Berzelius, J.J. Essay ... p. 28.

<sup>417</sup> Berzelius, J.J. *Lehrbuch* ..... 3, part I, 89.

<sup>418</sup> Berzelius, J.J. *Lehrbuch* ..... 3, part I, 44- 45.

relativos de un número pequeño de elementos. Esto obligó al fundador del primer sistema químico basado sobre una teoría atómica a buscar otras generalizaciones que permitiesen determinar los pesos atómicos de, al menos, la mayoría de los elementos. Por ello enunció unas reglas válidas únicamente para compuestos inorgánicos:<sup>419</sup>

I. Un átomo de un elemento se combina con 1, 2, 3, etc., átomos de otro elemento.

Berzelius no estableció un límite para la capacidad de combinación. En 1819, sugirió que un átomo de un elemento no se combina con más de 4 átomos de otro pero en 1829, desechó esa limitación.

II. Dos átomos de un elemento se combinan con 3 ó 5 átomos de otro elemento.

Esto lo condujo a una discusión acerca de si un compuesto formado por 2 átomos de un elemento A y 4 átomos de otro B, o con 6 de un tercero C, es idéntico o no al compuesto formado por 1 átomo de A con 2 de B o con 3 de C. En la edición de 1828 de su *Lehrbuch*, se inclinó por la negativa.

Aplicar estas reglas para sustancias gaseosas compuestas lo llevó a calcular erróneamente las fórmulas de varias sustancias, Por ejemplo, en 1819, estimó que la fórmula del óxido de sodio era  $\text{NaO}_2$ , y la del peróxido de sodio  $\text{NaO}_3$  y que las fórmulas para los otros óxidos son similares. Los pesos atómicos que él propuso para los metales en ese período, son dobles los que él adoptó definitivamente en 1828.

Afortunadamente, en 1819 se produjeron dos descubrimientos que le permitieron a Berzelius ampliar a 56 el número de elementos cuyos pesos atómicos podía calcular a la vez que mejorar el valor de esos pesos atómicos.

En 1819, Eilhard Mitscherlich (1794 – 1863) descubrió la llamada “Ley del isomorfismo”. Según esta ley, los compuestos que cristalizan juntos tienen estructuras y composiciones similares. Berzelius se dio cuenta que esa ley era una ayuda invaluable para la determinación de pesos cos. La utilidad que le brindaba esa ley puede ilustrarse mediante este ejemplo: Sean dos sustancias como el sulfato de potasio y el cromato de potasio que forman cristales similares del sistema ortorrómbico. Si se conocen los pesos atómicos del azufre, oxígeno y potasio y su fórmula  $\text{K}_2\text{SO}_4$  se infiere que la fórmula del cromato de potasio será  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  y, a partir de esto se puede calcular el peso atómico del cromo.

Pierre Louis Dulong y Alexis Térése Petit probaron mediante determinaciones experimentales<sup>420</sup> que los “calores atómicos” del bismuto, plomo, oro, platino, estaño, plata, cinc, telurio, cobre, níquel, hierro y cobalto tienen prácticamente el mismo valor, en unidades modernas unos 25 joules por átomogramo. Como el calor atómico viene dado por el producto del calor específico y el peso atómico expresado en gramos, y ese producto da 25 joules, se puede calcular el peso atómico del elemento en cuestión. Años más tarde Henri-Victor Regnault<sup>421</sup> mejoró los resultados de Dulong y Petit permitiendo obtener valores más precisos de pesos atómicos.

## 12 – 9. Michael Faraday

<sup>419</sup> Berzelius, J.J. *Essay* ... p. 29 – 30.

<sup>420</sup> *Ann. Chim. Phys.*, 10, 2 395. 1819.

<sup>421</sup> Regnault, H.V., *Ann. Chim. Phys.*, 73, 5-72, 1840; *Ann. Chim. Phys.* 3ª ser., 1, 129-207, 1841, etc.

Faraday nació en Newington, Butts, Surrey, en 1791, en el seno de una familia pobre. Su padre era herrero, pero no quería que su hijo también lo fuera y lo envió a trabajar como aprendiz de encuadernador. En su trabajo, Faraday leía muchos de los libros que llegaban para ser encuadernados, interesándose particularmente en los relativos a las ciencias naturales. En 1813, uno de los clientes del negocio, le regaló una entrada para asistir a una de las conferencias que Humphry Davy pronunciaba en la Royal Institution. Faraday asistió a la misma y tomó nota de la exposición de Davy. Luego redactó cuidadosamente un escrito sobre el tema y se lo envió al conferenciante conjuntamente con un pedido de empleo. Davy quedó gratamente sorprendido de la carta, lo citó y luego de conversar extensamente sobre las inquietudes del joven, lo recomendó a la Royal Institution para que lo empleasen como asistente suyo.

Las excelentes condiciones experimentales de Faraday le valieron el reconocimiento de la Royal Institution y en 1825, por recomendación del propio Davy, fue nombrado Director de Laboratorio de esa institución. En 1833, la Royal Institution creó la Cátedra Fuller de Química para Faraday quien la detentó hasta su muerte en 1867.

Si bien Faraday se sintió en deuda con Davy, llegando a oficiarle de valet en su viaje al continente europeo, la amistad se enfrió debido a que en 1825 Davy lo acusó, injustamente, de haberle plagiado un trabajo<sup>422</sup>. Esto motivó que Faraday abandonase todo trabajo sobre Química hasta el fallecimiento de Davy en 1829.

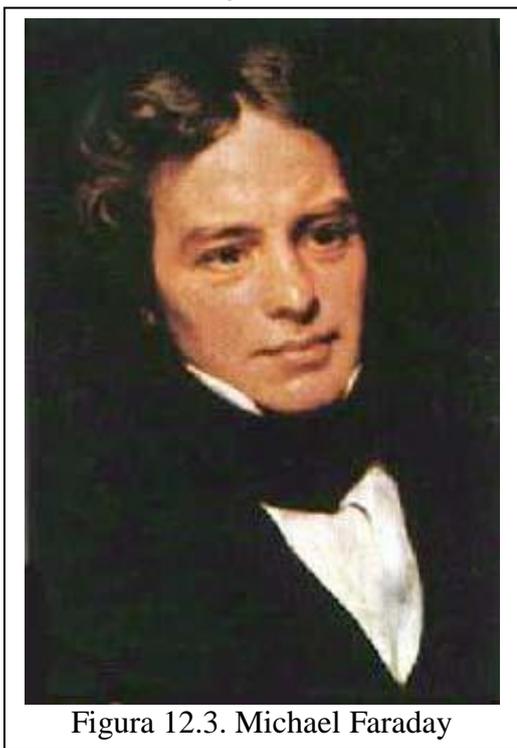


Figura 12.3. Michael Faraday

La mayoría de los trabajos de Faraday pertenecen al campo de la Física, destacándose los que condujeron al descubrimiento de la inducción electromagnética y de la capacidad inductora específica. Sus trabajos sobre estos temas y sobre la electrólisis están compilados en su obra *Experimental Researches in Electricity*, publicada en 3 volúmenes en 1839 y sus investigaciones sobre temas de la Química están reunidas en su obra *Researches in Chemistry and Physics* también publicada en 1839.

## 12 – 10. Las leyes de la electrólisis de Faraday

La circulación de una corriente eléctrica a través de una solución de electrolito o de un electrolito fundido, suele provocar distintas transformaciones en ellos. En algunos casos se deposita sobre alguno o ambos electrodos una sustancia simple que se encontraba formando parte del compuesto electrolítico, en otros casos algún elemento presente en el electrolito se libera como sustancia simple gaseosa. Hay casos en que se disuelve el electrodo. También hay casos en que se descompone el solvente.

El conjunto de las transformaciones químicas originadas por la circulación de una corriente eléctrica a través de un electrolito fundido o una solución de electrolito se llama *electrólisis*.

En 1833, Michael Faraday, al estudiar los fenómenos de electrólisis encontró una relación entre la cantidad de electricidad que circula a través de la solución de electrolito y la masa de sustancia que reacciona en los electrodos por efecto de la corriente. Sean  $w_1, w_2, \dots, w_n$  las masas que se de-

<sup>422</sup> El encono de Davy fue tan grande que siendo Presidente de la Royal Society fue el único de todos los Fellows que votó en contra de la incorporación de Faraday a la entidad.

positan, liberan, disuelven, etc., por la acción de las respectivas cargas  $q_1, q_2, \dots, q_n$ . Experimentalmente, Faraday encontró que

$$\frac{w_1}{q_1} = \frac{w_2}{q_2} = \dots = \frac{w_n}{q_n} = E_{EQ}$$

Esta ecuación constituye la expresión matemática de la llamada *Primera Ley de Faraday* cuyo enunciado es

*La masa de sustancia que sufre una transformación química por el paso de una corriente eléctrica a través de un electrolito es proporcional a la cantidad de electricidad que ha circulado.*

$E_{EQ}$  recibe el nombre de *equivalente electroquímico* del elemento que se transforma en el electrodo. Resulta evidente que el equivalente electroquímico de un elemento en un compuesto viene medido por la masa de dicho elemento que se transforma (en el electrodo) por la acción de la unidad de carga. Si bien en el Sistema Internacional se lo expresa en  $\text{kg C}^{-1}$  usualmente se lo expresa en  $\text{g C}^{-1}$ .

Posteriormente, Faraday hizo circular una corriente eléctrica a través de varias cubas conectadas en serie, conteniendo cada cuba un electrolito distinto y encontró que las masas de las distintas sustancias simples que reaccionaban en los electrodos por el paso de esa corriente eran proporcionales a sus respectivos pesos equivalentes químicos<sup>423</sup>. Es decir, si por el paso de una corriente de  $q$  coulombs en la cuba 1 reacciona una masa  $w_1$  de sustancia simple cuyo equivalente químico es  $Eq_1$ , y en la cuba 2 reacciona una masa  $w_2$  de sustancia simple cuyo equivalente químico es  $Eq_2, \dots$ , y en la cuba  $n$  reacciona una masa de sustancia simple  $w_n$  cuyo equivalente químico es  $Eq_n$  se verifica

$$\frac{w_1}{Eq_1} = \frac{w_2}{Eq_2} = \dots = \frac{w_n}{Eq_n}$$

Esta ecuación constituye la expresión matemática de la llamada *Segunda Ley de Faraday* cuyo enunciado es:

*Las cantidades de sustancias distintas que se depositan, disuelven o liberan por el paso de la misma cantidad de electricidad son proporcionales a sus respectivos pesos equivalentes químicos.*

En rigor, las dos leyes de Faraday se pueden compendiar en una sola. En efecto, si aplicamos la primera ley sucesivamente a dos elementos distintos cuando son producidos por dos cargas distintas  $q'$  y  $q''$  tendremos

$$w_{E1} = E_{EQ1} \times q' \text{ y } w_{E2} = E_{EQ2} \times q''$$

y cuando en ambas electrólisis la cantidad de electricidad es la misma  $q' = q'' = q$ , la segunda ley nos autoriza a escribir

$$w_{E1} = E_{EQ1} \times q \text{ y } w_{E2} = E_{EQ2} \times q$$

de donde

---

<sup>423</sup> El peso equivalente químico, también llamado “equivalente químico”, “masa de combinación” o “equivalente gramo” de un elemento en un compuesto es una magnitud que viene dada por la relación entre el átomo-gramo de dicho elemento y la valencia con la que actúa en el compuesto.

$$\frac{Eq_1}{E_{EQ1}} = \frac{Eq_2}{E_{EQ2}} = \text{constante}$$

El equivalente químico de un elemento en un compuesto es una constante característica de ese elemento en ese compuesto. El equivalente electroquímico de un elemento, también lo es. Por lo tanto, el cociente entre ambos es una constante que tiene el mismo valor cualquiera sea el electrolito, es decir es una constante universal. Esa constante universal se ha determinado con bastante precisión, recibe el nombre de *constante de Faraday* y se la indica con la letra  $\mathcal{F}$ . Su valor es:

$$\mathcal{F} = 96485.3365(21) \text{ C/ Eq}$$

Las unidades surgen del hecho que el equivalente químico se expresa en gramos/equivalente químico y el equivalente electroquímico se expresa en gramos/coulomb.

Para los cálculos comunes, se suele aproximar el valor de  $\mathcal{F}$  a 96500 C/Eq. En electricidad a 96500 coulomb se lo llama “faraday”.

Además de su valor práctico, las leyes de Faraday tienen un significado teórico de gran importancia. Por acción del campo eléctrico los cationes (iones con carga positiva) migran hacia el cátodo donde captan los electrones de la corriente eléctrica, mientras que los aniones (iones con carga negativa) se descargan en el ánodo. Si el proceso catódico o anódico de un equivalente gramo requiere el paso de un faraday de electricidad es razonable suponer que esta cantidad de electricidad representa la carga que lleva un equivalente gramo de cualquier ión. Si el ión tiene valencia  $z$  en un mol de iones habrá  $z$  equivalentes-gramo y, por lo tanto, su carga total será  $z \mathcal{F}$  coulomb. Como en un mol de iones hay el número de Avogadro ( $N_A$ ) iones, la carga que transporta cada ión será  $z\mathcal{F}/N_A$ .

La valencia  $z$  es un número entero: 1 para un ión monovalente, 2 para un ión divalente, 3 para un ión trivalente, etc. Esto implica que la carga que transporta cualquier ión es un múltiplo de una unidad de carga eléctrica fundamental cuyo valor es  $\mathcal{F}/N_A$ . Mediante un gran número de experimentos independientes se logró identificar esta unidad de carga eléctrica con el valor absoluto de la carga del electrón.

La determinación más precisa del número de Avogadro (en la escala de masas atómicas relativas que establece un valor 12,00000 para el  $^{12}\text{C}$ ) arroja un valor

$$N_A = 6,022\ 141\ 29(27) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Por lo tanto, el valor absoluto de la carga del electrón es

$$96485.3365/6,022\ 141\ 29 \times 10^{23} = 1,602176565 (35) \times 10^{-19} \text{ C.}$$

Entre otros logros, en 1821 Faraday descubrió el “percloruro de carbono” ( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ ), en 1825 el benceno, en 1826 el naftaleno y la preparación de oro coloidal en 1857.

Como información anecdótica, a pedido de Faraday, William Whewell ideó los nombres que se usan hoy en día en los procesos electrolíticos: ánodo, cátodo, ion, anión y catión.

**Bibliografía:**

**Hunt, R., (1888):** Davy, Sir Humphry (1778–1829), natural philosopher, *Dictionary of National Biography*, Smith, Elder & Co. London.

**Ladenburg, A., (1900):** *Lectures on the History of the Development of Chemistry Since the Time of Lavoisier*. The Alembic Club, Edinburgh.

**Lowry, T.M., (1915):** *Historical Introduction to Chemistry*, McMillan & Co. London.

**Pattison Muir, M.M., (1883):** *Heroes of Science; Chemists*, E. & J. B. Young & Co. New York.

**Pattison Muir, M.M., (1907):** *A History of Chemical Theories and Laws*, John Wiley and Sons. New York.

**Weeks, M. E., (1960):** *Discovery of the Elements*, Journal of Chemical Education, Easton, Pa.

## ***XIII. LOS COMIENZOS DE LA QUÍMICA ORGÁNICA.***

### **13 – 1. Introducción**

Durante las primeras tres décadas del siglo XIX los estudios sobre compuestos orgánicos casi no tuvieron influencia sobre el perfeccionamiento de las teorías generales de la Química. Además, las opiniones que constituyeron la base de la Química Inorgánica no parecían ser capaces de alguna aplicación importante a la rama Orgánica de esta ciencia. Al referirse a la Química Orgánica, los químicos hacían una distinción entre Química Vegetal y Química Animal. Se supuso que estas sustancias sólo se originaban a partir de sustancias obtenidas de seres vivos y que estaban imbuidas de una “fuerza vital” cuya naturaleza era totalmente desconocida y oculta. En los clásicos libros de texto, *A System of Chemistry* de Thomas Thomson y *Lehrbuch der Chemie* de Jöns Jakob Berzelius, por ejemplo, se encuentran descritas varias sustancias constituyentes de plantas y animales, pero sin ninguna indicación sobre relaciones estructurales o de comportamiento químico existente entre sus respectivas composiciones químicas.

Poco a poco, el estudio de los compuestos orgánicos fue atrayendo la atención de más investigadores quienes se abocaron a la tarea de extender a esos compuestos las leyes aplicables a las sustancias inorgánicas y la Química Orgánica se fue convirtiendo en la rama más joven de la ciencia.

La característica general de las sustancias que constituyen la Química Orgánica fue la presencia de carbono e hidrógeno. Se sabía que algunos compuestos orgánicos contienen oxígeno y nitrógeno y que existen algunas sustancias que contienen azufre; pero casi no se conocían las técnicas de aislar las sustancias de materiales orgánicos naturales y obtenerlas con un alto grado de pureza, ya que la cristalización de las sustancias orgánicas es mucho más dificultosa que la de las sustancias inorgánicas. Fourcroy y Vauquelin, estudiaron algunos “principios inmediatos” de materiales vegetales y animales, tales como el azúcar, la goma, el alcanfor, etc., que pueden ser extraídos por disolución o por otros métodos sencillos. Dichos químicos también descubrieron algunas sustancias nuevas.

Las dificultades en obtener sustancias orgánicas con un alto grado de pureza, de establecer composiciones centesimales y fórmulas moleculares queda patentizadas en una parte de la carta que Friedrich Wöhler le dirigiera a su maestro, Berzelius en 1835: “La Química Orgánica se me presenta como una selva tropical, llena de las cosas más sorprendentes y admirables” La penetración en esta selva oscura y el descubrimiento de su esencia fue una tarea a la que se dedicaron seriamente varios químicos a lo largo del siglo XIX y los descubrimientos que realizaron mostraron no sólo que la división entre Química Vegetal y Química Animal era ficticia sino que la división entre Química Inorgánica y Orgánica también lo es.

Algunas sustancias orgánicas se conocían desde tiempos muy antiguos. El ácido acético se conocía desde la antigüedad. Ya en el siglo III a.C. el filósofo griego Teofrasto describió cómo el vinagre actúa sobre los metales para producir pigmentos útiles para el arte, como el blanco de plomo y el cardenillo, una mezcla verde de sales de cobre, como el acetato de cobre. Geber, en el siglo IX aisló el ácido tartárico a partir de las uvas. En muchos manuscritos del siglo XII se describen las características y aplicaciones del alcohol etílico. Se dice que Raimundo Llull obtuvo el éter etílico en 1275. En su *Sceptical Chemist* (1661) Robert Boyle describió cómo, a partir de la destilación de la madera de boj se obtiene un “ácido piroleñoso” que contiene ácido acético, acetona, alcohol metílico y metilcetona. En una publicación de 1618<sup>424</sup> Blaise de Vignière (1522 – 1596) describió el ácido benzoico. Las investigaciones de Scheele (1742 – 1786) lo condujeron al descubrimiento, en frutas y plantas, de muchos ácidos orgánicos, de la glicerina (de la cual demostró que estaba relacionada con el azúcar por su gusto dulce y por el hecho de dar ácido oxálico por oxidación con ácido nítrico). También aisló el ácido cianhídrico y diversos ésteres, los que preparaba destilando ácidos con alcohol. Demostró, además, que los ésteres se “saponificaban” al ser hervidos con álcalis.

### 13 – 2. La primitiva teoría de los radicales

Para Lavoisier las sustancias orgánicas se formaban de manera similar a las inorgánicas. Especialmente en las sustancias oxigenadas, ese elemento está combinado con un *radical* — nombre que, en el sentido actual, empleó por primera vez Louis-Bernard Guyton de Morveau en 1787. Lavoisier sostuvo que mientras en las sustancias inorgánicas, casi todos los radicales oxidables o acidificables — plomo, hierro, mercurio, azufre, fósforo — son simples, en las sustancias provistas por los vegetales y animales, los radicales contienen dos elementos, carbono e hidrógeno y muchos contienen además nitrógeno y fósforo.

Los óxidos y los ácidos que hoy llamamos orgánicos podían diferir según 1) el número de principios acidificantes 2) las diferentes proporciones de esos principios y 3) el diferente grado de oxigenación. Esto explicaba la gran variedad de sustancias presentes en la naturaleza.

Según Lavoisier, los radicales formados por carbono e hidrógeno (“radicales hidrocarburoados”) podían combinarse con diferentes cantidades de oxígeno. En su Tratado elemental de Química consideró que los problemas de la Química Orgánica eran más simples de lo que parecían:

*«Il n'est pas étonnant qu'on puisse convertir presque tous les acides végétaux les uns dans les autres; il ne s'agit, pour y parvenir, que de changer la proportion du carbone et de l'hydrogène, ou de les oxygéner plus ou moins ... Il en résulte que le carbone & l'hydrogène donnent par un premier degré d'oxydation de l'acide tartareux; par un second, de l'acide oxalique; par un troisième de l'acide acéteux ou acétique. Il paroîtrot seulement que le carbone entre dans une proportion un peu moindre dans la combinaison des acides acéteux & acétique. L'acide citrique & l'acide malique diffèrent très-peu des précédens.»*<sup>425</sup>

La Tabla de los radicales propuestos por Lavoisier se da en la Figura 13.1.

<sup>424</sup> Patterson: *Annals of Science*, 1939, IV, 61. También mencionada en Neumüller O.A. (1988). *Römpps Chemie-Lexikon* (6 ed.). Stuttgart: Franck'sche Verlagshandlung. ISBN 3-440-04516-1.

<sup>425</sup> No es asombroso que se puedan convertir casi todos los ácidos vegetales unos en otros; para alcanzar eso, sólo se debe cambiar la proporción del carbono e hidrógeno, o de oxigenarlos en más o en menos. Como resulta de eso el carbono y el hidrógeno, en un primer grado de oxidación deberían proporcionar el ácido tartárico; por un segundo grado, el ácido oxálico; y por un tercero el ácido acético. Parecería solamente que el carbono entra en una proporción un poco menor en su combinación del ácidos acético. El ácido cítrico y el ácido málico difieren muy poco de los precedentes. Lavoisier, A. L. (1789): *Traité élémentaire de Chimie*. Cuchet, Libraire, Paris. Vol I, p. 210.

## 208 COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE.

## TABLEAU des combinaisons de l'Oxygène avec les radicaux composés.

	Noms des radicaux.	Noms des acides qui en résultent.	
		Nomenclature nouvelle.	Nomenclature ancienne.
Combinaisons de l'Oxygène avec les radicaux composés du règne minéral, tels que :	Le radical nitro-muriatique.	L'acide nitro-muriatique.....	L'eau régale.
	tartarique.....	L'acide tartareux...	inconnu des anciens.
	malique.....	L'acide malique...	inconnu des anciens.
	citrique.....	L'acide citrique...	L'acide du citron.
	pyro-lignique...	L'acide pyro-ligneux.....	L'acide empyreumatique du bois.
Combinaisons de l'Oxygène avec les radicaux carbone-hydreux & hydro-carboneux du règne végétal, tels que le radical :	pyro-mucique...	L'acide pyro-mucique.....	L'acide empyreumatique du sucre.
	pyro-tartarique...	L'acide pyro-tartareux.....	L'acide empyreumatique du tartre.
	oxalique.....	L'acide oxalique...	Le sel d'oseille.
	acétique.....	L'acide acéteux ou acétique.....	Le vinaigre, l'acide du vinaigre.
	succinique.....	L'acide succinique..	Le vinaigre radical.
	benzoïque.....	L'acide benzoïque..	Le sel volatil de succin.
	camphorique...	L'acide camphorique.....	Les fleurs de benjoin.
Combinaisons de l'Oxygène avec les radicaux carbone-hydreux & hydro-carboneux du règne animal, auxquels se joint presque toujours l'azote & souvent le phosphore, tels que le radical : **	gallique.....	L'acide gallique...	inconnu des anciens.
	lactique.....	L'acide lactique...	Le principe astringent des végétaux.
	lactico-lactique...	L'acide lactico-lactique.....	L'acide du petit lait aigri.
	formique.....	L'acide formique..	inconnu des anciens.
	bombique.....	L'acide bombique..	L'acide des fourmis.
	sébacique.....	L'acide sébacique..	inconnu des anciens.
	lithique.....	L'acide lithique...	inconnu des anciens.
	prussique.....	L'acide prussique...	Le calcul de la vessie.
			La matière colorante du bleu de Prusse.

\* Ces radicaux par un premier degré d'oxygénation, donnent le sucre, l'amidon, le muqueux, & en général tous les oxides végétaux.

\*\* Ces radicaux, par un premier degré d'oxygénation, donnent la limphe animale, différentes humeurs, & en général tous les oxides animaux.

Figura 13.1. Tabla de radicales de ácidos de Lavoisier. *Traité de Chemie* (1789) p. 208.

La demostración clara de la existencia de un radical orgánico fue hecha, en el año 1815, por Joseph-Louis Gay-Lussac durante sus investigaciones sobre compuestos de cianógeno.

En el año 1784, Lavoisier ideó un método para el análisis de sustancias orgánicas<sup>426</sup> consistente en quemar una pequeña porción de ellas en una lámpara que flotaba sobre mercurio. El sistema estaba contenido en una campana donde se insuflaba oxígeno proveniente de la descomposición del óxido de mercurio (II). Una salida lateral de la campana permitía que el dióxido de carbono produ-

<sup>426</sup> *OEuvres* de Lavoisier, Tomo 2. p. 586.

cido fuese absorbido por una solución de hidróxido de potasio. A partir de la masa de sustancia quemada y el aumento de peso debido al carbonato de potasio formado, podía calcular el porcentaje de carbono en la muestra.

En 1804, John Dalton realizó análisis de hidrocarburos gaseosos, haciendo explotar sus mezclas con oxígeno en un eudiómetro y de este modo determinó las fórmulas del “gas de los pantanos” (metano) y del gas olefiante de los holandeses (etileno).

En 1810 Joseph Louis Gay Lussac y Luis Jacques Thenard<sup>427</sup> comenzaron a hacer investigaciones en análisis orgánico. Mezclaban la sustancia a investigar con clorato de potasio, dándole a la mezcla forma de pastillas y la introducían en un tubo calentado y en posición vertical. A partir del dióxido de carbono y del agua producida calculaban la composición de la muestra. Mediante ese método, encontraron que en sustancias tales como el azúcar y el almidón, el hidrógeno y el oxígeno estaban unidos en la misma relación que en el agua. Debido a esta relación, en el año 1844, Karl Schmidt les dio el nombre de “hidratos de carbono” (carbono + agua).

El método de Gay-Lussac y Thenard permitió determinar que los ácidos contienen un exceso de oxígeno y los aceites un exceso de hidrógeno. El método se aplicó también a compuestos que contienen nitrógeno.

En 1805, el farmacéutico alemán Friedrich Wilhelm Adam Sertürner (1784 – 1841) aisló la morfina del opio y en el año 1816 se demostró su carácter básico, con lo cual se puso en evidencia que existían bases orgánicas que contenían nitrógeno, hecho completamente inesperado en esa época.

En 1817, Pierre Joseph Pelletier (1788 – 1842) y Joseph Bienaimé Caventou (1795 – 1887) aislaron la clorofila y entre 1818 y 1820 los alcaloides estricnina, brucina, quinina y cinconina.

En el año 1803, John Dalton<sup>428</sup> se había planteado la cuestión de si las sustancias orgánicas seguían o no las leyes de las combinaciones químicas. Consideró al efecto las fórmulas encontradas por él, las que, escritas en la notación moderna, eran: para el gas olefiante: CH, para el éter C<sub>2</sub>O, para el alcohol CH<sub>2</sub>O y para el azúcar CH<sub>2</sub>O.

Berzelius<sup>429</sup> emprendió en los años 1814 y 1815 una importante investigación con el objeto de decidir la cuestión planteada por Dalton y durante esa investigación perfeccionó los métodos de análisis. En un tubo de vidrio envuelto con una lámina de estaño calentaba la mezcla de la sustancia y clorato de potasio (a la cual añadía un poco de sal común con el objeto de moderar la reacción). Este tubo estaba unido a un recipiente que contenía cloruro de calcio que retenía el agua formada en la oxidación. Los gases pasaban luego a una campana que contenía, sobre mercurio, un pequeño frasco con potasa cáustica, destinada a absorber el dióxido de carbono. Por los aumentos de peso, calculaba los porcentajes de agua y dióxido de carbono formados a partir de la masa de la muestra. Los ácidos eran analizados, principalmente, neutralizándolos con óxido de plomo.

Como puede apreciarse en la tabla de la Figura 13.2., en la determinación del porcentaje de hidrógeno aparecen errores por exceso, lo cual se debe a la dificultad de secar las sustancias. Fuera de eso, los resultados son bastante exactos

---

<sup>427</sup> *Recherches*, 1811, tomo 2, p. 285; Lowry, T. M., (1936): *Historical Introduction to Chemistry*, Macmillan & Co., p. 391.

<sup>428</sup> Roscoe, H.E., Harden, A., (1896): *New View of Dalton's Atomic Theory*, p. 45.

<sup>429</sup> *Annals of Philosophy*, 1814, IV, 323, 401; V, 93, 184, 260. Lowry, p. 392.

Sustancia	Fórmula de Berzelius	Fórmula actual
Ácido cítrico	CHO	$C_6H_8O_7 - H_2O = (CHO)_6$
Ácido tartárico	$C_4H_5O_5$	$C_4H_6O_6 - H_2O = C_4H_4O_5$
Ácido oxálico	$C_{12}HO_{18}$	$6(C_2H_2O_4) - H_2O = C_{12}O_{18}$
Ácido succínico	$C_4H_4O_3$	$C_4H_6O_4 - H_2O = C_4H_4O_3$
Azúcar	$C_{12}H_{21}O_{10}$	$C_{12}H_{22}O_{11} - H_2O = C_{12}H_{20}O_{10}$
Almidón	$C_7H_{13}O_6$	$[C_6H_{10}O_5]_n$

Figura 13.2. Fórmulas encontradas por Berzelius para algunos compuestos orgánicos.

Gay Lussac en 1815 y Johann Wolfgang Döbereiner en 1816 introdujeron el uso del óxido de cobre en lugar del clorato de potasio como oxidante de la materia orgánica y este método, perfeccionado por Justus von Liebig<sup>430</sup>, se transformó, en sus aspectos esenciales, en el que se usó durante más de un siglo para el análisis elemental de compuestos orgánicos<sup>431</sup>. El método de combustión para determinar nitrógeno en compuestos orgánicos fue creado por Dumas en el año 1830.

Los análisis de Berzelius demostraron que las leyes de las combinaciones químicas y la teoría atómica eran aplicables a los compuestos orgánicos, aunque sus fórmulas eran, en general, complicadas. Por lo tanto, los resultados obtenidos en la Química Inorgánica podían servir de guía para el estudio del “modo de combinarse los elementos” en los compuestos orgánicos<sup>432</sup> y en el *Traité*, éstas sustancias también se clasifican en ácidas, básicas y neutras. Hizo notar<sup>433</sup> que “los fenómenos eléctricos que hemos descrito se manifiestan principalmente en la naturaleza inorgánica”. Supuso la existencia en el mundo orgánico, de una misteriosa “*fuera vital*”<sup>434</sup> que interviene en la formación de los compuestos cuya preparación en los laboratorios debe descartarse por imposible. Esta teoría sufrió un rudo golpe cuando Friedrich Wöhler demostró en 1828 que la urea, compuesto típicamente orgánico, podía obtenerse simplemente por calentamiento de cianato de amonio, sustancia isómera de la urea. A pesar de esto, la teoría vitalista subsistió durante largo tiempo.

### 13 – 3. La teoría dualista de Berzelius para los compuestos orgánicos

A partir de los resultados experimentales obtenidos a fines del siglo XVIII y principios del siglo XIX mediante descomposiciones electroquímicas, se comenzó a aceptar que las partículas de las sustancias compuestas constaban de dos zonas eléctricamente opuestas, pero que los átomos que las forman tienen cargas eléctricas de intensidad desigual y, por lo tanto, se comportan como unipolares. Berzelius adoptó el dualismo como la base de su sistema. Ya desde principios del siglo XIX y al influjo de los experimentos electroquímicos, la mayoría de los compuestos inorgánicos se consideraban como consistiendo en dos partes.

En la concepción de Berzelius las sustancias compuestas son producidas por una disposición de los átomos que resultan de interacciones electrostáticas. Los compuestos que él llamaba “de primer orden” como el óxido de plomo, se forman por la interacción de las partículas más pequeñas de los elementos; estos compuestos, a su vez, dan lugar a la formación de compuestos de segundo orden, como el carbonato o el sulfato de plomo, etc. Al igual que sus precursores, buscó en la afinidad, la razón de la combinación de los átomos, pero para él, como lo fue para Humphry Davy, esa afinidad

<sup>430</sup> *Annalen de Poggendorff*. 1831, XXI, I.

<sup>431</sup> *History of Organic Analysis* en el libro de Fisher: *Laboratory Manual of Organic Chemistry*, New York, 1924, p. 217 *et seq.*

<sup>432</sup> *Traité*, 1849, v, 28; *Annalen*, 1833, VI, 173.

<sup>433</sup> *Traité*, 1831, IV, 582.

<sup>434</sup> *Traité*, 1831, V, 2.

era una consecuencia de las propiedades eléctricas de las partículas más pequeñas. Sin embargo, se diferenció de Davy en la manera en la que consideraba la distribución eléctrica.

Si bien Davy esbozó ideas ingeniosas en cuanto al modo en que los fenómenos químicos y eléctricos se interrelacionaban no produjo una teoría que pudiese servir como fundamento de un sistema químico. Berzelius, en cambio, fue el primero en hacer eso. Dedicó toda su actividad a establecer en la Química un sistema uniforme que debería ser aplicable a todos los hechos conocidos; y lo llevó a cabo. De ahí sus ideas tienen mucha mayor importancia en el desarrollo de la Química que las de Davy.

Según Berzelius, no es sólo cuando dos sustancias se ponen en contacto que se genera electricidad, sino que esta electricidad es una propiedad de la materia. Supuso que en cada átomo, hay dos polos eléctricamente opuestos. Sin embargo, estos polos no contienen cantidades iguales de electricidad sino que la carga eléctrica de un polo predomina sobre la del otro. De esta manera, los átomos se comportan como unipolares y así cada átomo (y por lo tanto cada elemento) parece ser, eléctricamente positivo o negativo. Sostuvo que, en este aspecto, es posible disponer a las sustancias simples en una serie, de modo que cada miembro siempre sea más electronegativo que el siguiente en esa serie. El oxígeno está al tope de esa escala y es absolutamente electronegativo, mientras las demás sustancias simples sólo son electropositivas o electronegativas según si se las compara con otras que están por encima o por debajo de ellas en la escala de electronegatividades. Esta serie no constituye una tabla de afinidades en el sentido de la tabla de Geoffroy-Bergmann; así como tampoco expresa la afinidad de las sustancias individuales por el oxígeno. Berzelius no había olvidado las enseñanzas de Berthollet, de que esa afinidad no es de un carácter constante e independiente de las condiciones físicas y también estaba bien consciente de que el oxígeno puede ser desplazado de óxidos metálicos por el carbono o el azufre, es decir, por otras sustancias electronegativas. Para él, la afinidad dependía principalmente de la intensidad de la polaridad, es decir, de la cantidad de electricidad contenida en los dos polos. Esto era variable, sobre todo con los cambios de temperatura.

Durante la combinación de dos sustancias simples, los átomos se disponen con sus polos enfrentados y descargan mutuamente sus electricidades libres, por lo cual se producen los fenómenos del calor y de la luz. Cuando una sustancia compuesta es expuesta a la acción de la corriente eléctrica, ésta devuelve a los átomos su polaridad original, por lo cual la sustancia se separa en sus componentes.

Un compuesto del primer orden no es eléctricamente inactivo. Durante la combinación, sólo un polo de cada átomo se neutraliza por lo que todavía es unipolar, y puede formar combinaciones adicionales (del segundo orden) que igualmente pueden estar dotadas de fuerzas eléctricas; pero las intensidades de estas fuerzas disminuyen cuanto mayor es el orden del compuesto. Según Berzelius, la unipolaridad específica de los óxidos depende únicamente del radical o elemento combinado con el oxígeno. Éste da lugar a las sustancias más electropositivas y electronegativas (álcalis y ácidos) y como el oxígeno no puede ser la causa de ambos casos, tampoco puede ser la causa de alguno de ellos.

Todas las reacciones químicas, y, por consiguiente, los fenómenos de calor y luz que las acompañan, son, según Berzelius, producidas por la electricidad, que "así parece ser la primera causa de toda la actividad que nos rodea en la naturaleza"<sup>435</sup>.

---

<sup>435</sup> **Berzelius, J.J.** (1827): *Lehrbuch der Chemie*. Second Edition, Vol. 3, Dresden, part I, p. 76.

### 13 – 4. La contribución de Chevreul

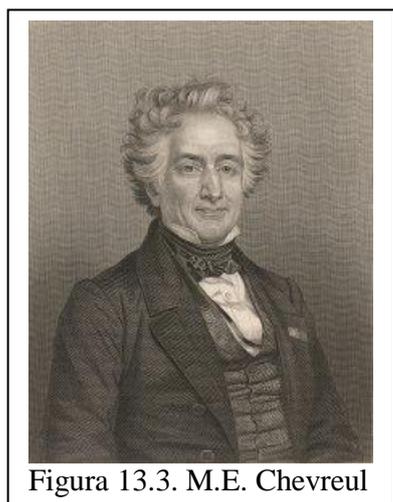


Figura 13.3. M.E. Chevreul

Michel Eugène Chevreul (1786 – 1889)<sup>436</sup> estudió Química con Vauquelin en el Museo Nacional de Historia Natural, donde se interesó por los colorantes orgánicos naturales. En 1810 fue nombrado Asistente Naturalista en el Museo, dedicándose a investigar la estructura y propiedades de los lípidos y a retomar los trabajos de Scheele sobre saponificación. En el año 1816 llegó a establecer la forma en que se obtiene el jabón. Concluyó que el jabón es el producto de la hidrólisis de las grasas en medio alcalino por lo que se forma una sal de ácido graso<sup>437</sup> y que en el proceso de saponificación se libera la glicerina.

En el año 1817, en colaboración con Henri Braconnot (1780 – 1855), ideó un método que le permitió diferenciar entre la estearina y la oleína (líquida). También preparó el ácido esteárico<sup>438</sup>. Entre los años 1818 y 1823 obtuvo los ácidos: butírico, valérico, cáprico y caproico, así como también el colesterol y el ácido oleico impuro. En 1823 publicó su obra más famosa *Recherches chimiques sur le corps gras d'origine animal*. Al año siguiente publicó *Considérations générales sur l'analyse organique et sur ses applications* libro que contiene numerosos métodos de análisis orgánico.

Su habilidad experimental le permitió obtener la quercitina, la morina y la luteoína. En 1812, por reducción del índigo obtuvo el índigo incoloro. Cuatro años más tarde demostró que el azúcar de la orina de los diabéticos es el mismo que el azúcar de uva. En 1832 aisló la creatina del extracto de carne.

El interés de Chevreul por los colorantes lo llevó a realizar diversos estudios sobre el tema a consecuencia de los cuales obtuvo la hematoxilina y la brazilina del palo campeche y del palo brasil, respectivamente. En 1824, el Rey Luis XVIII, lo nombró Director del Departamento de Teñidos de la famosa Manufacture Royale des Gobelins, donde trabajó durante 61 años, retirándose a los 99 años. En su paso por esta empresa realizó importantes estudios tanto en la química de los colorantes como en la Física del color y los efectos del color sobre el ojo humano. Sus descubrimientos quedaron reflejados en sus libros *Leçons de chimie appliquée à la teinture* (1828 – 1831) y *De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des objets colorés*. Esta última obra, publicada en París en 1839, expresa conceptos que aún tienen vigencia por lo que fue publicada en Londres en 1958 bajo el título de *The laws of contrast of colors*. Los conceptos que Chevreul vertió en esta obra tuvieron gran influencia en el mundo del arte, ya que condujeron directamente al desarrollo de puntillismo y el divisionismo de pintores neopresionistas como Georges Seurat (1859 – 1891) y Paul Signac (1863 – 1935)<sup>439</sup>

Como resultado de las investigaciones de Vauquelin, Gay Lussac y Chevreul. París llegó a ser el centro del estudio de la Química Orgánica, ciencia a la sazón nueva. Posteriormente, la influencia de Justus von Liebig fue preponderante y representó en cierto modo, una continuación de la escuela francesa en Alemania.

<sup>436</sup> No es un error. Vivió 103 años y con pleno dominio de sus facultades mentales.

<sup>437</sup> Este hecho había sido afirmado en 1666 por Otto Tachenius.

<sup>438</sup> En 1825, junto con J. L. Gay-Lussac, patentó el método para fabricar velas de estearina.

<sup>439</sup> Estos representantes de la pintura neopresionista desarrollaron una técnica del color basada sobre la división de los tonos propuesta por Chevreul y limitaron los colores de sus paletas al círculo de colores fundamentales de Chevreul.

Chevreur también hizo contribuciones a la agronomía, por lo que fue miembro de la Academia de Agricultura de Francia y Presidente de la misma desde 1849 hasta su muerte.

En 1886, se efectuó una conmemoración de su centenario, de la cual participó activamente. El 31 de agosto de ese año, se acuñó una medalla en su honor cuya inscripción reza: "La jeunesse française au doyen des étudiants"<sup>440</sup>.

### 13 – 5. Las contribuciones de Gay Lussac y Thenard

Joseph Louis Gay – Lussac (1778 – 1850) fue ayudante de Berthollet y de Fourcroy y Profesor de la *Ecole Polytechnique* y del *Jardin des Plantes*. Sus conferencias se publicaron en 1828<sup>441</sup>, muchas en colaboración con Thenard. Trabajó siempre en proyectos muy variados: solubilidad de las sales, textiles ignífugos, polvos de blanquear, graduación del alcohol etílico, velas de estearina (con Chevreul), y los pararrayos. Hizo otras contribuciones importantes a la química industrial, mejorando los procedimientos de fabricación del ácido sulfúrico y del ácido oxálico.

En 1829 fue nombrado ensayista en jefe del *Bureau de garantie à la Monnaie*, organismo público encargado de vigilar la calidad de la moneda acuñada. Allí desarrolló un nuevo método para determinar el título de la plata en una aleación, método que se usa aún en la actualidad.

Al igual que muchos científicos franceses, combinó su investigación y docencia con la política. En 1831, fue electo diputado por el Departamento de Haute-Vienne siendo reelegido en 1834 y 1837.



Figura 13.4. L.J. Thenard

En 1832 ingresó en la *Compagnie Manufacture des Glaces de Saint-Gobain* donde, en 1843, llegó a ser presidente del consejo de administración. En 1839, el rey Louis Philippe lo nombro Par de Francia.

Louis Jacques Thenard (1777 – 1857) comenzó siendo peón de laboratorio de Vauquelin y en 1804 lo sucedió como profesor en el *Collège de France*. En 1809, al morir Antoine-François de Fourcroy, lo sucedió como titular de las cátedras de Química de la Facultad de las Ciencias de la Universidad de París y de la *École Polytechnique*. En 1810 fue elegido miembro de la *Académie des sciences* y en 1821, miembro de la Real Academia Sueca de Ciencias. Cuatro años más tarde, Charles X, lo nombró Barón y en 1832 Louis Philippe lo nombró Par de Francia. Si bien hizo contribuciones valiosas al desarrollo de la Química él se definía como un maestro. Solía decir:

“el profesor, el asistente, el laboratorio, todo debe estar al servicio de los estudiantes” Además de sus clases, publicó un libro de texto, — *Traité de chimie élémentaire, théorique et pratique*, 4 vol, París, (1813 – 1816) — que se usó en distintas universidades durante más de un cuarto de siglo. En 1799, tenía apenas 22 años, cuando Jean-Antoine-Claude Chaptal le preguntó si podía preparar un pigmento azul barato para colorear porcelana. Thenard preparó un pigmento utilizando alúmina y óxido de cobalto. El pigmento, conocido hasta el día de hoy como “azul de Thenard” teñía tan

<sup>440</sup> La juventud francesa al decano de los estudiantes.

<sup>441</sup> *Cours de Chimie*, 2 vols. Paris, 1828. Findlay: *Nature*, 1937, CXI. 22.

bien la porcelana que hizo muy rico a su creador. De su vasta contribución a la Química, el trabajo que lo hizo más famoso fue la síntesis del peróxido de hidrógeno (1818).

Gay Lussac, al igual que Davy, era un hombre capaz de trabajar en las cosas más diversas. A los 23 años, en enero de 1803, presentó a la Académie des Sciences su primera memoria, "*Recherches sur la dilatation des gaz*", verificando los descubrimientos hechos por realizados por Jacques Charles en 1787. En 1804, para establecer la composición del aire a distintas alturas, ascendió con Biot en un globo aerostático a 4000 metros y posteriormente ascendió a 7000 metros, pero esta vez solo. A instancias del Barón Alexander von Humboldt, que había recogido muestras de aire en distintas partes de su travesía, usó el método eudiométrico de Cavendish encontrando como resultado lo que en 1808 publicaría como ley de la combinación de los volúmenes gaseosos. También en 1808, Gay Lussac y Thenard analizaron la acción del amoníaco gaseoso sobre el potasio metálico y obtuvieron la amida potásica  $\text{KNH}_2$ . También mejoraron el método de Davy para obtener metales alcalinos haciendo actuar álcalis al estado líquido sobre hierro al rojo, lo que les permitió trabajar con cantidades muy grandes.

Gay – Lussac y Thenard descubrieron los peróxidos de sodio y de potasio, sintetizaron el peróxido de bario, obtuvieron ácido fluorhídrico y yodhídrico y, en 1814, el ácido clórico. Su investigación sobre el yodo<sup>442</sup> es un modelo de trabajo experimental científico.

En 1815 Gay Lussac publicó un trabajo de gran importancia teórica<sup>443</sup> sobre los compuestos del cianógeno. La composición del azul de Prusia siempre había sido un misterio. Scheele había obtenido una sal (cianuro mercúrico) por digestión del azul de Prusia con agua y óxido mercúrico. Gay Lussac demostró que esa sal desprendía, por calentamiento, un gas inflamable que contenía carbono y nitrógeno. Ese gas, al cual llamó *cianógeno*, resultó ser la base de una serie de compuestos, los así llamados compuestos del cianógeno. Gay Lussac dijo al respecto que el cianógeno, es "un notable ejemplo, — y al presente un único ejemplo — de un cuerpo que si bien es un compuesto, cumple la parte de un cuerpo simple en sus combinaciones con hidrógeno y con metales". El cianógeno daba con hidrógeno el ácido prúsico, se combinaba con cloro y con yodo y sus compuestos con metales se llamaban prusiatos y posteriormente cianuros. El ácido cianhídrico se presentó como ejemplo de un ácido que no contenía oxígeno y el cianógeno que aparecía en todos estos compuestos era un radical orgánico, análogo al cloro. La analogía se encuentra comparando:

<b>Radical cianógeno</b> CN	<b>Átomos de cloro</b> Cl
<b>Gas cianógeno</b> $\text{C}_2\text{N}_2$	<b>Gas cloro</b> $\text{Cl}_2$
<b>Ácido prúsico</b> HCN	<b>Ácido muriático</b> HCl
<b>Cianuro potásico</b> KCN	<b>Cloruro potásico</b> KCl
<b>Yoduro de cianógeno</b> ICN	<b>Cloruro de yodo</b> ICl

Al estudiar el cloruro de cianógeno Gay-Lussac hizo notar que el cloro reemplazaba al hidrógeno en el ácido cianhídrico: "Es muy notable el hecho de que dos cuerpos de propiedades tan diferentes, desempeñen el mismo papel al combinarse con el cianógeno". Como se ve, previó la teoría de la sustitución. Otra observación suya que representa una idea precursora de trabajos posteriores fue la de que cristales de alumbre de potasio crecen en una solución de alumbre de amonio, un caso típico de isomorfismo. Gay-Lussac introdujo también métodos analíticos de volumétricos de acidimetría, alcalimetría y argentometría. La torre de Gay Lussac para el proceso de fabricación de ácido sulfúrico fue creada en el año 1827.

<sup>442</sup> *Annales de Chimie*, 1815, XCI, 5.

<sup>443</sup> *Annales de Chimie*, 1815, XCV, 136 – 230.

### 13 – 6. Los trabajos de Dumas

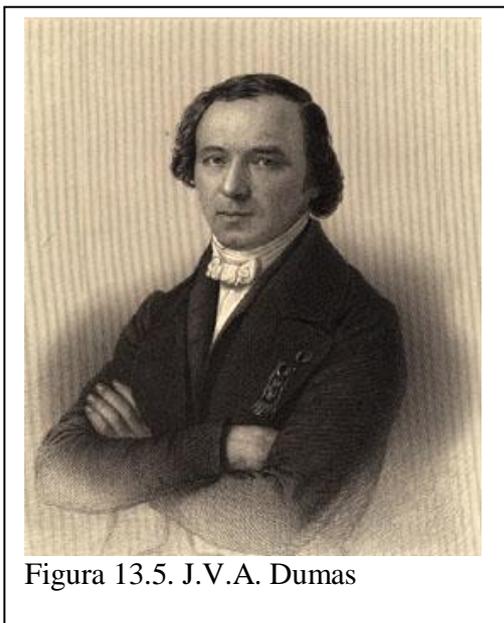


Figura 13.5. J.V.A. Dumas

Jean Baptiste André Dumas (1800 -1884) Fue aprendiz de boticario pero deseoso de perfeccionar sus conocimientos, en 1816 viajó hasta Ginebra, donde ingresó en el laboratorio farmacéutico de Auguste Le Royer y estudió Física con Adolphe Pictet. Esa ciudad era entonces un centro de vida académica y en ella Dumas se hizo conocer por Nicolás Théodore de Saussure y Augustin Pyrame de Candoille, ambos botánicos. Estudió también Química, en cuyo dominio realizó trabajos que atrajeron la atención de Charles Gaspard De la Rive, a la sazón profesor de Química en Ginebra. En el año 1818 Dumas y Jean François Coindet introdujeron el uso de compuestos de yodo en el tratamiento de la papera y conjuntamente con el fisiólogo Jean Louis Prevost, Dumas realizó investigaciones sobre varios problemas fisiológicos importantes. También fue asistente del naturalista Alexander von Humboldt, por cuyo consejo, en 1823, resolvió ir a Paris, donde comenzó a trabajar como asistente de Louis Jacques Thenard en la École Polytechnique.

Dumas, fue nombrado Profesor de Química en el Athenæum donde montó un laboratorio de Química a sus expensas. Fue también profesor en la Sorbonne y en la École de Médecine, donde demostró ser un excelente docente donde formó a discípulos como Auguste Laurent, Charles-Adolphe Wurtz y Louis Pasteur.

Dumas mejoró notablemente los métodos para determinar la densidad de los vapores y así poder establecer con más precisión sus masas molares lo que le permitió actualizar las masas atómicas de unos 30 elementos. También desarrolló un método de combustión para estimar el porcentaje de nitrógeno en compuestos orgánicos.

En la década de 1820, Dumas adhería a la teoría dualista de Berzelius y así lo transmitía en sus clases de Química.

Al estudiar las propiedades físicas de los líquidos Dumas se interesó por los ésteres y con el farmacéutico Polydore Boullay en 1827 publicaron un trabajo sobre los éteres del alcohol etílico. En ese trabajo sugerían que dichos éteres podrían ser considerados como productos de adición sobre el etileno, de manera análoga a que los compuestos de amonio podían ser considerados como productos de adición sobre el amoníaco y explicaron esta adición en términos de la teoría dualista de Berzelius.

En 1831, Dumas aisló el antraceno del alquitrán de hulla, en 1832 estudió los “aceites etéreos” y llegó a obtener fórmulas del alcanfor, borneol y alcanfor artificial y en el año 1834, juntamente con Eugène Melchior Péligot, obtuvo el aldehído cinámico, el ácido cinámico y el metanol a partir de la destilación seca de la madera. A partir del metanol pudo preparar muchos derivados, como el cloruro de metilo, el nitrato de metilo el éter metílico, el acetato de metilo, etc. Esto lo llevó a proponer la existencia del *radical* metilo que intervenía en muchas reacciones orgánicas.

Los trabajos iniciales de Dumas fueron netamente químicos; pero después de 1848 su interés se dirigió principalmente a la política, transformándose así en un hombre público y de actuación descollante y llegando a ser Ministro de Educación, de Agricultura y de Comercio.

### 13 – 7. La teoría del radical “eterino”

En 1815 Gay-Lussac creó un método para determinar las densidades del vapor de los líquidos. Ese método fue perfeccionado más tarde por August Wilhelm von Hofmann y mediante él determinó las densidades del vapor del alcohol y del éter, las cuales estaban relacionadas a las densidades del vapor de agua y del gas olefiante (etileno) de la siguiente forma:

masa de 1 vol. de vapor de alcohol = masa de 1 vol. de vapor de agua + la masa de 1 vol. de gas olefiante.

masa de 1 vol. de vapor de éter = masa de 1 vol. de vapor de agua + la masa de 2 vol. de gas olefiante.

En 1816 Pierre Jean Robiquet y Jean Jacques Colin demostraron que así como el alcohol y el éter podían considerarse como compuestos de agua y gas olefiante, también el éter muriático (cloruro de etilo) obtenido destilando alcohol con ácido clorhídrico podía considerarse como un compuesto de gas olefiante y ácido muriático ( $C_2H_5Cl = C_2H_4 + HCl$ ). Estas observaciones particulares fueron generalizadas por Dumas y Boullay en 1827<sup>444</sup> por comparación con los ésteres de amonio. En la tabla siguiente, en la que se usan por razones de simplicidad las fórmulas actuales, se muestra la manera de hacer la comparación:

<b>Amoníaco</b>		<b>Gas olefiante</b>
Clorhidrato	<b>NH<sub>3</sub>, HCl</b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, HCl</b>
Nitrito	<b>NH<sub>3</sub>, HNO<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, HNO<sub>2</sub></b>
Sulfato ácido	<b>NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>

El principal aspecto de la investigación sobre ésteres fue la determinación de sus densidades de vapor. Así como las sales de amonio podían considerarse como compuestos del amoníaco con ácidos, los ésteres<sup>445</sup> podían ser representados como compuestos de gas olefiante con ácidos. Dumas y Boullay adoptaron los pesos atómicos que Berzelius había calculado en 1815: C = 6; H = 1; O = 16, de modo que para ellos la fórmula del gas olefiante no era C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> sino C<sub>4</sub>H<sub>4</sub> o C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>. Consecuentemente, para ellos, las fórmulas del alcohol y del éter eran:

Alcohol: **4H<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 2 HOH**; Éter: **4H<sub>2</sub>C<sub>2</sub> HOH**

En un principio Berzelius se opuso a la teoría de Dumas y Boullay, apoyando su opinión sobre el hecho de que el gas olefiante no tiene propiedades alcalinas a pesar de lo cual expuso dicha teoría en su libro de texto y en el año 1832<sup>446</sup> llamó radical *eterino* al grupo C<sub>4</sub>H<sub>4</sub> (o C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), denominación que Dumas jamás empleó.

<sup>444</sup> *Annales de Chimie*, 1828, XXXVII, 15.

<sup>445</sup> En esa época se pensaba que los ésteres eran el producto de condensación de un ácido orgánico con etanol.

<sup>446</sup> *Annales de Chimie*, 1832, L, 240, 282.

### 13 – 8. Liebig y el análisis orgánico

Justus von Liebig (1803 – 1873)<sup>447</sup> inició sus estudios de Química trabajando con su padre que era droguero. Estudió Química con Karl Kastner en la Universidad de Bonn y se graduó con Kastner en la Universidad de Erlangen, en Baviera. En esta universidad recibió muy poca enseñanza práctica, por lo que, en 1822, gracias a una beca del Gran Duque de Hesse – Darmstadt, fue a París



Wöhler

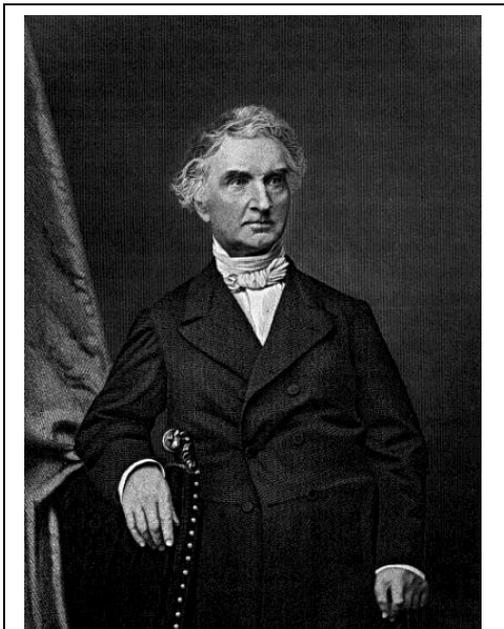


Figura 13.6. Justus von Liebig

y en esa ciudad, en el laboratorio de Gay-Lussac, realizó algunas investigaciones sobre el fulminato de plata y el ácido fulmínico. Para la misma época, Friedrich Wöhler estaba investigando las propiedades del ácido cianico. Liebig y Wöhler se dieron cuenta que el ácido fulmínico y el ácido cianico tienen la misma fórmula molecular. Esta conclusión inesperada, que luego fue bautizada por Berzelius como “isomería” cimentó una amistad y colaboración científica entre ellos.

En 1824 el propio Gay-Lussac le consiguió la cátedra de Química en la Universidad de Giessen, que ocupó por espacio de veintiocho años, al final de los cuales se fue a Munich. Durante ese período su escuela de Giessen adquirió fama mundial y su laboratorio fue uno de los primeros en Alemania en el cual se implantó sistemáticamente la enseñanza práctica de la Química. Thomas Thomson en Glasgow tenía ya, desde 1817, un pequeño laboratorio de enseñanza práctica de Química.

Liebig fue uno de los químicos más notables de la primera mitad del siglo XIX. Realizó una enorme cantidad de trabajos experimentales en el dominio de la Química Orgánica y llevó a cabo un gran número de análisis cuidadosos y exactos de compuestos orgánicos. Fue un pensador de ideas claras, tan notable en sus concepciones teóricas como en sus trabajos de laboratorio. En los últimos años de su vida realizó muy poca labor experimental. De acuerdo con E. von Meyer<sup>448</sup>. Liebig convenció con todo el peso de su autoridad de que el verdadero centro de interés del estudio de la Química no estaba en las clases teóricas sino en el trabajo práctico”.

Liebig perfeccionó el método de análisis orgánico, introduciendo el uso del óxido cúprico para la oxidación del material a investigar cuantitativamente los productos de oxidación, vapor de agua y dióxido de carbono mediante la absorción en cloruro de calcio y en un tubo especial conteniendo hidróxido de potasio. A partir de 1831, este y otros perfeccionamientos permitieron a Liebig y a sus discípulos determinar con gran precisión las fórmulas de numerosos compuestos y de este modo se pusieron en evidencia las relaciones entre los diversos grupos de sustancias orgánicas. Paralelamente a este trabajo, puramente científico, Liebig también prestó importantes servicios a la Química Agrícola, introduciendo el uso de abonos minerales. También trabajó en Química Fisiológica sobre los temas de producción de grasas, naturaleza de la bilis y de la sangre y sobre el extracto de carne y aunque estos trabajos son incorrectos en ciertos detalles, fueron útiles y sirvieron de estímulo a otros. Liebig consideraba la fermentación como el resultado de la transmisión de las vibraciones de las partículas del fermento al material fermentescible, con lo cual se opuso a las teorías de Berzelius y de Pasteur, referentes a la fermentación. La primera sostenía que se trataba de un caso particular de catálisis y la segunda que suponía que era un resultado de la actividad de organismos vivos. Los

<sup>447</sup> Shenstone: *Justus von Liebig*, 190; Hofmann: *J. Chem. Soc.* 1875

<sup>448</sup> *History of Chemistry*, 1906, 644.

trabajos de Marie von Manassein<sup>449</sup> de 1871, — quien hirvió levadura de cerveza en autoclave y aún así comprobó que se producía la fermentación — y de Edouard Büchner de 1897 demostrarían que la fermentación es realmente el resultado de la acción catalítica de enzimas segregadas por organismos vivos y puede ser realizada en ausencia de vida.

### 13 – 9. La contribución de Wöhler

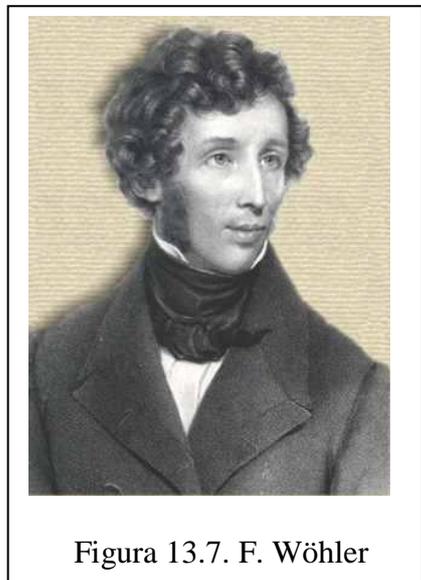


Figura 13.7. F. Wöhler

Friedrich Wöhler (1800 – 1882) estuvo estrechamente vinculado con Liebig, tanto en la amistad como en la colaboración científica. Estudió Medicina en la Universidad de Heidelberg con Leopold Gmelin donde se recibió en 1823. Ese mismo año, Gmelin le consiguió una pasantía con Berzelius en Estocolmo. Luego de trabajar durante dos años con Berzelius, regresó a Alemania para enseñar Química en la Escuela Politécnica de Berlín. En 1831 fue designado en la Escuela Técnica Superior de Kassel y en 1836 Profesor de Química en la Universidad de Göttingen.

Wöhler realizó importantes investigaciones en Química Orgánica, algunas en colaboración con Liebig y otras, solo. Entre sus investigaciones merecen citarse sus trabajos sobre quinona, hidroquinona y quinhidrona. Su actividad abarcó también el campo de la Química Inorgánica. Realizó un extraordinario número de trabajos experimentales particularmente sobre boro, silicio y sus compuestos, descubrió el hidruro de silicio, analizó un gran número de minerales y preparó compuestos de metales raros. En 1828 realizó la síntesis de la urea a partir del cianato de amonio. Este trabajo es considerado como el primer intento de refutación de la “teoría del vitalismo” según la cual, los organismos vivos se caracterizan por poseer una fuerza o impulso vital que los diferencia de manera fundamental de las cosas inanimadas. Como resultado de esa síntesis fue desapareciendo gradualmente la separación neta entre compuestos inorgánicos y orgánicos, separación que pudo considerarse enteramente desvanecida con la síntesis del ácido acético realizada por Kolbe en 1845 y del metano y el acetileno hechas por Berthelot en 1856 y 1862, respectivamente.

### 13 – 10. El radical benzoilo

En 1832 falleció Franziska Wöhler, la esposa y prima de Friedrich Wöhler. Para sacarlo de su abatimiento, su amigo, Justus von Liebig le propuso hacer un estudio conjunto sobre las propiedades del aceite de almendras amargas. Esta notable investigación de Liebig y Wöhler contiene valiosa experiencia sobre los radicales<sup>450</sup> y abrió nuevos caminos en el desarrollo teórico de la Química Orgánica. El trabajo llevado a cabo en un mes, demostró que dicho aceite podía transformarse en una serie de compuestos que contenían un radical  $C_7H_5O$  o, como ellos lo formularon,  $C_{14}H_{10}O_2$ , primer radical conocido de tres elementos y al que llamaron *benzoilo*<sup>451</sup>.

<sup>449</sup> Von Manassein, M. “Beiträge zur Kenntnis der Hefe und zur Lehre von der alkoholischen Gährung”, en Julius Wiesner, (Ed) “Mikroskopische Untersuchungen“ pp 116 – 128, Maier, Stuttgart 1872.

<sup>450</sup> *Annalen der Chemie*, 1832, III, 249.

<sup>451</sup> Los análisis por combustión concuerdan exactamente con las fórmulas, pero están basadas en un peso atómico algo incorrecto para el carbono.

Aceite de almendras amargas, Hidruro de benzoílo	$C_7H_5O.H$
Ácido benzoico. Hidróxido de benzoílo.	$C_7H_5O.OH$
Cloruro de benzoílo	$C_7H_5O.Cl$
Cianuro de benzoílo	$C_7H_5O.CN$
Benzamida	$C_7H_5O.NH_2$

Berzelius, que había formado a Wöhler en Estocolmo agregó al final del trabajo, una nota elogiosa en la que lo caracterizó como “el comienzo de un nuevo día en la Química Vegetal” y propuso llamar al radical benzoílo (al cual simbolizaba *Bz*) *proïno* (de  $\pi\rho\omega\iota$ , nacimiento del día) u *ortrino* ( $\acute{o}\rho\theta\rho\acute{o}\varsigma$ , fin de la mañana), así como *amida* al compuesto  $NH_2$  siendo simbolizando al radical  $NH_2$  por *Ad*.<sup>452</sup>

Es interesante e instructivo saber que, unos años después de que Berzelius celebró el inicio del nuevo día eyectó al *proïno*, *ortrino* o benzoilo de la clase de radicales declarando que “un óxido no puede ser un radical<sup>453</sup> y “los radicales ternarios o son compuestos de una sustancia binaria con una sustancia simple, o son compuestos de dos sustancias binarias”<sup>454</sup>.

Berzelius también dijo:

“Desde el momento en que uno ha aprendido a reconocer con certeza la existencia de átomos ternarios de primer orden que entran en los compuestos de la forma de sustancias simples, será un gran alivio en la expresión del lenguaje o de la fórmula denotar a cada radical mediante su propio símbolo, con lo cual, la idea de la composición que se desea expresar se colocará claramente ante los ojos del lector”.

Berzelius ilustró su propuesta mediante la siguiente fórmula, donde  $B_z = C_{14}H_{10}O_2$ :  $B_zO =$  ácido benzoico,  $B_zH_2 =$  aceite de almendras amargas,  $B_zCl_2 =$  cloruro de benzoilo.  $B_zS,$  = sulfuro de benzoilo,  $B_z + NH_2 =$  benzamida.

Al referirse a varias sustancias que se comportaban como átomos de tres elementos, Wöhler y Liebig afirmaron:

La única guía que nos llevó a formular esta opinión ha sido la serie de fenómenos similares que hemos observado. Un hombre con un lápiz en la mano, listo para hacer cálculos y cambios en los análisis de compuestos orgánicos que otros han hecho, puede fácilmente descubrir muchos radicales similares, pero creemos que se sirve muy poco a la ciencia alentando expectativas que no descansan sobre una adecuada base de hechos”.

Después de sugerir fórmulas para varias series de compuestos, estando cada serie representada por el mismo radical, Berzelius finalizó la carta a Wöhler y Liebig diciendo:

“Debo insistir que tales fórmulas deberían ser recibidas sólo cuando las ideas que ellas deben expresar tengan cierto grado de reconocimiento como hechos probados, de otra manera, ellas pueden conducir a una confusión como la de Babel.”

Como veremos, las recomendaciones de Wöhler y Liebig y las advertencias de Berzelius fueron rápidamente olvidadas.

<sup>452</sup> Tiempo después se arrepentiría de haber elogiado a ese trabajo.

<sup>453</sup> *Jahresbericht*, **1839**, p. 358.

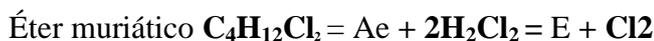
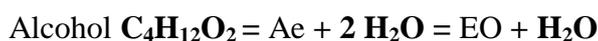
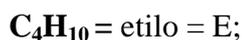
<sup>454</sup> *Annal. Chem. Pharm.*, **31**, 13 [1839].

Berzelius se refirió al benzoilo como un átomo compuesto ternario de primer orden. Esta expresión formaba parte del lenguaje que Berzelius usaba en su doctrina del electrodualismo.

### 3 – 11. El radical etilo

En 1834, Liebig se dio cuenta que el alcohol, el éter y el éter muriático, podían considerarse como compuestos del radical  $C_2H_5$ , al cual llamó *etilo* (y más tarde *ætilo*)<sup>455</sup>.

Liebig, quien duplicaba todas las fórmulas, escribía:



### 13 – 12. El radical metilo

Ya hemos mencionado el trabajo de Dumas y Péligot sobre el radical metilo. Robert Boyle<sup>456</sup> había separado del “espíritu de la madera” un ácido y una parte “adiáfora” mediante una cuidadosa destilación fraccionada. Con esa parte, Philip Taylor<sup>457</sup> había preparado “éter piroleñoso”. Pero fueron los químicos franceses quienes demostraron que se trataba de un alcohol al que dieron el nombre de alcohol metílico (*μέθ*, vino; *ἄλῆ*, leña, madera; “*c’est à dire vin ou liqueur spiritueuse de bois*”) y prepararon varios de sus ésteres, así como el éter metílico gaseoso. Hicieron notar que estas circunstancias podían considerarse como compuestas de un radical  $CH_3$  ( $C_4H_6$ ;  $C = 6$ ) al cual Berzelius llamó *metilo*. Se trataba de una investigación muy importante pues puso de manifiesto la existencia de un grupo de compuestos relacionados entre sí, los alcoholes.

En 1835, Victor Regnault<sup>458</sup> cuyos trabajos iniciales pertenecían al dominio de la Física, obtuvo el compuesto  $C_2H_3Br$  y llamó *aldehidene* al radical  $C_2H_3$ . Para el bromuro de etileno, Regnault propuso la fórmula  $C_2H_3Br + BrH$  (o  $C_4H_6Br_2 + Br_2H_2$ ). Para el acetaldehído y el ácido acético, — productos sucesivos de la oxidación del alcohol — Regnault propuso las fórmulas  $C_4H_6O + H_2O$  y  $C_4H_6O_3 + H_2O$ . Este trabajo fue sugerido por Liebig, quien llamó *acetilo*<sup>459</sup> al radical  $C_4H_6O$ . La fórmula del etilo era entonces  $C_2H_3.H_2$  y la del eterino  $C_2H_3.H$ . De esta manera se combinaban las teorías del eterino y el etilo.

<sup>455</sup> *Annalen*, 1834, IX, 1.

<sup>456</sup> *Works*, ed. Birch, vol. I. folio ed., p. 390.

<sup>457</sup> Taylor P: On pyroligneous æther. *Phil. Mag.* J 60:315-17; el trabajo se realizó en 1812.

<sup>458</sup> *Annales de Chimie*, 1835, LIX, 358.

<sup>459</sup> *Annalen*, 1834, XXX, 139; el radical que actualmente se llama acetilo es  $C_2H_3O$ .

En 1831 Liebig<sup>460</sup> obtuvo el cloral por acción del cloro sobre el alcohol. Tratando el cloral con álcalis cáusticos obtuvo cloroformo, al cual atribuyó la fórmula  $C_2Cl_5$ . En el mismo año Eugene Souberain<sup>461</sup> obtuvo cloroformo destilando alcohol con polvos de blanquear y propuso como fórmula  $CH_2Cl_2$ . La verdadera fórmula  $CHCl_3$  fue obtenida por Dumas usando la teoría de la sustitución.

En una memoria conjunta presentada por Dumas y Liebig a la Academia Francesa, el 23 de octubre de 1837, se afirmaba que “*en Química Inorgánica los radicales son simples; en Química Orgánica son compuestos y esa es la única diferencia entre ambas. Las leyes de la combinación, las leyes de la reacción son las mismas en ambas ramas de la Química*”.

En el año 1838 Liebig dio<sup>462</sup> una definición de radical orgánico:

I) Es un constituyente invariante de una serie de compuestos.

II) En los compuestos, puede ser reemplazado por elementos.

III) en los compuestos que forma con un elemento este puede ser reemplazado o separado por cantidades equivalentes de otros elementos.

Por lo menos dos de estas condiciones deben ser satisfechas por un complejo atómico para que sea considerado como un radical.

### 13 – 13. Robert Bunsen

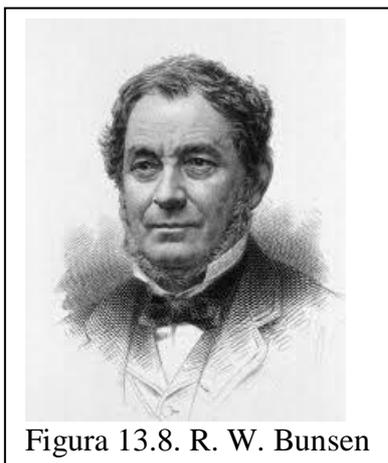


Figura 13.8. R. W. Bunsen

La teoría de los radicales basada en las concepciones de Lavoisier y Berzelius, generalizadas por Liebig, fue apoyada por las investigaciones clásicas de Robert Wilhelm Bunsen (1811 – 1889) sobre el radical cacodilo. Bunsen<sup>463</sup> estudió Química en Göttingen con Friedrich Stromeyer y, en la misma Universidad, Mineralogía con Johann Friedrich Ludwig Hausmann y Matemáticas con Carl Friedrich Gauss. Se doctoró en 1831 y en 1833 fue nombrado Profesor Auxiliar en la Universidad de Göttingen. Luego sucedió a Wöhler en la cátedra en Kassel. En 1838 fue designado para ocupar la cátedra en Marburg y en 1851 fue nombrado Profesor en la Universidad de Heidelberg, donde trabajó hasta su retiro en 1889.

La labor de Bunsen como investigador fue sobresaliente. En el campo de la Química Orgánica sus únicas investigaciones fueron sobre compuestos orgánicos de arsénico, particularmente el cacodilo, una sustancia sumamente tóxica que casi le provoca la muerte por envenenamiento<sup>464</sup> y además sumamente inflamable (una explosión de cacodilo en el aire le costó la visión de su ojo derecho) realizadas a partir de 1837. Desde 1846 en adelante se preocupó de encontrar métodos exactos de análisis de gases y, en 1859, juntamente con Gustav Kirchhoff descubrió el análisis espectral, demostrando con la ayuda del mismo, la existencia de dos nuevos elementos, el cesio (1860) y el rubidio (1861). Sus trabajos so-

<sup>460</sup> *Annalen*, 1832, I, 189.

<sup>461</sup> *Annales de Chimie*, 1831, XLVIII, 131.

<sup>462</sup> *Annalen*, 1838, XXV, 3.

<sup>463</sup> *Roscoe: J. Chem. Soc.*, 1900. LXXVII, 513

<sup>464</sup> Bunsen descubrió que el óxido de hierro hidratado es el mejor antídoto para la intoxicación con compuestos de arsénico.

bre análisis mineral son también importantes. Tuvo gran éxito como profesor; sus intereses en Química eran fundamentalmente de orden experimental y no tomó parte en las discusiones sobre las teorías que agitaron profundamente la Química durante la primera mitad del siglo XIX. En 1840 inventó la pila Bunsen, en 1844 el fotómetro de la mancha de grasa, en 1853 el mechero Bunsen, en 1855 el absorciómetro, en 1856 el actinómetro (en colaboración con Henry Enfield Roscoe), en 1857 el aparato para medir la efusión de gases, en 1868 la filtración al vacío y en 1870 el calorímetro de hielo. Sus otros trabajos incluyen la producción de cianuro por calentamiento de álcalis con carbono en corriente de nitrógeno (en colaboración con Lyon Playfair en 1846), la preparación por medio de la electrólisis del magnesio (1852) y del cesio (1858) y la investigación conjunta con Roscoe sobre la acción química de la luz que comenzó en 1855.

### 13 – 14. El radical cacodilo

Louis Claude Cadet, en 1760, obtuvo un líquido muy fumante, pesado, de color castaño y olor horrible, destilando una mezcla de cantidades iguales de acetato de potasio y anhídrido arsenioso. Este líquido repulsivo fue estudiado cuidadosamente por Bunsen<sup>465</sup> quien aisló de él el óxido de cacodilo.  $C_4H_{12}As_2O$ , óxido del radical  $C_4H_{12}As_2$ , al cual fue dado el nombre de cacodilo (de *κακώδης* hediondo) por Berzelius. Se obtuvieron el cloruro, yoduro, cianuro y fluoruro de cacodilo mediante la acción de los ácidos respectivos sobre el óxido. La oxidación de ese último condujo al ácido cacodílico  $C_4H_{12}As_2O_3 + H_2O$ . El radical libre se obtuvo por calentamiento del cloruro con cinc en una atmósfera de dióxido de carbono disolviendo el cloruro de cinc formado con agua y secando el líquido aceitoso que se inflama fácilmente al aire. Descubrió el hecho de que si una gota de óxido de cacodilo cae sobre una parte caliente del aparato de destilación “*el aparato resulta destruido por una explosión y se produce una llama de arsénico de varios pies de largo que luego cubre los objetos circundantes con una capa negra de arsénico de olor pestilente*”

Bunsen determinó las densidades de vapor de todos los compuestos volátiles del cacodilo y obtuvo así las fórmulas correctas. Refiriéndose a los compuestos de cacodilo, Bunsen dijo: “*Echando una mirada a este grupo de sustancias reconocemos en él un componente invariable cuya composición está representada por la fórmula  $C_4H_{12}As_2$  ... Los elementos constituyentes de este componente combinados entre sí por una afinidad poderosa toman parte sólo como un todo en las descomposiciones que caracterizan a estas sustancias. Forman en sus compuestos una de esas unidades superiores que llamamos átomos orgánicos o radicales*”. El aislamiento efectivo del radical cacodilo fue un gran triunfo para la teoría de los radicales, la que, como Bunsen lo hizo notar, resultó desde entonces un hecho para todas las finalidades y tentativas de la Química Orgánica.

Entre 1839 y 1843 Bunsen<sup>466</sup> publicó una serie de memorias en las que detalló todos sus experimentos con una gran variedad de derivados del cacodilo, al que representó mediante el símbolo abreviado Kd. A algunos de los compuestos que investigó, Bunsen les dio las fórmulas **Kd**; **KdO**; **KdS**; **KdSe**; **KdTe**; **KdCl<sub>2</sub>**; **KdBr<sub>2</sub>**; **KdI<sub>2</sub>**; **KdF<sub>2</sub>**; **KdO.2HgCl<sub>2</sub>**; **KdO.3KdI<sub>2</sub>**; **KdO.KdO<sub>3</sub>**; **3KdO.AgO**; **KdO.xSO<sub>3</sub>**; **KdS.KdS<sub>3</sub>**; **KdS<sub>3</sub>.Au<sub>2</sub>S**; **3KdS<sub>3</sub>.Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>**.

<sup>465</sup> *Annalen*, 1837, XXIV 27; 1841, XXXVII 1; 1842 XLII, 14; 1843, XLVI, 1; *Klassiker*, de Ostwald N° 27; *Phil. Mag.*, 1842 (3), XX, 343, 382, 395.

<sup>466</sup> "Untersuchungen über die Kakodylreihe," *Annal. Chem. Pharm.*, **31**, 175; [1839]; **37**, 1 [1841]; *Annal. Chem. Pharm.*, **31**, 175; [1839]; **37**, 1 [1841]; **42**, 14 [1842]; **46**, 1 [1843].

## Bibliografía

**Ladenburg, A., (1900):** *Lectures on the History of the Development of Chemistry since the Time of Lavoisier*. The Alembic Club, Edinburgh.

**Lowry, T. M., (1936):** *Historical Introduction to Chemistry*, MacMillan. London.

**Partington, J. R.; (1937):** *A Short History of Chemistry*, Mc. Millan, London.

**Pattison Muir, M. M., (1883):** *Heroes of Science (Chemists)*, Society for Promoting Christian Knowledge, London.

**Pattison Muir, M. M., (1907):** *A History of Chemical Theories and Laws*. J. Wiley & Sons, New York.

**Thorpe, E., (1911):** *Essays in Historical Chemistry*. Mc Millan & Co. London.

## XIV. LA TEORÍA DE LA SUSTITUCIÓN

### 14 – 1. La teoría de sustitución de Dumas

En la época en que parecía haberse establecido definitivamente la teoría de los radicales, apareció una nueva manera de considerar las reacciones de la Química Orgánica, introducida por dos químicos franceses, Dumas y Laurent. Esta nueva teoría condujo finalmente al abandono de la teoría dualística de Berzelius, y dado que toda molécula, en conjunto, era considerada como una estructura que por modificación de sus partes podía dar origen a una serie de moléculas relacionadas entre sí, este nuevo punto de vista se llamó la “*Teoría Unitaria*”. La base experimental de la teoría eran las reacciones que hoy llamamos “de sustitución”.

Gay-Lussac<sup>467</sup>, al analizar la acción descolorante del cloro, hizo notar que esta sustancia se combina con parte del hidrógeno de los aceites para formar ácido clorhídrico "y al mismo tiempo parte del cloro se combina con el aceite y ocupa el lugar (*prend la place*) del hidrógeno que ha salido". En una investigación sobre la causa del humo irritante que se desprendía de las velas de las Tullerías, Dumas encontró que la cera de las mismas había sido decolorada con cloro y los humos que se desprendían durante la combustión contenían ácido clorhídrico<sup>468</sup>. Llegó así a investigar la acción del cloro sobre el alcohol<sup>469</sup> y obtuvo de este modo el cloroformo.

Dumas consideraba que la masa atómica relativa del carbono era 6, por ello su determinación de la densidad de vapor del cloroformo lo llevó a asignarle la fórmula  $\underline{\text{C}}_2\text{HCl}_3$ <sup>470</sup>. Haciendo reaccionar cloro con alcohol — al cual le asignaba fórmula  $\underline{\text{C}}_8\text{H}_{12}\text{O}_2$  — obtuvo cloral — cuya fórmula supuso que es  $\underline{\text{C}}_8\text{H}_2\text{Cl}_6\text{O}_2$  — De modo que, en esta reacción se eliminaban 10 "volúmenes" de hidrógeno mientras que sólo 6 "volúmenes" de cloro ocupaban su lugar.

Dumas también estudió la acción del cloro sobre la esencia de trementina y encontró que por cada átomo de hidrógeno eliminado como ácido clorhídrico, un átomo de cloro entraba a formar parte de la molécula. Esta y otras reacciones, lo llevarían a establecer una teoría acerca de que en una reacción orgánica se produce la sustitución de átomos o radicales por otros átomos o radicales. A esa teoría la llamó “ley de las sustituciones” o *ley de la metalepsia* (del griego μεταληψη, que significa que el cuerpo sobre el que se considera ha tomado un elemento en lugar de otro).<sup>471</sup>

Dumas resumió la nueva teoría de la siguiente manera:

---

<sup>467</sup> *Cours de Chimie*. 1828; *Leçon* 28, págs. 11 y 22.

<sup>468</sup> Hofmann: *Berichte*, 1884. 630 *et seq.*

<sup>469</sup> *Annales de Chimie*, 1834. LVI, 113.

<sup>470</sup> En adelante, en todas las fórmulas en las que la masa atómica relativa del carbono se considera igual a 6, indicaremos el símbolo del carbono subrayado ( $\underline{\text{C}}$ ).

<sup>471</sup> *Mém. de l'Institut*, 1838, XV, 548; leído en 1835.

"(I) Cuando una sustancia que contiene hidrógeno se somete a la acción deshidrogenante del cloro, bromo, yodo y oxígeno, etc., por cada átomo de hidrógeno que pierde, gana un átomo de cloro, bromo o yodo o medio de oxígeno" (O = 16, H = 1).

"(II) Cuando el compuesto contiene oxígeno se cumple la misma regla sin ninguna modificación."

"(III) Cuando el cuerpo hidrogenado contiene agua, esta pérdida de hidrógeno se produce sin reemplazo y, por lo tanto, si se quita una nueva porción de hidrógeno ésta es reemplazada como en los casos anteriores."

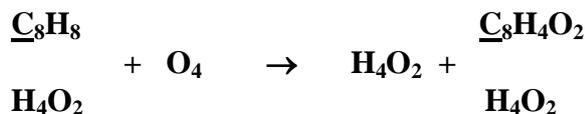
Como ejemplo de la primera ley, Dumas pudo presentar en 1838<sup>472</sup> la acción del cloro sobre el ácido acético. Esta sustancia — $\underline{\text{C}}_4\text{H}_4\text{O}_2$  según él— se convierte en ácido tricloroacético — $\underline{\text{C}}_4\text{HCl}_3\text{O}_2$ — y se desprenden 3 moléculas de HCl por molécula de ácido acético.

La tercera regla la enunció para explicar la acción del cloro sobre el alcohol. Este compuesto se consideraba como un hidrato de eterino, ( $\underline{\text{C}}_8\text{H}_8 + 2\text{H}_2\text{O}$ ). La primera acción del cloro consistía en quitar hidrógeno sin reemplazarlo, formando aldehído (*ether acétique*)  $\underline{\text{C}}_8\text{H}_8\text{O}_2$  en la cual, por acción posterior, se sustituían hidrógenos por cloros para formar así el cloral:



De este modo Dumas pensó que podía distinguir entre hidrógenos unidos a carbonos e hidrógenos unidos a oxígenos.

La oxidación del alcohol para formar ácido acético es un ejemplo de la sustitución de un átomo de hidrógeno por medio de oxígeno.



La teoría de la sustitución entraba en contradicción con la teoría dualista de Berzelius. Según esta última teoría en toda molécula había dos partes una electropositiva y otra electronegativa. De acuerdo con esta concepción, era imposible explicar cómo el cloro, fuertemente electronegativo, podía sustituir al hidrógeno, considerado un átomo electropositivo. Berzelius sostenía que la analogía de la Química Orgánica con la Inorgánica era fundamental y, en principio, rechazó la teoría de Dumas. Liebig tomó partido por Dumas afirmando "Hasta un cierto punto, seguimos los principios de la Química Inorgánica, pero más allá del punto donde ellos nos dejan en la estacada (*wo sie uns verlassen*) necesitamos nuevos principios".

Si bien los trabajos de Bunsen sobre el cacodilo tendían a reafirmar la concepción de Berzelius, fueron los trabajos de Graham sobre los ácidos fosfóricos los que modificaron la concepción de Berzelius sobre la constitución de las sales.

<sup>472</sup> *Comptes rendus*. 1838, VII 474; 1839, VIII, 609; sobre el contenido de esta sección, ver SCHORLEMMER: *Rise and Development of Organic Chemistry*, 2a. ed., 1894.

## 14 – 2. Graham y los ácidos fosfóricos

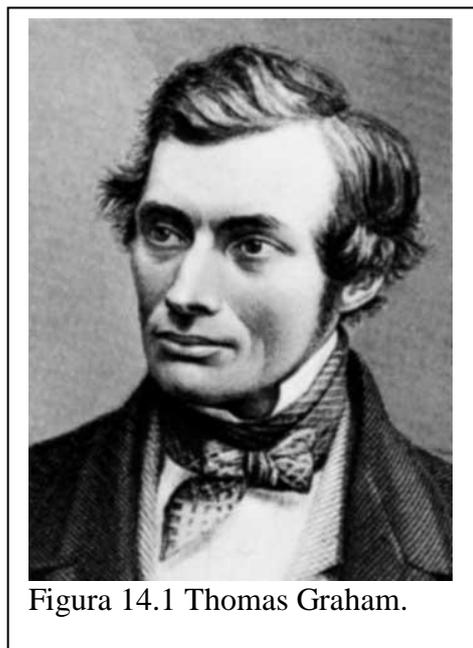


Figura 14.1 Thomas Graham.

Thomas Graham, (1805 – 1869) estudió con Thomas Thomson y en el año 1830 llegó a ser profesor del *Anderson's College*. En 1837 sucedió a Edward Turner en la cátedra del *University College*, de Londres, a la que renunció en 1855 por haber sido designado para el cargo de *Master of the Mint*<sup>(473)</sup> del Imperio Británico. Los trabajos de importancia de Graham son del dominio de la fisicoquímica y se refieren a la adsorción de sales por carbón vegetal (1830), a la difusión de gases ("Ley de Graham", 1828 –1833); a la "transpiración" de gases al pasar a través de tubos (1846), al estado coloidal de la materia (1849), a la ósmosis (1854) y a la absorción de hidrógeno por metales (1866 – 1869). Su investigación sobre los arseniatos y fosfatos demostraron que los orto, piro y metafosfatos no eran sales de tres anhídridos fosfóricos isómeros, como Berzelius supuso, sino que eran sales derivadas de tres ácidos definidos que contenían agua reemplazable total o parcialmente por bases. "Sospecho que las modificaciones del ácido fosfórico, cuando se encuentran en el estado que llamamos libre están en combinación con su proporción habitual de base, siendo, en ese caso, agua la base." Así, pues, las tres modificaciones del ácido fosfórico pueden componerse como sigue:



La primera serie de símbolos (devida a Berzelius) es la que usaba Graham; la segunda corresponde a la notación habitual entonces ( $\text{H}=1$ ;  $\underline{\text{O}} = 8$ ;  $\text{P} = 31$ ); la tercera contiene la notación actual. Obviamente, las propiedades características de los ácidos no podrían evidenciarse si se los considerase como anhídridos.

Liebig, analizando el trabajo de Graham, señaló que por pérdida de agua el ácido fosfórico modifica su capacidad de saturación con bases. Demostró que había ácidos orgánicos que, al igual que el fosfórico, podían combinarse con varias "moléculas" de bases, por ejemplo, el cianúrico, el mecónico, el tánico y el cítrico. Liebig comprobó que ciertos ácidos al ser calentados pierden agua lo que disminuye simultáneamente su basicidad. Estos ácidos "contienen tres átomos de agua, que pueden ser sustituidos por bases". Los resultados experimentales de Liebig podían explicarse más fácilmente aún con la hipótesis de Davy<sup>474</sup> y Dulong, consistente en suponer que "los ácidos son compuestos particulares de hidrógeno, en los cuales el hidrógeno puede ser reemplazado por metales. Las sales neutras son compuestos de la misma clase en los cuales el hidrógeno ha sido reemplazado por el equivalente de un metal cualquiera."

<sup>473</sup> Equivalente a director de la Casa de la Moneda.

<sup>474</sup> Davy, H.; *Phil. Trans*, 1815, p. 203; *Works*, vol. v. pags. 492 – 510.

### 14 – 3. Auguste Laurent

Auguste Laurent (1808 – 1853) fue alumno y durante un corto período ayudante de Dumas. La vida de Laurent transcurrió, casi totalmente en la pobreza. Fue profesor en Burdeos durante ocho años, teniendo entonces a su disposición un laboratorio completamente inadecuado. Más tarde fue a París para trabajar con Gerhardt, pero su falta de medios le obligó a aceptar un puesto como analista en la Casa de Moneda, donde tenía como laboratorio un sótano húmedo y donde sólo podía procurarse productos químicos comunes. Murió de tuberculosis en el año 1853<sup>475</sup>.

Tanto a Laurent como a Gerhardt sus colegas franceses les hicieron siempre el vacío. Es verdaderamente penoso considerar la mala forma en que algunos de sus colegas trataban a esos dos químicos, quizás los más brillantes de su época. Gerhardt, sin embargo, recibió un reconocimiento un año antes de su muerte.

Laurent era un experimentador muy diestro y un crítico profundo, teniendo una verdadera pasión por clasificar. Su obra famosa, *Méthode de Chimie*, apareció en 1854, un año después de su muerte. En la introducción de la obra Biot dice: "*Cet ouvrage, rempli d'idées nouvelles... vous offre les convictions intimes d'un homme qui a enrichi la science de découvertes nombreuses et inattendues .... il attachait tout d'intérêt à laisser après lui cet héritage, qu'il a travaillé à le finir, jusque, dans les bras de la mort*". De las páginas del libro se evidencian la seriedad y el genio del autor.

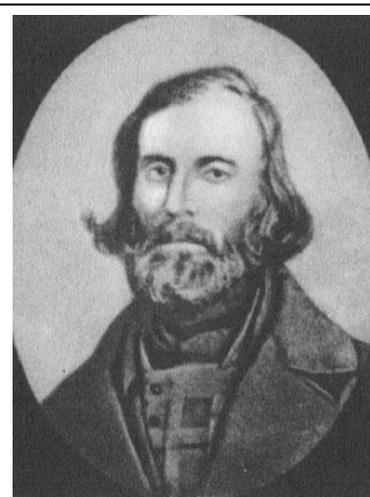


Figura 14.2. Auguste Laurent

En 1832 realizó una investigación sobre el naftaleno y sus derivados, descubriendo el antraceno y en 1836 obtuvo la antraquinona por oxidación del antraceno. En el mismo año obtuvo el ácido ftálico por oxidación del naftaleno y encontró que dicho ácido por calentamiento pierde agua con facilidad, dando así el anhídrido. Una investigación realizada por Laurent sobre el fenol y sus derivados, en el año 1841, demostró que esta sustancia era idéntica al llamado "ácido carbólico", descubierto en el alquitrán de hulla por Runge en 1834; pero que era diferente de la creosota descubierta en el alquitrán de madera por Reichenbach en 1832.

Cuando Berzelius acusó a Dumas de haber emitido la "teoría absurda" de que el cloro desempeña el mismo papel que el hidrógeno en los derivados de sustitución, Dumas replicó: "No soy responsable de la generalización exagerada que Laurent ha hecho de mi teoría", pero cuando descubrió el ácido tricloroacético entrevió la posibilidad del éxito de la teoría y entonces Dumas reclamó para sí la exclusividad de la misma. "*Si la théorie tombe, j'en serai l'auteur, si elle réussit, une mitre l'aura faite*", dijo Laurent con cierta amargura. La razón por la cual el cloro puede desempeñar el mismo papel que el hidrógeno es, según Laurent, que todo radical sobre el cual ha actuado el cloro tiene una fuerte tendencia a conservar su tipo. A un agrupamiento de átomos tan estable lo designó primeramente con el nombre de radical, luego con el de núcleo ("*noyau*"). Laurent distinguía entre "núcleos fundamentales" y "núcleos derivados"<sup>476</sup> siendo estos últimos derivados de los primeros por sustitución. La idea no fue tomada en serio ni por Berzelius ni por Liebig; pero Laurent demostró en su *Thesis* de 1837 que esa idea podría ser la base de un método de clasificación de los compuestos orgánicos. Laurent supuso que el núcleo fundamental de una molécula orgánica es un prisma en cuyos vértices están los átomos de carbono, mientras que las aristas están ocupadas por átomos de hidrógeno. Mediante ciertas reacciones químicas, uno o más átomos de hidrógeno pue-

<sup>475</sup> YORKE: *J. Chem. Soc.*, 1855, vii, 149; Grimaux: *Revue Scientifique*, 1896, VI, 161, 203, donde se da como fecha de nacimiento el 14 de septiembre de 1808, siendo la fecha que habitualmente se da el 14 de noviembre de 1807.

<sup>476</sup> *Annales de Chimie*, 1836, LXI, 125; *Chemical Method*, traducción de Odling, 1855.

den ser eliminados; pero para impedir la destrucción de la molécula deben ser sustituidos por otros átomos, como ser de cloro, u otros radicales formándose así núcleos derivados.

#### 14 – 4. Teoría de los tipos de Dumas

Como un resultado de sus experiencias sobre la cloración del ácido acético y probablemente influido por las ideas de Laurent, en el año 1839 Dumas postuló que: "en Química Orgánica existen ciertos tipos que persisten aún cuando en lugar del hidrógeno contienen un volumen igual de cloro, bromo o yodo". En 1840<sup>477</sup> distinguió entre tipos químicos, "sustancias que contienen el mismo número de equivalentes unidos del mismo modo y que poseen las mismas propiedades químicas fundamentales", y tipos mecánicos, sustancias que tienen fórmulas químicas similares y producidas por sustitución, pero diferentes en sus propiedades químicas más importantes. El tipo mecánico fue tomado de Regnault y el germen de los tipos químicos está contenido en el trabajo de Laurent. Como ejemplos pueden citarse:

##### TIPOS QUÍMICOS

Ácido acético  $C_4H_8O_4$

Ácido cloroacético  $C_4H_2Cl_6O_4$

##### TIPOS MECÁNICOS

Gas de los pantanos  $C_2H_2H_6$

Éter metílico  $C_2OH_6$

Ácido fórmico  $C_2H_2O_3$   
( $2CO_2 - H_2O$ )

Cloroformo  $C_2H_2Cl_6$

Cloruro de carbono  $C_2Cl_2Cl_6$

#### 14 – 5. Teoría de los residuos de Gerhardt

En los trabajos sobre Química el nombre de Charles Frédéric Gerhardt suele aparecer muy vinculado al de Laurent<sup>478</sup>. Estudió en Alemania con Liebig y otros químicos de su país y luego se estableció y trabajó en París. En 1844 fue nombrado Profesor en Montpellier, donde encontró muy poco en materia de laboratorio. Fue luego profesor en Estrasburgo en 1855. Gerhardt realizó investigaciones fundamentales en Química Orgánica, siendo la más notable la que realizó en 1852 sobre los anhídridos de ácidos orgánicos. Escribió dos libros de texto originales: *Précis de Chimie Organique*, 2 vols., París 1844-1845, y *Traite de Chimie Organique* 4 vols., París, 1853 – 1856 y 1860 – 1862.

En sus concepciones teóricas, Gerhardt tuvo la desgracia de disentir con la mayor parte de las grandes autoridades de la época, pero al final se reconoció que tenía razón y su influencia sobre los pensadores más independientes, como Williamson y Kekulé, fue muy importante.

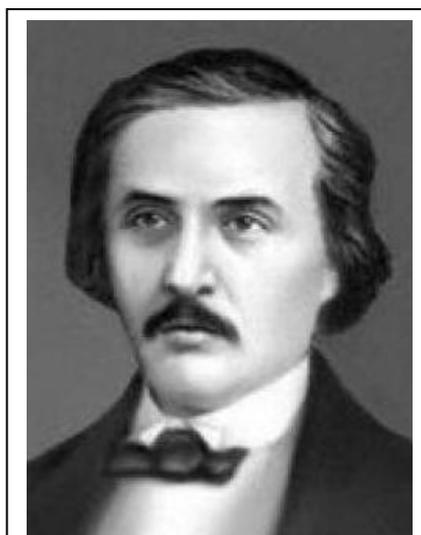
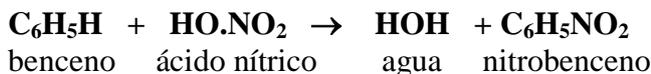


Figura 14.3. Ch. F. Gerhardt (1816 – 1856)

<sup>477</sup> *Annalen*, 1840, XXXIII, 179, 259. *Mémoires de Chimie*, París, 1843.

<sup>478</sup> E. Grimaux y Ch. Gerhardt Junr: *Charles Gerhardt, sa vie, son oeuvre, sa correspondance, etc.*, París, 1900.

En 1839 Gerhardt prestó atención a un nuevo tipo de reacción, al cual llamó primeramente copulación ("*accouplement*") y luego doble descomposición<sup>479</sup>. Este tipo complementó los procesos de adición (Dalton) y sustitución (Dumas) y se logra cuando dos moléculas reaccionan con eliminación de una parte de cada una en forma de un compuesto sencillo (agua, ácido clorhídrico, etc.), y unión de los "residuos" o "radicales".



Estos "residuos" no tienen que ser necesariamente capaces de existencia libre, sólo representan distintas posibilidades de reacciones químicas. El radical tenía para Gerhardt, un significado puramente formal; sus ecuaciones sólo representan: "*les relations qui rattachent les corps entre eux sous le rapport des transformations*". En particular afirmó: "las fórmulas químicas no están destinadas a representar la ordenación de los átomos"<sup>480</sup>, idea que repitió insistentemente en sus escritos. Una única y misma sustancia puede tener varias fórmulas puramente hipotéticas de acuerdo con las reacciones particulares en las que tomara parte.

#### 14 – 6. Fórmulas de Gerhardt de los dos volúmenes y pesos atómicos

Berzelius había definido como equivalentes de los ácidos orgánicos las cantidades que se unían a una molécula de óxido de plata. Pero él consideraba que la fórmula del óxido de plata era AgO (asignándole a la plata un peso atómico de  $2 \times 108$ ). Resulta de lo cual sus fórmulas para los ácidos orgánicos eran dobles de las verdaderas. Además, Berzelius supuso que la molécula de un ácido orgánico estaba formada por un anhídrido y debía contener, al menos, una molécula de agua añadida al anhídrido. Por lo que la fórmula del ácido acético y otros ácidos era doble de la verdadera. En esa época, "equivalente" significaba lo que ahora llamamos peso molecular o *algún múltiplo* del mismo.

Liebig (y Gerhardt hasta 1842) habían usado las que llamaban "fórmulas de los cuatro volúmenes", que representaban la cantidad de sustancia que ocupa (en estado gaseoso) el mismo volumen que "cuatro volúmenes" de hidrógeno ( $\text{H}_4$ ). La confusión se hizo grande porque ellos llamaron "equivalentes" a esas cantidades. Berzelius había usado para el alcohol y el éter las fórmulas correctas de "dos volúmenes". Dumas atribuía gran importancia a las determinaciones de densidades de vapor, pero sus pesos atómicos ( $\text{C} = 6$ ;  $\text{H} = 1$ ;  $\text{O} = 16$ ) no eran los correctos. Como puede apreciarse, reinaba una confusión enorme en el proceso de asignarle fórmulas a las sustancias.

En 1843, Gerhardt hizo notar<sup>481</sup> que con las fórmulas de los compuestos orgánicos que se utilizaban, en las reacciones de sustitución, las sustancias inorgánicas que se eliminaban lo hacían como moléculas dobles:  $\text{H}_4\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{C}_2\text{O}_4$  y  $\text{N}_2\text{H}_6$  o múltiplos de éstas. Pero si las fórmulas de Berzelius para los compuestos sencillos inorgánicos ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ), son correctas, entonces las fórmulas de los compuestos orgánicos de las cuales derivan, deben ser divididas por dos. De este modo postuló que la fórmula del ácido acético es  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$  ( $\text{C} = 12$ ;  $\text{H} = 1$ ;  $\text{O} = 16$ ) y no  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$  ni  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$  ni tampoco  $\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_2 + \text{H}_4\text{O}_2$  ( $\text{C} = 6$ ). De acuerdo con esta hipótesis, la fórmula del ácido tricloroacético debe ser  $\text{C}_2\text{HCl}_3\text{O}_2$  y al haber un único átomo de hidrógeno en la molécula, no puede estar formado por un anhídrido + agua. Análogamente, si la fórmula del acetato de plata es  $\text{C}_2\text{AgH}_3\text{O}_2$ , esta sal no puede contener óxido de plata ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ), por lo que concluye: "no hay agua en nuestros ácidos ni óxidos en sus sales", en abierta contradicción con la hipótesis de Berzelius.

<sup>479</sup> Armales de Chimie, 1839, LXXII, 198; Traite, IV, 566.

<sup>480</sup> Traite de Chimie, IV, 556; cf. pags. 563, 568, 576, 580, etc.

<sup>481</sup> Armales de Chimie, 1843, VII, 129, VIII, 238.

Usando esta hipótesis y los pesos atómicos  $C = 12$ ,  $O = 16$ ,  $S = 32$ , etc., las fórmulas de las sustancias orgánicas se ponían de acuerdo con las de las inorgánicas. Esto implicaba dividir por dos las fórmulas de Berzelius para los compuestos orgánicos, pero conservando sus pesos atómicos.

Con los "nuevos" pesos atómicos las fórmulas de los compuestos volátiles concordaban los pesos de los "dos volúmenes" esto es, el volumen de dos gramos de hidrógeno:  $H_2$ . Este resultado no fue el único principio director que usó Gerhardt sino que también destacó la importancia de la hipótesis de Avogadro. La ley de los calores atómicos y la ley del isomorfismo fueron usadas nuevamente como lo habían sido antes por Berzelius, con la diferencia de que ahora su aplicación era sistemática.

En 1846 Laurent adoptó los pesos atómicos de Gerhardt, dándoles el significado de "la más pequeña cantidad de elemento presente en el peso molecular de cualquiera de sus compuestos". Definió los "equivalentes" como los pesos que tienen el mismo valor en las reacciones o que cumplen las mismas funciones al formar los compuestos y en las descomposiciones<sup>482</sup>.

En ese tiempo reinaba una confusión casi intolerable en los ambientes químicos: se usaban, para las mismas cosas, distintos pesos atómicos y multitud de fórmulas. Se consideraba como una muestra de independencia de un químico el tener su propia serie de fórmulas. Sirve como ejemplo mencionar que en 1861 Kekulé presentó diecinueve fórmulas diferentes para el ácido acético.

## 14 – 7. Stanislao Cannizzaro

El uso de símbolos cruzados, por ejemplo  $\text{HO}$  y  $\text{HO}$ , puesto en práctica por Berzelius para representar átomos dobles daba como resultado fórmulas muy similares a las que se describían, basadas en otras escalas de pesos atómicos. Cuando se omitían las barras que cruzaban los símbolos,

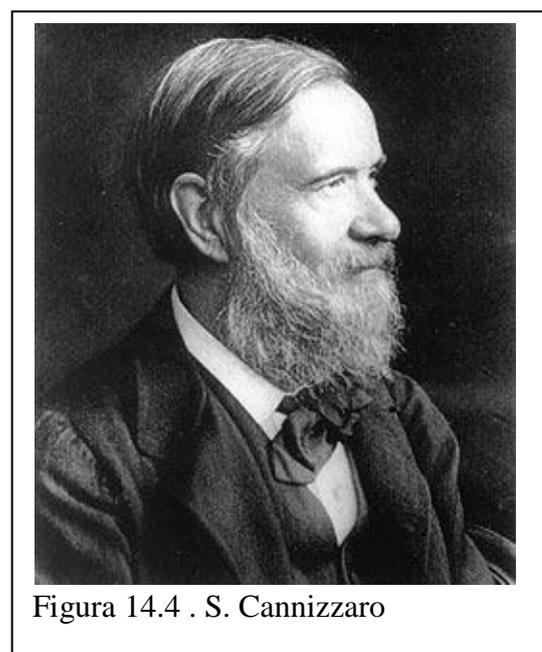


Figura 14.4 . S. Cannizzaro

como sucedía a menudo, no se podía saber cuál era el sistema de pesos atómicos que se usaba. Kekulé y Wurtz usaban símbolos diferentes para representar los pesos atómicos de Gerhardt. La confusión era bastante generalizada. Es por ello que fue ganando consenso la idea de alcanzar algún acuerdo al respecto.

Los principales investigadores de todos los países se reunieron, de acuerdo con ese deseo, en Karlsruhe en diciembre de 1860. Como podía suponerse no se llegó a ningún acuerdo. Dumas emitió la opinión de que había dos Químicas, Inorgánica y Orgánica, y Cannizzaro señaló el hecho de que en ambas se usaban pesos atómicos diferentes. Al final se decidió que cada químico podía seguir usando el sistema que más le agradase. Al final de la conferencia se repartió entre los concurrentes un pequeño folleto escrito por Cannizzaro después de haber leído el cual, Lothar Meyer dijo que: "los velos cayeron de mis ojos, las dudas se desvanecieron y en su lugar

tuve una sensación de certeza serena". El folleto en cuestión estaba escrito en italiano y llevaba el

<sup>482</sup> *Chemical Methods*, trad. de Odling, 1855, 7, 80.

título: *Sunto di un corso di filosofia chimica*. Apareció publicado en el *Nuovo Cimento* en 1859. Fue reimpresso en 1859 en Pisa y en 1880 volvió a publicarse en Roma. La traducción al alemán fue hecha por Lothar Meyer y se publicó en 1891<sup>483</sup>. Las ideas expuestas en ese folleto fueron la base de las clásicas *Modernen Theorien der Chemie*, de Lothar Meyer, publicadas por primera vez en 1864 y es por medio de esa publicación que la mayor parte de los químicos se enteraron de la teoría de Avogadro y de las ideas de Cannizzaro.

Stanislao Cannizzaro nació en Palermo en 1826<sup>484</sup>, estudió en esa ciudad y luego en Nápoles y en 1850 llegó a ser ayudante de Raffaele Piria en la Universidad de Pisa. Su primera investigación sobre el cloruro de cianógeno fue en colaboración con F. S. Cloëz en el laboratorio de Chevreul, en París, y se publicó en el año 1851. En el mismo año obtuvo un nombramiento en Alessandria y en 1853 publicó un importante trabajo referente a la acción de la potasa sobre el benzaldehído, con lo cual se obtiene alcohol bencílico ("reacción de Cannizzaro"). En 1855 fue nombrado Profesor en Génova. En 1861 fue a Palermo y en 1871 a Roma, donde llegó a ser senador. Falleció en 1910.

Cannizzaro fué el primero en darse cuenta de la importancia del trabajo de su compatriota Avogadro<sup>485</sup>. El peso molecular de una sustancia volátil puede encontrarse por determinación de su densidad de vapor, siendo la relación entre ésta y la de una sustancia patrón igual a la relación de los pesos moleculares de ambas. Como sustancia patrón se eligió el hidrógeno, la sustancia menos densa que se conocía; pero puesto que la molécula de hidrógeno contiene *dos* átomos (como lo demostró claramente el razonamiento hecho por Avogadro en 1811), la densidad relativa, respecto del hidrógeno, debe ser multiplicada por dos para dar el peso molecular del vapor como suma de los pesos atómicos, estando estos últimos referidos al  $H = 1$ .

El peso atómico de un elemento es entonces la menor masa de él contenido en una masa igual al peso molecular de sus compuestos volátiles. En el caso de una serie de compuestos volátiles del mismo elemento, las masas de éste contenidas en la masa igual al peso molecular de los distintos compuestos son siempre múltiplos enteros (incluyendo la unidad como factor) de un número que debe tomarse como el peso atómico. Los pesos atómicos así determinados están de acuerdo con la ley de los calores atómicos, la cual se usa, por lo tanto, en los casos en que no pueden encontrarse las densidades de vapor.

La contribución más importante de Cannizzaro consistió en demostrar concluyentemente, como Tilden lo señaló, que: "Hay sólo una Química y un solo conjunto de pesos atómicos". Kekulé dijo en 1859<sup>486</sup> que cuando "los pesos moleculares químicos se comparan con los pesos específicos de los vapores se encuentra que ambos, para casi todos los compuestos, y para todos los compuestos del carbono son idénticos". Gerhardt, no vaciló en escribir las fórmulas  $H_2SO_4$ ,  $PCl_5$ ,  $NH_4Cl$ , pues éstas surgían claramente de consideraciones químicas.

## 14 – 8. Teoría unitaria de Gerhardt

En los años 1841 y 1842, Gerhardt propuso un esquema de clasificación de los compuestos orgánicos basado en sus fórmulas empíricas, ordenándolos en lo que llamaba una "escala de combustión" ("*échelle de combustion*"), colocando las sustancias animales en la parte superior y el dióxido de carbono, el amoníaco y el agua en la parte inferior, aunque más adelante modificó la idea en el sentido de hacerla más útil.

<sup>483</sup> *Klassiker*, de Ostwald, No 30; en inglés, en "Alembic Club Reprint", N° 18.

<sup>484</sup> Tilden: *Memorial Lecture. J. Chem. Soc.*, 1912, p. 1677.

<sup>485</sup> Graebe: *J. Prakt. Chem.*, 1913, LXXXVII, 145, sobre el desarrollo de la teoría molecular.

<sup>486</sup> *Lehrbuch*. I, p. 233.

Gerhardt prestó atención a lo que llamaba *series homólogas de compuestos* con miembros sucesivos que diferían en  $\text{CH}_2$ <sup>487</sup>. "Estas sustancias se transforman (*se méta-morphosent*) de acuerdo con las mismas ecuaciones y sólo es necesario conocer las reacciones de uno de los miembros para predecir las de los otros." Esto constituye uno de los atractivos de la Química Orgánica, tanto en la exposición teórica como en la experimentación.

Como ejemplos de tales series, Gerhardt cita las siguientes (<sup>488</sup>):

$\text{CH}_4\text{O}$	$\text{CH}_2$	$\text{CH}_2\text{O}_2$	$\text{CH}_4\text{SO}_4$	$\text{CH}_3\text{Cl}$
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	$\text{C}_2\text{H}_6\text{SO}_4$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
$\text{C}_{16}\text{H}_{34}\text{O}$	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}$	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}\text{SO}_4$	$\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{Cl}$

La existencia de series homólogas había sido establecida por Jacob Schiel en 1842 y Dumas, había demostrado que existe una relación similar entre los ácidos grasos; pero fue Gerhardt quien generalizó la regularidad y le dio el nombre de *homología*.

En su pequeña *Introduction à l'étude de la chimie par le système unitaire* (Paris, 1848) Gerhardt escribió: Todos los cuerpos se consideran como moléculas únicas cuyos átomos están dispuestos de un modo que es indicado en forma relativa por las reacciones químicas. Cada cuerpo simple o compuesto se considera como un edificio, como un sistema formado por un conjunto ordenado de átomos. Este sistema se llama la molécula de un cuerpo.

#### 14 – 9. August von Hofmann

August Wilhelm von Hofmann nació en Huesen en 1818. Después de unos años de estudio de Filosofía y Leyes, se inclinó por la Química y llegó a ser ayudante de Liebig. Después de una breve estadía en Bonn fue llamado en 1845 por el Príncipe Alberto para un cargo en el recientemente fundado *College of Chemistry* de Londres, que se transformó en una institución oficial en 1853. Luego sucedió a Mitscherlich en Berlín en el año 1865 y en esa ciudad murió en 1892. Los trabajos de Hofmann son tan numerosos que para la *Memorial Lecture* de la *Chemical Society* dedicada a él fue necesario comisionar a varios químicos para que examinasen todos sus escritos<sup>489</sup>. Fue un expositor brillante y su permanencia en Londres fue beneficiosa para la Química inglesa.

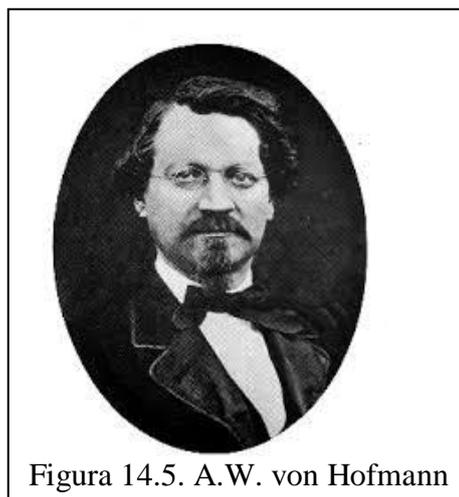


Figura 14.5. A.W. von Hofmann

#### 14 – 10. El tipo amoníaco

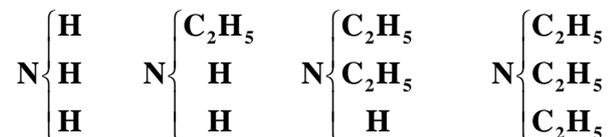
<sup>487</sup> *Précis*. 1845, II. 495.

<sup>488</sup> *Introduction d l'étude de la chimie par le système unitaire*, París, 1848, 291.

<sup>489</sup> *J. Chem. Soc.*, 1896, p. 575.

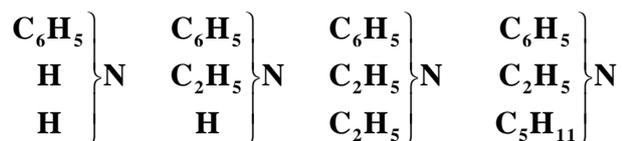
En 1845, Hofmann, estudió las propiedades de los derivados clorados y bromados de la anilina. Éstos, aunque de carácter básico, eran menos básicos que la sustancia originaria, la anilina, debido al carácter negativo o ácido de los halógenos sustituyentes.

En 1849, Wurtz obtuvo accidentalmente metilamina y etilamina por acción de álcalis sobre los ésteres cianicos y cianúricos, y dijo que esas sustancias *podían* representarse como “amoníaco en el cual un equivalente de hidrógeno ha sido reemplazado por metilo o etilo”  $\text{NH}_2\text{Me}$  y  $\text{NH}_2\text{Et}$ . La existencia posible de compuestos que contienen el radical “amida”  $\text{NH}_2 = \text{Ad.}$ , había sido prevista unos diez años antes por Liebig. En 1850 Hofmann<sup>490</sup> demostró que por la acción del yoduro de etilo sobre el amoníaco, todos los átomos de hidrógeno de este pueden ser sucesivamente reemplazados por etilos, formándose así las tres aminas que representaba así:



En el cuarto volumen de su *Traité Gerhardt* llamó a estas aminas: primaria, secundaria y terciaria, respectivamente. Al formularlas como queda consignado, Hofmann creó el llamado “*Tipo Amoníaco*”.

Lo correcto de estas fórmulas se demostró mediante la preparación de la etil y dietilanilina a partir de la anilina y bromuro de etilo y de la etilamilanilina a partir de etilamina y bromuro de amilo.



Anilina    etilanilina    dietilanilina    etilamilanilina

Todas estas sustancias son básicas y, al igual que el amoníaco, forman clorhidratos que se combinan con cloruro platínico para formar compuestos dobles.

En 1855, Hofmann y Auguste Cahours prepararon compuestos similares derivados de la fosfina  $\text{PH}_3$ . Se encontró que la etilamina terciaria se combina mol a mol con yoduro de etilo para formar una sal  $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{I}$  análoga al yoduro de amonio y de la cual se puede obtener la base fuerte  $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{OH}$ , un hidróxido de amonio sustituido. También se prepararon las correspondientes sales de fosfonio y el yoduro de fosfonio ( $\text{PH}_4\text{I}$ ).

## 14 – 11. El tipo agua

En 1846 Laurent había representado al alcohol y al éter como análogos al agua, al hidróxido de potasio y al óxido de potasio.



<sup>490</sup> *Phil. Trans.*, 1850 y 1851.

La idea del “tipo agua” fue generalizada por Williamson.

### 14 – 12. Alexander W. Williamson

Alexander William Williamson nació en Wandsworth en 1824, estudió en Heidelberg y luego, de 1844 a 1846, realizó estudios con Liebig en Giessen. Después de un período de estudios en Paris, sucedió a Fownes en 1849, como profesor de Química Analítica en el University College de Londres y luego en el mismo y en el año 1855 sucedió a Graham en la cátedra de Química General. En el período comprendido entre 1850 y 1860 realizó investigaciones importantes<sup>491</sup> pero desde 1860 hasta su retiro en 1887 no publicó nada digno de mención. Murió en 1904.

El trabajo más importante de Williamson se refiere a las fórmulas del alcohol y del éter y de compuestos a ellos relacionados. Las fórmulas del alcohol y del éter habían sido escritas:

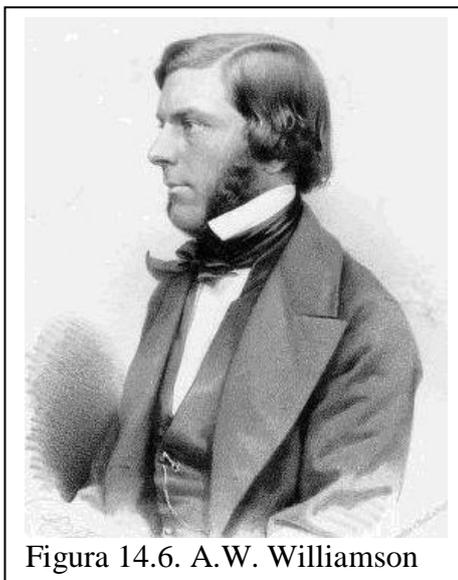


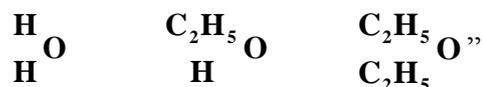
Figura 14.6. A.W. Williamson

	Dumas	Berzelius	Liebig
Alcohol	$\underline{\text{C}}^8\text{H}^8, \text{H}^4\text{O}^2$	$\text{C}^2\text{H}^6\text{O}$	$\text{C}_4\text{H}_{10}, \text{H}_2\text{O}$
Éter	$\underline{\text{C}}^8\text{H}^8, \text{H}^2\text{O}$	$\text{C}^4\text{H}^{10}\text{O}$	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$

Por el año 1850, Williamson tuvo la idea de sustituir en alcoholes conocidos, hidrógeno por radicales alquílicos, de modo de obtener alcoholes superiores. Haciendo reaccionar etanol con potasio obtuvo etóxido de potasio. Hizo reaccionar este último compuesto con yoduro de etilo y así obtuvo éter común. De este experimento, concluyó que el éter debe contener dos radicales etilo. Al respecto escribió: “De este modo el alcohol es  $\begin{matrix} \text{C}_2\text{H}_5\text{O} \\ \text{H} \end{matrix}$  y el compuesto con potasio  $\begin{matrix} \text{C}_2\text{H}_5\text{O} \\ \text{K} \end{matrix}$ ; y por reacción con yoduro de etilo tenemos



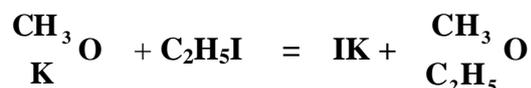
“el alcohol es, por consiguiente, agua en la cual la mitad del hidrógeno se ha reemplazado por hidrógeno carbonado y el éter es agua en la cual ambos átomos de hidrógeno han sido reemplazados por hidrógeno carburado”. Así se tiene



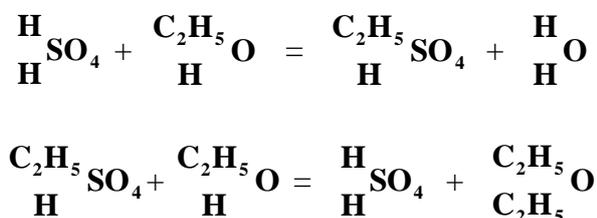
La demostración de que el alcohol y el éter pertenecen al tipo agua se logró preparando un éter mixto que contenía dos radicales de hidrocarburos diferentes, mediante reacción entre metóxido de potasio y el yoduro de etilo.

<sup>491</sup> “Alembic Club Reprint” N° 16, publicaciones de 1850 – 1853.

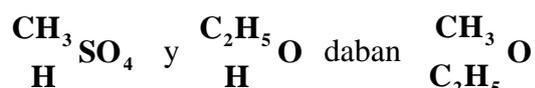
<sup>492</sup> Williamson no usaba llaves en sus fórmulas. Quien las usó fue Gerhardt.



El mecanismo de formación del éter (considerado anteriormente como un mero proceso catalítico) se pudo explicar mediante la formación del “ácido sulfovínico” (sulfato ácido de etilo) y su descomposición posterior por el mismo alcohol.

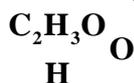


La preparación de éteres mixtos parecía tener un mecanismo similar.

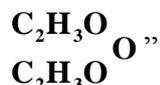


“La formación y descomposición alternada del ácido sulfovínico es, a mi modo de ver y al de los partidarios de la teoría química, la clave para explicar el proceso de eterificación”, afirmó. La teoría de Liebig de que el alcohol era un hidrato de éter y la teoría de Mitscherlich de que la acción del ácido sulfúrico en la formación del éter a partir del alcohol era una acción catalítica, aparecían ahora como incorrectas, a la luz de los trabajos de Williamson.

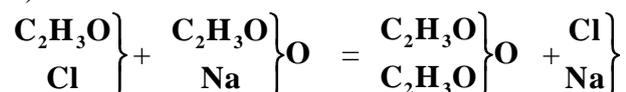
Williamson estableció también que el ácido acético pertenece al tipo agua, en el que el radical acetilo  $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}$  (antes llamado *otilo*) reemplaza al hidrógeno.



“Creo que en toda la Química Inorgánica y para todos los compuestos orgánicos mejor conocidos basta un solo tipo sencillo, es el tipo agua.” “Si los dos átomos de hidrógeno del agua se reemplazan por ... otilo, tendremos el ácido acético anhídrido:

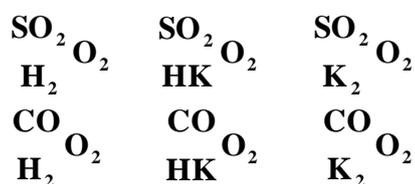


Gerhardt, que en un principio creyó que no podían existir anhídridos de ácidos monobásicos (puesto que la molécula del ácido no contenía una molécula de agua) preparó, en 1852, el compuesto previsto por Williamson, esto es, el anhídrido acético por acción del cloruro de acetilo (descubierto por Cahours en 1848) sobre el acetato de sodio anhídrido:

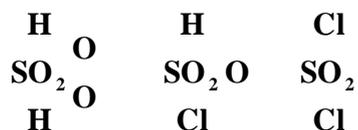


Posteriormente se prepararon otros anhídridos y aún anhídridos mixtos.

Williamson consideraba a los ácidos bibásicos como derivados de dos moléculas de agua. Así, por ejemplo, el ácido sulfúrico derivaba de  $2\text{H}_2\text{O}$  en la cual  $2\text{H}$  eran reemplazados por el radical sulfurilo  $\text{SO}_2$ ; el ácido carbónico de  $2\text{H}_2\text{O}$  en las cuales el radical  $\text{CO}$  reemplazaba a dos hidrógenos.

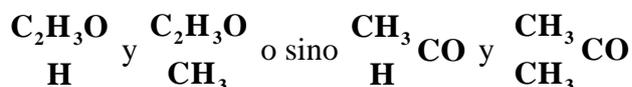


“Un átomo de óxido de carbono equivale aquí a dos átomos de hidrógeno y reemplazándolos, mantiene unidos a los átomos del hidrato en los cuales esos hidrógenos estaban contenidos”. Williamson demostró que por acción del  $\text{PCl}_5$  sobre el ácido sulfúrico, juntamente con el cloruro de sulfurilo,  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  se forma un compuesto intermediario, ácido clorosulfónico (“ácido sulfúrico cloro hidratado”)

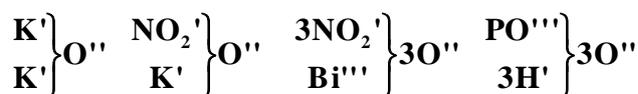


en donde se reemplaza el OH por Cl.

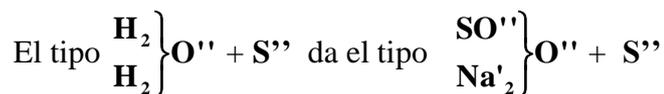
En el año 1852 Williamson obtuvo para la acetona y el acetaldehído las fórmulas correctas. “La aldehído es el hidruro de *otilo*, así como la acetona es el derivado metílico”.



En 1854 William Odling<sup>493</sup> generalizó la idea de los tipos múltiples e introdujo tildes en los símbolos y fórmulas (ej:  $\text{SO}_2''$ ,  $\text{Bi}'''$ ) para indicar el número de átomos de hidrógeno que el radical podía reemplazar. En 1857 Kekulé y Odling introdujeron la noción de tipos mixtos. Los siguientes son ejemplos de las fórmulas de Odling.



Siendo, según él, el tiosulfato de sodio un tipo mixto derivado del agua y del sulfuro de hidrógeno.



### 14 – 13. Teoría de los tipos de Gerhardt

En su memoria de 1853 sobre los anhídridos de los ácidos orgánicos, Gerhardt introdujo *cuatro tipos inorgánicos*, de los cuales consideró que se pueden derivar todos los compuestos orgánicos. “Al hacer derivar un cuerpo del tipo agua quiero significar que a este cuerpo, considerado como un óxido le corresponde un cloruro, un bromuro, un sulfuro, un nitruro, etc., susceptibles de experimentar dobles descomposiciones o provenientes de las mismas análogas a las que presentan el ácido

<sup>493</sup> *J. Chem. Soc.*, 1855, VII, 1.

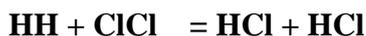
clorhídrico, el ácido bromhídrico, el hidrógeno sulfurado, el amoníaco, etc., o que pueden dar origen a estos mismos compuestos. El tipo es, pues, la unidad de comparación para todos los cuerpos que, como él, son susceptibles de transformaciones análogas o resultan de transformaciones similares<sup>494</sup>.

Los cuatro tipos de Gerhardt eran: agua, ácido clorhídrico, amoníaco e hidrógeno. Sus moléculas y las de sus derivados se consideraban como unidades completas y el conjunto del ordenamiento así obtenido se llamó “*systeme unitaire*”.

Tipo	Derivado etílico	Derivado benzoílico
$\text{O} \begin{cases} \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Agua	$\text{O} \begin{cases} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{H} \end{cases}$ Alcohol	$\text{O} \begin{cases} \text{C}_7\text{H}_5\text{O} \\ \text{H} \end{cases}$ Ácido benzoico
$\begin{cases} \text{H} \\ \text{Cl} \end{cases}$ Ácido clorhídrico	$\begin{cases} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{Cl} \end{cases}$ Cloruro de etilo	$\begin{cases} \text{C}_7\text{H}_5\text{O} \\ \text{Cl} \end{cases}$ Cloruro de benzoílo
$\text{N} \begin{cases} \text{H} \\ \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Amoníaco	$\text{N} \begin{cases} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Etilamina	$\text{N} \begin{cases} \text{C}_7\text{H}_5\text{O} \\ \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Benzamida
$\begin{cases} \text{H} \\ \text{H} \end{cases}$ Hidrógeno	$\begin{cases} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \text{H} \end{cases}$ Hidruro de etilo	$\begin{cases} \text{C}_7\text{H}_5\text{O} \\ \text{H} \end{cases}$ benzaldehido

Los sulfuros, telururos, óxidos, ácidos, bases, sales, alcoholes, etc., pertenecen al tipo agua; los cloruros, bromuros, yoduros, cianuros y fluoruros, al tipo del ácido clorhídrico (Gerhardt no se dio cuenta que realmente estos pertenecen al tipo hidrógeno); los nitruros, fosfuros, arseniuros, etc., pertenecen al tipo amoníaco; los hidruros metálicos, los hidrocarburos y los metales al tipo hidrógeno. Los compuestos más complicados se formaban por sustitución de hidrógenos por radicales en los tipos. Mediante este esquema de clasificación podía preverse la existencia de compuestos desconocidos y en número considerable<sup>495</sup>.

Gerhardt<sup>496</sup> distinguió claramente entre los radicales hidrógeno y cloro (H y Cl) por una parte, e hidrógeno y cloro libres por la otra (H<sub>2</sub> y Cl<sub>2</sub>). Muchas de las llamadas reacciones de adición, dice, son en realidad dobles descomposiciones.



Un paso importante fue la combinación de la teoría de los radicales y la de los tipos<sup>497</sup>. Los ácidos grasos pueden considerarse como derivados del tipo agua por sustitución del hidrógeno por radicales:



<sup>494</sup> Gerhardt, Ch. F., *Traité de Chimie Organique*, 1856, IV. P. 586.

<sup>495</sup> Ver las tablas en el *Traité*, IV, 612-13.

<sup>496</sup> *Traité*, IV, 568, 593.

<sup>497</sup> *Traité*, IV, 604, 610.

Agua      ácido fórmico      ácido acético

Gerhardt llamó a estos radicales monoatómicos, diatómicos, etc., de acuerdo con el hecho de que pueden reemplazar 1, 2, etc. átomos de hidrógeno.

### **Bibliografía**

**Berzelius, J. J., (1843):** *Tratado de Química*, Ignacio Boix, Editor, Madrid.

**Leicester, H.M.; (1956).** *The Historical Background of Chemistry*. J. Wiley & Sons. Ltd. London.

**Lowry, T. M., (1915):** *Historical Introduction to Chemistry*, McMillan & Co, London.

**Moore, F. J. (1918),** *A History of Chemistry*. McGraw – Hill. New York.

**Partington, J. R.: (1989):** *A Short History of Chemistry*, Dover Publications Inc. New York.

**Thorpe, E.; (1911),** *Essays in Historical Chemistry*. Mc Millan & Co. London.



## XV. TEORÍA DE LA VALENCIA

### 15 – 1. Equivalente químico

La expresión *peso equivalente* fue utilizada como una relación entre las masas de distintos ácidos necesarias para neutralizar una masa dada de álcali y, en otros casos, como las masas de álcalis requeridas para neutralizar una masa dada de ácido. Ya en el siglo XIX se comenzó a emplear el concepto de *masa de combinación*, primero como la masa de una sustancia simple que se combina con 10 gramos de oxígeno, y posteriormente, como la masa de un elemento que en un compuesto dado está combinada con 1.0 g de hidrógeno. Peso equivalente y masa de combinación se han usado como sinónimos, aunque el concepto de masa de combinación se refiere a una propiedad de un *elemento* en un compuesto mientras que *peso equivalente* es un concepto aplicado a *sustancias*, inicialmente ácidos y bases y luego extendido a todo tipo de sustancias, compuestas o simples.

### 15 – 2. Antecedentes

La intercambiabilidad de ciertas sustancias en las reacciones químicas ha sido reconocida por los alquimistas medievales quienes, en la búsqueda de la transmutación, a menudo producían reacciones de desplazamiento. Cuando los químicos comenzaron a preguntarse qué cantidad de un material puede sustituirse por una determinada cantidad de otra, comenzó el estudio cuantitativo de la equivalencia química. Durante el siglo XVIII se propusieron criterios teóricos para establecer alguna vinculación cuantitativa entre las sustancias que se combinan y en los primeros años del siglo XIX se compilación múltiples resultados experimentales.

Uno de los primeros antecedentes para establecer una relación de las masas de distintos ácidos que reaccionan con las sales del tártaro ( $K_2CO_3$ ) y las masas de diversas sales obtenidas por neutralización y evaporación, fue publicado en 1699 por Wilhelm Guillaume Homberg (1652 – 1715) en la *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*<sup>498</sup> aunque sus resultados no fueron muy exactos. Otro antecedente que merece destacarse fue la tabla de afinidad publicada en 1718 por Étienne François Geoffroy (1672 – 1731) en la que el autor había ordenado la afinidad de un gran número de sustancias, inclu-

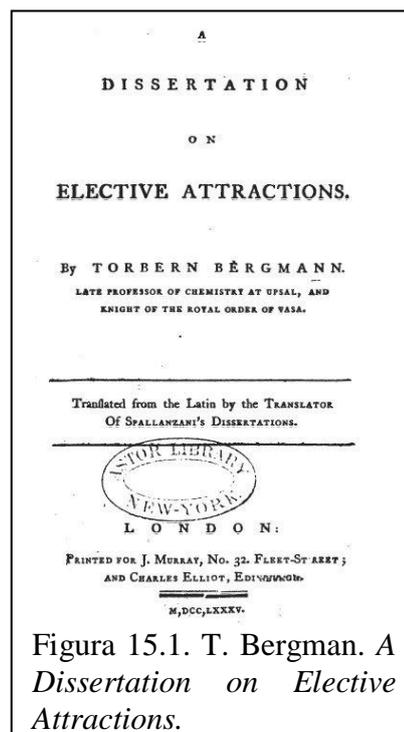


Figura 15.1. T. Bergman. *A Dissertation on Elective Attractions.*

<sup>498</sup> « Observation sur la quantité exacte des sels volatiles acides contenus dans tous les différent spirits acides » (1699) pp. 44 – 51.

yendo ácidos y bases. En el encabezado de cada columna de esa tabla figuraba una sustancia con la cual se combinaban todas las sustancias que se encontraban en las filas inferiores. Las siguientes estaban colocadas de manera tal que cualquiera de ella reemplazaba a las que les seguían en sus combinaciones con la que encabezaba la columna. En 1775, Torbern Olaf Bergmann (1735 – 1784) publicó *Dissertation on Elective Attractions*<sup>499</sup> conteniendo la más extensa tabla de afinidades publicada en ese siglo. Dos años después Carl Friedrich Wentzel (1740 – 1793) publicó un libro titulado *Lehre von der Verwandtschaft der Körper* que tuvo influencia en el desarrollo de la teoría del equivalente químico. También Richard Kirwan publicó, en 1783, unas tablas con las masas de varios metales y de varias bases necesarias para reaccionar completamente con 100 partes de cada uno de los ácidos sulfúrico, nítrico y clorhídrico<sup>500</sup>, tablas que son esencialmente, de pesos equivalentes.

Al referirnos a los inicios de la Química Cuantitativa, hicimos mención a la contribución de Richter a la misma. En sus libros *Anfangsgründe der Stöchiometrie oder Messkunst chymischer Elemente* (publicado en 1792 – 93, en tres volúmenes) y *Ueber die neuen Gegenstände der Chemie* (publicado entre 1791 y 1802, en once partes) volcó una cantidad impresionante de información cuantitativa sobre combinaciones químicas. El segundo de esos tratados es el más importante en lo que respecta al tema que estamos considerando, ya que expresa lo que se conoció como *Ley de Richter* o *Ley de las proporciones recíprocas*.<sup>501</sup>

Richter determinó las masas de varias bases que neutralizaban a una masa constante de cada uno de varios ácidos. A partir de sus resultados experimentales, extrapoló la siguiente generalización:

“Sea  $P$  la masa de un ácido que neutraliza las masas  $a, b, c, d, e$ , etc., de varias bases y sea  $Q$  la masa de otro ácido que neutraliza las masas  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ , etc., de las mismas bases y si las masas de compuestos neutros  $P + \alpha$  y  $Q + \beta$ ,  $P + a$  y  $Q + \gamma$ ,  $P + c$  y  $Q + \delta$ ,  $P + a$  y  $Q + \epsilon$ , etc. se descomponen por doble afinidad, de modo que los productos resultantes sean neutros, se verifica que las masas  $a, b, c, d, e$ , etc., tienen entre sí las relaciones cuantitativas iguales a las correspondientes entre las masas  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ , etc., o inversamente”, que, en términos modernos, se traduce como. “la relación entre los equivalentes químicos de un mismo elemento en varios compuestos es sencilla”

Sobre este enunciado Richter dijo que era “una verdadera ‘piedra de toque’ para los experimentos sobre las proporciones donde se neutralizan ácidos y bases ya que si las proporciones que se determinan experimentalmente no se ajustan a la proposición, entonces esos resultados deben ser rechazados por erróneos...”<sup>502</sup>

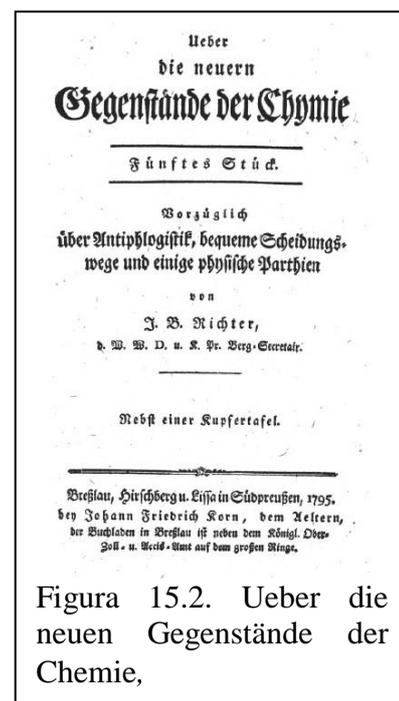


Figura 15.2. Ueber die neuen Gegenstände der Chemie,

<sup>499</sup> Bergman, T. O., (1775): *A Dissertation on Elective Attractions*, J. Murray. London.

<sup>500</sup> Kirwan, R., *Experiments and Observations Concerning the Attractive Powers of the Mineral Acids*; *Phil. Trans.* 1783 73 pp. 15 – 84.

<sup>501</sup> Berzelius contribuyó involuntariamente a propagar la creencia errónea que el trabajo de Richter de 1792 era de Wentzel.

<sup>502</sup> Las palabras de Richter fueron (Parte IV, p. 69): "Dieser Lehrsatz ist ein wahrer Proberstein der angestellten sich auf Neutralitäts-Verhältnisse beziehenden versuche; denn, wenn die empirisch aufgefundenen Verhältnisse nicht von der Beschaffenheit sind, wie sie das Gesetz der wirklich vorhandenen mit unveränderter Neutralität begleiteten Zerlegung durch die doppelte Verwandtschaft erfordert, so sind sie ohne weitere Untersuchung als unrichtig zu verwerfen, und es ist alsdenn in den angestellten Versuchen ein Irrthum vorgefallen."

### 15 – 3. La escala de equivalentes de Wollaston

El 4 de noviembre de 1813, William Hyde Wollaston, leyó ante la Royal Society su trabajo “*A Synoptic Scale of Chemical Equivalents*”<sup>503</sup>, donde reconoció al trabajo de Richter como un mojón en la teoría de los pesos equivalentes y también que “la primera instancia en la cual el mismo cuerpo se supone unido con diferentes dosis de otros, en tales proporciones que una de esas dosis es un simple múltiplo del otro fue descubierto por el Sr. Higgins, quien concibió, más que realmente observó la ocurrencia, de cierto sucesivo grado de oxidación del nitrógeno”<sup>504</sup>.

Los trabajos de Richter y las conclusiones de Higgins le dieron a Wollaston la idea de construir una tabla de equivalentes tomando como referencia la multiplicidad de los pesos equivalentes en compuestos formados por los mismos elementos.

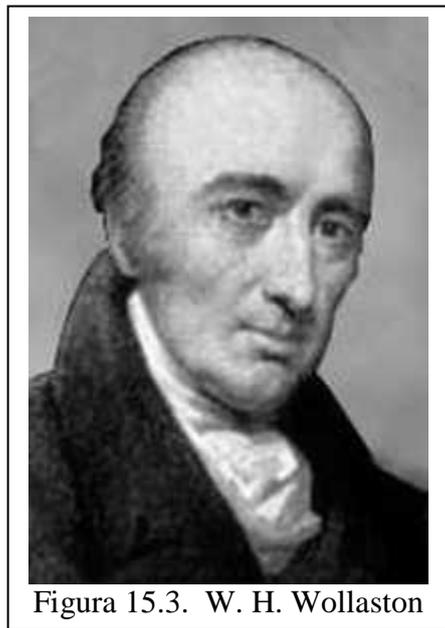


Figura 15.3. W. H. Wollaston

La idea de Wollaston era sustituir los pesos atómicos completamente hipotéticos de Dalton por cantidades determinadas empíricamente. Tomando como peso relativo del oxígeno el valor 10, a partir de diversas combinaciones binarias y apoyándose en las relaciones entre las densidades de sustancias gaseosas encontró que el peso relativo del “protóxido de carbono” era 17.54, el “deotóxido de carbono” ( $\text{CO}_2$ ) era 27,54, lo que muestra que la masa de oxígeno que se combina con 7,54 gramos de carbono en el deotóxido de carbono es el doble de la que se combina con 7,54g de carbono en el protóxido de carbono. De esta manera fue elaborando su tabla. Sin embargo, muchos de los pesos equivalentes hallados por Wollaston son, en rigor, pesos atómicos. Así, el peso atómico asignado por Dalton para el N era idéntico a lo que actualmente consideramos su masa de combinación, mientras que el así llamado peso equivalente de Wollaston era idéntico a lo que hoy llamamos peso atómico. Otros pesos equivalentes eran tan hipotéticos como los pesos

atómicos de Dalton.

A partir de los trabajos de Faraday, la teoría de la equivalencia electrolítica, que considera como equivalentes aquellas cantidades separadas electrolíticamente por la misma corriente eléctrica en un tiempo dado, pudo dar algunas explicaciones más consecuentes que las teorías de de la equivalencia propuestas anteriormente (Por supuesto, sólo para electrolitos)

La necesidad de una distinción completa entre pesos equivalentes y atómicos, a fin de que las dos ideas se puedan usar separadamente y no una en lugar de otra, se reconoció inicialmente durante la lucha entre las teorías químicas dualista y las unitarias o de tipos.

La experiencia había mostrado que el hidrógeno tiene el peso atómico más pequeño de todos los elementos, y también el peso equivalente más pequeño; también que el peso atómico de cada uno de los demás elementos es equivalente, al menos, al peso atómico de hidrógeno y, a menudo, a algún múltiplo de él, pero nunca a una fracción de ese peso atómico. De ahí el peso atómico de hidrógeno

<sup>503</sup> *Philosophical Transactions*, 1814: 1 – 22.

<sup>504</sup> *A comparative View of the phlogistic and antiphlogistic theories*, 1789, p. 133. De sus experimentos cuantitativos, Higgins había encontrado que las masas de oxígeno que se combinan con una masa dada de nitrógeno en los 5 óxidos de nitrógeno conocidos eran múltiplos enteros de una cierta cantidad. De allí infirió que la diferencia entre esos óxidos radicaba en el número de átomos de oxígeno unidos uno de nitrógeno en las distintas moléculas: 1, 2, 3, 4 y 5. Del análisis cuantitativo de los óxidos de azufre concluyó que los números de átomos de oxígeno que se combinan con un átomo de azufre en esos compuestos son 1 y 2. Además, como los óxidos de nitrógeno eran todos gaseosos a temperatura ambiente, estableció empíricamente las leyes de la combinación en volumen de Gay – Lussac.

se tomó como la unidad para pesos equivalentes y, a mediados del siglo XIX la comunidad química aceptaba que el peso equivalente de un elemento es que la masa de ese elemento que es equivalente a un gramo de hidrógeno.

#### 15 – 4. La ley de la atomicidad de Frankland.

También se fue expandiendo la idea, aunque inicialmente algo difusa, de *valencia* como capacidad de combinación de un átomo en un compuesto tomando al átomo de hidrógeno como unidad.

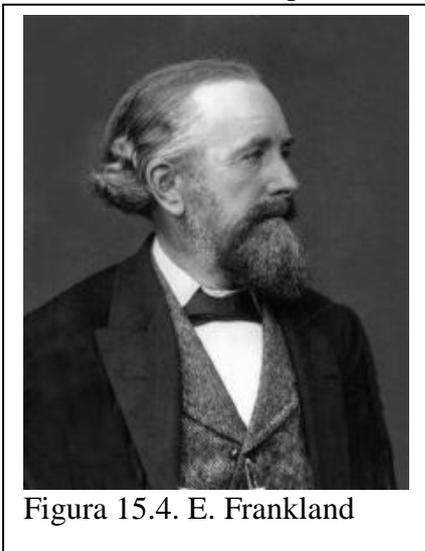


Figura 15.4. E. Frankland

Así, en 1852, Frankland<sup>505</sup> aplicó la noción de valencia de los elementos para explicitar mediante las fórmulas de los compuestos la similitud de comportamiento de algunos elementos. Al respecto escribió:

“Cuando se consideran las fórmulas de los compuestos químicos inorgánicos, aún un observador superficial se impresionaría de la simetría general de su construcción. Especialmente, los compuestos de nitrógeno, fósforo, antimonio y arsénico, exhiben su tendencia a formar compuestos que contienen 3 ó 5 átomos de otros elementos; y es en estas proporciones que sus afinidades quedan mejor satisfechas; así en el grupo ternario tenemos,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NS}_3$ ,  $\text{PO}_3$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{SbO}_3$ ,  $\text{SbCl}_3$ ,  $\text{AsO}_2$ ,  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{AsCl}_3$ , etc.

En el grupo de los cinco átomos:  $\text{NO}_5$ ,  $\text{NH}_4\text{O}$ ,  $\text{NH}_4\text{I}$ ,  $\text{PO}_5$ ,  $\text{PH}_4\text{I}$ , etc.”<sup>506</sup>

Sin ofrecer ninguna hipótesis respecto de las causas de este sistemático agrupamiento de átomos Frankland afirmó

*“es suficientemente evidente, de los ejemplos que acabamos de dar, que tal tendencia o ley prevalece y que sin importar el carácter que tenga la unión de estos átomos, el poder de combinación de los elementos atractivos, — si se me permite usar el término — queda siempre satisfecho por el mismo número de esos átomos”.*

Después de 1860, el enunciado en *italica* fue llamado por Frankland: “*la ley de la atomicidad*”. En una nota preliminar a sus trabajos sobre “Compuestos órgano-metálicos” en la edición de sus *Researches*<sup>507</sup>, Frankland dijo que hasta que Cannizzaro puso los pesos atómicos de los elementos metálicos sobre sus bases consistentes actuales, fue imposible el desarrollo de la doctrina de la atomicidad”

Unos meses antes de la publicación de Frankland, Williamson publicó su trabajo “*On the constitution of Salts*” en la *Chemical Gazette* de 1851 (luego apareció como abstract en *C.S. Journal*, **4**, 350 [1852]). En este trabajo sostuvo que muchas transformaciones químicas se pueden representar como consistentes en la sustitución de un átomo o grupo de átomos, por otro átomo o grupo atómico. Este trabajo estableció las bases que prepararon el camino hacia la *ley de atomicidad* de Frankland.

<sup>505</sup> *Phil. Trans.*, 142, 417; esta memoria lleva por título “On a new series of Organic bodies containing metals.”

<sup>506</sup> Frankland usaba como pesos atómicos: O = 8, S = 16, N = 14, P = 31, As = 75, Sb = 122, I = 127, Cl = 35,5.

<sup>507</sup> **Frankland, E. (1877):** *Experimental Researches in Pure, Applied, and Physical Chemistry*, London, p. 154.

### 15 – 5. Las fórmulas de Odling

En 1855, William Odling<sup>508</sup> dio un gran número de ejemplos que mostraban que los átomos de ciertos elementos tienen, cada uno, más de un valor reemplazable, representativo o de sustitución. Por ello, propuso marcar “*estos diferentes valores de sustitución por uno o más tildes a la derecha o a la izquierda del símbolo químico... así, H' representa a un átomo de hidrógeno, Sn', representa a un átomo de estaño tal como existe en las sales estannosas; ... Sn'' el mismo átomo de estaño ... como existe en las sales estánicas ... De esto resulta evidente que al hacer sustituciones equivalentes por 1, 2 ó 3 átomos de hidrógeno, respectivamente, el número de átomos introducidos puede variar muy considerablemente, dado que el valor total del exponente permanece siendo el mismo: así 3 átomos de hidrógeno H'H'H' pueden ser perfectamente reemplazados por K'K'K', por 1,5 Sn'', o Sn''+ K', ... por Bi'''' ...*”

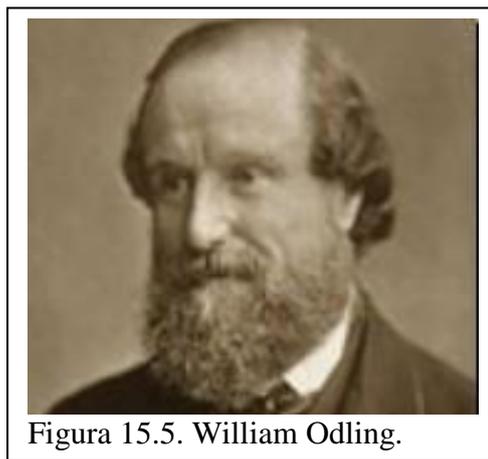


Figura 15.5. William Odling.

### 15 – 6. Kekulé y Scott Couper: la tetravalencia del carbono

En 1857, Kekulé publicó una memoria muy importante<sup>509</sup> en la que dijo que su comunicación era meramente un desarrollo de las ideas que habían sido extendidas por Odling. Kekulé clasificó a los elementos de acuerdo con el número de átomos, o grupos atómicos, con los cuales se combina un átomo de cada elemento. Al respecto dio ejemplos de los tres grupos principales.

I. Elementos monobásicos o monoatómicos, por ejemplo H, Cl, Br, K.

II. Elementos dibásicos o diatómicos. Por ejemplo, O, S.

III. Elementos tribásicos o triatómicos. Por ejemplo N, P, As.

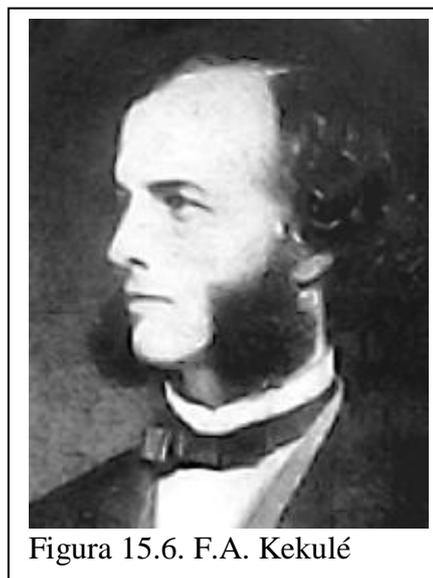


Figura 15.6. F.A. Kekulé

El carbono es un elemento tetrabásico o tetratómico, esto es, un átomo de carbono ( $C = 12$ ) es equivalente a 4 átomos de hidrógeno. Kekulé dio ejemplos de especies poliatómicas o grupos atómicos, reemplazando algunos elementos monoatómicos y uniendo así los residuos de dos o más moléculas en una nueva molécula.

<sup>508</sup> En un trabajo titulado "On the Constitution of Acids and Salts", *C. S. Journal*, 7, 1.

<sup>509</sup> "Ueber die s. g. gepaarten Verbindungen und die Theorie der mehratomigen Radicalen", *Annal. Chem. Pharm.*, 104, 129.

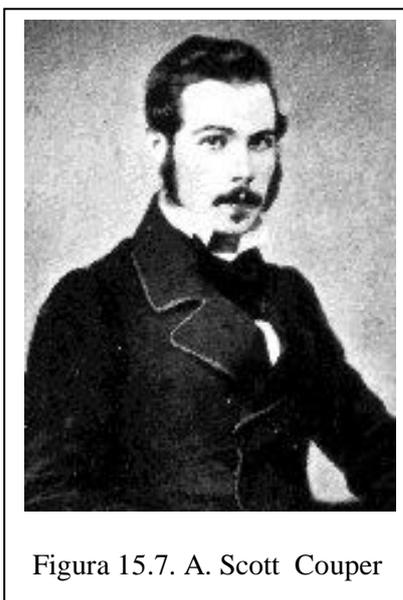


Figura 15.7. A. Scott Couper

En el *Philosophical Magazine* de 1858, se publicó un trabajo muy interesante de Archibald Scott Couper titulado “*On a New Chemical Theory*”<sup>510</sup> En esta memoria Couper insistió en la necesidad de estudiar y comparar las propiedades de las sustancias con el propósito de encontrar las funciones que cumplen los elementos individuales.

“Hay un rasgo dominante, una propiedad inherente, común a todos los elementos. Se ha denominado afinidad química. Se ha descubierto bajo dos aspectos: (1) afinidad de clase, (2) afinidad de grado. La afinidad de clase es la afinidad especial manifestada entre los elementos, la de uno por los otros, etc. como la del carbono por el oxígeno, por el cloro, por el hidrógeno, etc. En cambio, la afinidad de grado es el grado, o también los límites de combinación, que muestran los elementos. Por ejemplo,  $C_2O_2$  y  $C_2O_4$  son los grados de afinidad que muestra el carbono por el oxígeno.  $C_2O_2$  puede llamarse la “afinidad de primer grado” y  $C_2O_4$  la afinidad de segundo grado<sup>511</sup>. Como no se ha encontrado un grado más alto, esta es la afinidad última o límite de combinación... He aquí una propiedad común inherente a todos los elementos, que si se la remueve, el carácter químico de un elemento se destruirá y que en virtud de la misma un elemento encuentra su lugar en un cuerpo complejo”

### 15 – 7. Las “atomicidades” de los elementos según Cannizzaro

En sus conferencias dadas en los últimos años de la década de 1850, Cannizzaro trató en detalle el tema de la equivalencia de los átomos<sup>512</sup>. El comparó dos series de cloruros

HCl	Hg	Cu	KCl	Na	LiCl	A	A	e
	Cl	Cl		Cl	l	gCl	uCl	tc.
2	HgCl	Cu	ZnC	PbC	CaC	SnC	P	Etc,
	Cl <sup>2</sup>	l <sup>2</sup>	tCl <sup>2</sup>	etc.				

y puntualizó que un átomo de un metal se combina con un átomo de cloro y también con dos átomos de cloro. “En el primer caso, digo que un átomo de metal es equivalente a un átomo de hidrógeno y en el segundo caso, que es equivalente a dos átomos de hidrógeno”. Cannizzaro comparó entonces varias reacciones y mostró que la cantidad de cloro que se combina con un átomo de cinc, plomo etc., también se combina con dos átomos de hidrógeno, dos átomos de potasio, dos átomos de plata, etc. Así es la cantidad de oxígeno o de cualquier otro elemento que se combina con un átomo de cinc, de plomo, etc. y la misma cantidad que se combina con dos átomos de hidrógeno, dos átomos de potasio, dos átomos de plata, etc. Al respecto, Cannizzaro dijo “Esto prueba que la propiedad de la primera clase de átomos de ser equivalente cada dos átomos de la segunda clase de átomos depende de una causa que deberá encontrarse o en la naturaleza de los mismos átomos o en la condición que permite su combinación... Cada átomo de la primera clase, tiene una capacidad de saturación doble que cada átomo de la segunda clase”.

<sup>510</sup> *Phi. Mag.* [4], 16, 104.

<sup>511</sup> Couper usaba pesos atómicos C = 6 y O = 8. En fórmulas modernas, sus dos óxidos de carbono serían CO y CO<sub>2</sub>.

<sup>512</sup> “Sunto di un corso di filosofia chimica, fatto nella R. Università di Genova”, *Il Nuovo Cimento*, vol. 7, pp. 321-366.

Cannizzaro clasificó a los elementos en monoatómicos, diatómicos, triatómicos, etc., de acuerdo a si en sus combinaciones eran equivalentes a uno, dos, tres, etc. átomos de hidrógeno o de cloro<sup>513</sup> e insistió en la diferencia entre la ley de la equivalencia y la ley de los átomos. La ley de los átomos la enunció:

“Los diferentes pesos del mismo elemento contenido en varias moléculas, son siempre múltiplos de una única y misma cantidad, que por ser siempre entera tiene el derecho de ser llamada átomo”.

Para el caso de sustancias al estado gaseoso afirmó:

“Las diferentes cantidades del mismo elemento, contenido en volúmenes iguales, ya sea de elementos libres o sus compuestos, son todas múltiplos enteros de una única y misma cantidad. Esto es, cada elemento tiene un valor numérico especial, mediante el cual y con coeficientes enteros puede expresarse la composición en peso de volúmenes iguales de las diferentes sustancias en las cuales puede estar contenido”.

La ley de los equivalentes afirma que toda sustancia compuesta debe contener átomos de los elementos que la forman en cantidades proporcionales a los números que resultan de relacionar los pesos de cada elemento en sustancias distintas.

Esta ley no puede predecir, por ejemplo, que un átomo de cinc, que es equivalente a dos átomos de hidrógeno en el compuesto que forma con cloro, sea también equivalente a dos átomos de hidrógeno en todos los demás compuestos en los que puede entrar. “La inalterabilidad de las proporciones entre las masas de los diferentes elementos que mutuamente se reemplazan, cualesquiera sean la naturaleza y el número de otros elementos presentes, es una ley que limita el número de compuestos posibles y, más especialmente, se aplica a todos los casos de doble intercambio”.

Cannizzaro mostró como se determina la capacidad de saturación (o la atomicidad) de un grupo atómico estudiando la composición de moléculas formadas por ese grupo y átomos de hidrógeno, cloro, bromo o yodo y aplicando la ley de los átomos y la ley de equivalencia, estudiando la composición de las moléculas formadas por grupos de átomos de hidrógeno, cloro, bromo y yodo. Aplicando esas leyes a muchas reacciones pudo establecer las fórmulas de muchos compuestos. Para enfatizar la semejanza entre reacciones similares, Cannizzaro usó los símbolos R', R'', R''', etc., para denotar los átomos o grupos de átomos monoatómicos, diatómicos o triatómicos.

## 15 – 8. Las valencias de los elementos según von Hofmann

August Wilhelm von Hofmann, en su libro *Introduction to Modern Chemistry, experimental and theoretic*, publicado en 1865, hizo un desarrollo importante para aclarar la concepción de la equivalencia de los átomos. Mediante la tabla de la página 166, explicó cómo se forman las moléculas de HCl, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> y CH<sub>4</sub>

En esta tabla, la columna 3 representa los pesos atómicos de los elementos. En la columna 4 se dan los pesos equivalentes, en este caso, las masas de los elementos que se combinan con 1g de hidrógeno. Los valores de la tabla 5 corresponden a lo que hoy llamamos valencia

<sup>513</sup> Cannizzaro mencionó que Gaudin (*Annal. Chim. Phys.* 1833, pp. 113) había aplicado los términos “monoatómico” y “diatómico” para moléculas conteniendo uno y dos átomos respectivamente; pero que él prefirió usar la palabra *atomicidad* para expresar la capacidad de saturación de los átomos.

**VALORES QUÍMICOS. FORMACIÓN DE MOLÉCULAS Y FIJACIÓN DE ÁTOMOS DEL ELEMENTO HIDRÓGENO Y LAS RELACIONES CON LOS VALORES DE CUATRO ELEMENTOS TÍPICOS.**

Los cuatro elementos típicos precedidos por el elemento hidrógeno		Masa mínima requerida		Relación de los números de las columnas (3) y (4)
Nombres (1)	Símbolos (2)	Para tomar parte en la formación de una molécula (3)	Para unirse a un átomo estándar (4)	
Hidrógeno	H	1	1	$\frac{1}{1} = 1$
Cloro	Cl	35,5	35,5	$\frac{35,5}{35,5} = 1$
Oxígeno	O	16	8	$\frac{16}{8} = 2$
Nitrógeno	N	14	4,66	$\frac{14}{4,66} = 3,$
Carbono	C	12	3	$\frac{12}{3} = 4$

Hofmann sostuvo que el término atomicidad se había vuelto costumbre entre los químicos pero que daba lugar a confusión ya que, monoatómicos, diatómicos, etc. parecían referirse a la estructura de los átomos o grupos atómicos que entraban en las combinaciones químicas. Así el elemento carbono en el radical metilo era llamado por los químicos “tetraatómico” y cuando el grupo metilo sustituía a un átomo de hidrógeno en otro compuesto era “monoatómico”, pero eso no implicaba que el radical metilo estuviese formado por un solo átomo. Entonces propuso sustituir el término *atomicidad* por *cuantivalencia* y designar a los elementos como *univalentes*, *divalentes*, *trivalentes*, etc., de acuerdo con el número de átomos que entran en combinación para formar una sustancia dada. Respecto del significado de cuantivalencia, Hofmann escribió: “Esta palabra se emplea para designar el particular poder de compensación atómico inherente a cada elemento en un compuesto y este poder no debe confundirse con la intensidad específica de sus respectivas actividades. Así, por ejemplo, el nitrógeno, el fósforo y el arsénico son todos cuerpos trivalentes, pero esta igualdad en sus valores de compensación atómica no implica que están dotados de igual *avidez* por tal o cual elemento —por decir, oxígeno o hidrógeno.”<sup>514</sup>

### 15 – 9. Las opiniones de Lothar Meyer sobre la valencia

La anarquía existente en las escalas de pesos atómicos y la reticencia de los químicos a aceptar la hipótesis de Avogadro provocaron tal diversidad de fórmulas asignadas a un mismo compuesto que, en 1853, Auguste Laurent recopiló 12 fórmulas diferentes para el ácido acético<sup>515</sup>. El congreso de Karlsruhe, si bien no logró unanimidad respecto de las escalas de pesos atómicos hizo conocer entre sus asistentes el trabajo de Cannizzaro. Julius Lothar Meyer fue el principal propagandista del trabajo de Cannizzaro y en su libro *Die Modernen Theorien der Chemie und Ihre Bedeutung für die Chemische Mechanik* publicado en 1862 y seguido de varias ediciones contribuyó enormemente a

<sup>514</sup> Hofmann, A.W., [1865] *Modern Chemistry* ...p. 183.

<sup>515</sup> En 1861, Kekulé encontró 19 fórmulas distintas para ese ácido.

que la comunidad química acepte la hipótesis de Avogadro y que con esa aceptación se fueran las diferencias entre masas de combinación y pesos atómicos, llegándose a una definición operacional de valencia de un elemento en un compuesto dado como el número que resulta de dividir el peso atómico sobre la masa de combinación de ese elemento en ese compuesto. Refiriéndose a las dificultades en determinar las masas de combinación, especialmente en compuestos orgánicos, Meyer escribió:



Figura 15.8. Lothar Meyer

“En la determinación del peso equivalente y de la valencia de un elemento, se deben cumplir ciertas condiciones, ya que cuando la concepción de equivalencia era menos clara, se consideraba como superflua e innecesaria. Las cantidades de elementos se consideraron como equivalentes cuando se combinan con la misma cantidad de otro elemento, con total indiferencia en cuanto a si los elementos que formaron el compuesto ejercieron un número igual de unidades de combinación. Pero consecuentemente con el desarrollo de la teoría de las uniones atómicas, la idea de la equivalencia se ha ido fijando en este aspecto, de manera tal que ahora se consideran como realmente equivalentes aquellas cantidades de elementos diferentes, que poseen el mismo número de unidades de combinación, es decir, aquellas cantidades que son capaces de combinarse con la misma cantidad de otras sustancias directamente y sin la intervención de una tercera sustancia. De ahí es necesario averiguar el modo de las uniones atómicas en tales compuestos y a partir de su composición deducir la valencia de un elemento.”

“La limitación introducida en estas definiciones, de que los elementos se deben unir directamente en el compuesto y no combinados indirectamente por medio de otros elementos, estableció la distinción más esencial entre las opiniones sostenidas anteriormente sobre este tema y las del presente. Sin embargo, esta limitación ha aumentado bastante las dificultades de determinar el peso equivalente de un elemento, pero esto era necesario a fin de dar el carácter decisivo al problema, y a hacer posible el logro de una solución inequívoca de la cuestión. La introducción de ideas más definidas sirvió para vencer la influencia de caprichos perniciosos, que durante mucho tiempo habían dado a la idea de la equivalencia química una importación muy dudosa, haciendo de los pesos equivalentes magnitudes variables y escondiendo y confundiendo completamente sus relaciones con los pesos atómicos.”

“La limitación introducida en estas definiciones, de que los elementos se deben unir directamente en el compuesto y no combinados indirectamente por medio de otros elementos, estableció la distinción más esencial entre las opiniones sostenidas anteriormente sobre este tema y las del presente. Sin embargo, esta limitación ha aumentado bastante las dificultades de determinar el peso equivalente de un elemento, pero esto era necesario a fin de dar el carácter decisivo al problema, y a hacer posible el logro de una solución inequívoca de la cuestión. La introducción de ideas más definidas sirvió para vencer la influencia de caprichos perniciosos, que durante mucho tiempo habían dado a la idea de la equivalencia química una importación muy dudosa, haciendo de los pesos equivalentes magnitudes variables y escondiendo y confundiendo completamente sus relaciones con los pesos atómicos.”

“Mientras que antes se pensaba que el conocimiento de la composición de uno o varios compuestos de un elemento era suficiente para determinar el peso equivalente de ese elemento, ahora requerimos un conocimiento de la unión del átomo en estos compuestos, y esto requiere que el peso molecular del compuesto y el peso atómico del elemento referido también se debieran conocer. Por lo tanto se entenderá fácilmente que, como se supuso antes, el peso equivalente no se puede determinar solamente de un conocimiento de la composición estequiométrica de cualquier compuesto particular.

“Además, en aquellos compuestos en los que no se conocen con certeza y exactitud suficiente las uniones entre los átomos no se pueden hacer afirmaciones definitivas acerca de los equivalentes de cada elemento. Aquellos compuestos que suministran la información que permite determinar el equivalente de un elemento son los que en sus moléculas contienen un solo átomo de ese elemento

nido a un átomo o a un radical monovalente, ya que se excluye la posibilidad de que un átomo esté unido a otro del mismo elemento.”<sup>516</sup>

## Bibliografía

**Meyer, J. L. (1880):** *Die Modernen Theorien der Chemie*. 4º Ed. Maruschke & Berend, Breslau.

**Partington, J.R., (1989):** *A Short History of Chemistry*, 3th. Ed., Dover Publications Inc. New York.

**Pattison Muir, M, M., (1907):** *A History of Chemical Theories and Laws*. John Wiley & Sons, New York.

**von Hofmann, A. W., (1865):** *Introduction to Modern Chemistry, experimental and theoretic*, Walton & Maberley, London.

---

<sup>516</sup> Traducido de **Meyer, J. L., (1880):** *Die Modernen Theorien der Chemie*. 4º Ed. Maruschke & Berend, Breslau. T.1. pp. 330 – 331.

## ***XVI. CLASIFICACIÓN PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS.***

### **16 – 1. Introducción**

Alrededor del año 430 a.C. Empédocles de Agrigento enunció su teoría de los cuatro elementos constitutivos de toda la materia, la que fue aceptada y difundida por Aristóteles. La idea de que toda la materia estaba formada por esos cuatro elementos perduró durante siglos. Sin embargo, los alquimistas medievales establecieron conclusiones más realistas acerca de la constitución de la materia y así Jabir incorpora a la Alquimia la “teoría” de que, al influjo de los planetas, los metales se forman en la tierra por la unión del azufre —que aporta las naturalezas calidez y sequedad— y el mercurio —que provee la frialdad y la humedad. En el siglo IX Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyya (Al Razi) sostuvo que había un tercer elemento primigenio constituyente de todos los metales, la sal, responsable de la solidez de esos materiales. Paracelso, creador de la Iatroquímica, o Química Médica extendió la concepción de tres elementos primigenios de Razi a *todas* las sustancias ya sean minerales, vegetales o animales. Su contemporáneo, Georg Landmann, conocido como Agrícola, escribió *De re metallica* donde expuso en forma clara y desprovista de toda especulación filosófica los conocimientos que se tenían sobre los metales distinguiéndolos de los que hoy llamamos “no metales”. La búsqueda de la transmutación de metales en oro permitió descubrir otros elementos. Lavoisier en su *Traité élémentaire de Chimie* (1789) identificó 33 sustancias simples formadas por elementos diferentes<sup>517</sup>. El desarrollo de la teoría atómica y los métodos para la determinación de masas moleculares relativas posibilitó el descubrimiento de un gran número de elementos y hacia 1860 ya se conocían alrededor de 60.

Cuando en cualquier campo de la Ciencia, el científico se encuentra con una colección de objetos a estudiar, su primera tarea es buscar las características comunes y agruparlos según las variedades que encuentre. La Química no escapa a esta metodología y desde la Edad Media ya los alquimistas se dedicaron a la búsqueda de regularidades para agrupar a las sustancias.

### **16 – 2. Clasificación de las sustancias simples. Primeros intentos**

El primer esquema de clasificación de las sustancias simples naturales consistió en dividir las en dos grupos: metales y no metales. Los metales tienen un cierto brillo característico, a temperatura ambiente son sólidos, de color gris o amarillo, son maleables y dúctiles, buenos conductores del calor y la electricidad y en sus combinaciones con el oxígeno forman óxidos llamados óxidos básicos. Los no metales presentan diversos aspectos físicos, no son conductores del calor ni de la electricidad y forman óxidos ácidos con el oxígeno.

---

<sup>517</sup> Entre ellas incluyó algunas como el calórico o la luz bajo una categoría especial: elementos imponderables (que no se pueden pesar)

La clasificación de las sustancias simples en metales y no metales es, en cierto modo, artificiosa. El grafito es un no metal y es buen conductor de la electricidad. El yodo al estado sólido tiene brillo metálico. El mercurio es líquido a temperatura ambiente. Por otra parte, algunos óxidos, como el de aluminio, se comportan como básicos o como ácidos según la acidez del medio en que se los coloque. A pesar de estas objeciones, la distinción entre metales y no metales se utiliza aún hoy.



### 16 – 3. Las tríadas de Döbereiner

Con la teoría atómica de Dalton comienza a considerarse a la masa de los átomos como una de las propiedades más significativas. El primer intento de correlacionar las propiedades químicas de los elementos con sus masas atómicas relativas fue realizada en 1817 por Johann Wolfgang Döbereiner (1780 – 1849), quien encontró que la masa atómica relativa del estroncio (en rigor su masa de combinación) era aproximadamente igual al valor medio de las masas atómicas relativas del calcio y del bario, elementos químicamente análogos al estroncio. Entre 1817 y 1829 mostró la existencia de otros grupos de tres elementos llamados *tríadas*, como cloro - bromo - yodo, litio - sodio - potasio, azufre - selenio - telurio, en los que se daba la misma relación para la masa atómica relativa del elemento intermedio. Además, observó una tríada particular formada por hierro - cobalto - níquel, que tenían propiedades muy parecidas y casi las mismas masas atómicas relativas. Sobre la base de sus investigaciones llegó a establecer que “*existen grupos de tres elementos (tríadas) de propiedades químicas similares en los que el peso atómico<sup>518</sup> crece regularmente o es prácticamente el mismo.*”

El descubrimiento de familias de elementos (posteriormente se vio que el número de 3 por familia no es significativo) dio un gran ímpetu a los intentos de clasificación de todos los elementos conocidos.

### 16 – 4. Las “tríadas” de Gmelin

En 1843, Leopold Gmelin (1788 – 1853) publicó<sup>519</sup> un conjunto de “tríadas” (Figura 16.3) que tenían características similares a las advertidas por Döbereiner aunque algo más completas.

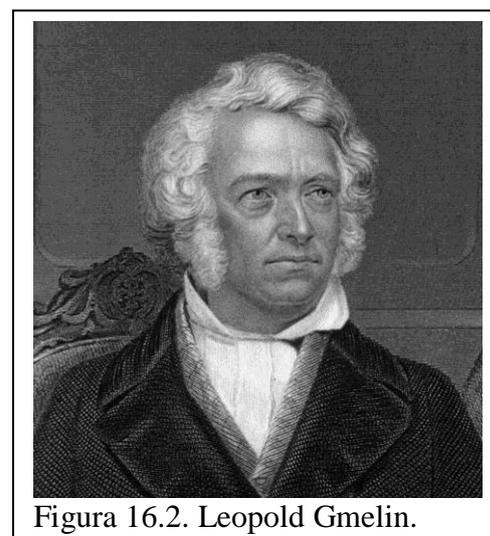


Figura 16.2. Leopold Gmelin.

<sup>518</sup> Antiguamente se llamaba “peso atómico” a la masa atómica relativa. Dado que esta es un número la utilización del vocablo “peso” es incorrecta.

<sup>519</sup> **Gmelin, L., (1843):** *Handbuch der Chemie*, Heidelberg.

Die einfachen Stoffe können auch je nach ihren physischen und chemischen Verhältnissen in Gruppen vereinigt, und diese wieder nach ihren Aehnlichkeiten zusammengestellt werden. Ein unvollkommener Versuch dieser Art ist der folgende; bloß wenn man die Elemente nicht auf einer Fläche, sondern in einem Körpernetze zusammenstellt, wird eine genügende Anordnung gelingen.

	O		N		H
	F Cl Br J				L Na K
	S Se Te				Mg Ca Sr Ba
	P As Sb				G Y Ce La
	C B Si				Zr Th Al
	Ti Ta W				Su Cd Zn
	Mo V Cr		U Mn Co Ni Fe		
			Bi Pb Ag Hg Cu		
			Os Ir R Pt Pd Au		

Die in einer Reihe neben einander stehenden Elemente haben gewisse Aehnlichkeiten. Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff stehen einzeln; ihnen analoge Elemente sind nicht bekannt. Links stehen die Gruppen der mehr elektronegativen, rechts die der mehr elektropositiven Elemente.

Figura 16.3. Las "Triadas" de Gmelin

Girando la tabla de Gmelin de derecha a izquierda y luego de arriba hacia abajo, al eliminar los metales de transición queda un ordenamiento similar al que 26 años después presentaría Mendelejeff. (Figura 16.9)

Li		C		F
Na	Mg		P	S
K	Ca		As	Se
	Sr		Sb	Te
	Ba			I

Figura 16.4. Otra forma de ordenar las triadas de Gmelin.

## 16 – 5. El caracol telúrico de Chancourtois

Durante el período 1850 – 1865 se descubrieron muchos elementos nuevos. Además, en este período, gracias a los trabajos de Cannizzaro, se hicieron grandes progresos en la determinación de masas atómicas relativas, pudiendo determinarse muchas de ellas con gran precisión. En 1862, un geólogo francés Alexandre Emile Beguyer de Chancourtois (1820 – 1886) ordenó a los elementos conocidos según sus masas atómicas relativas crecientes sobre la cara de un cilindro de cartón. Trazando una línea de 45° que envolvía al cilindro en forma de espiral, la misma unía a elementos con propiedades químicas similares. El dispositivo recibió el curioso nombre de "caracol telúrico de Chancourtois".

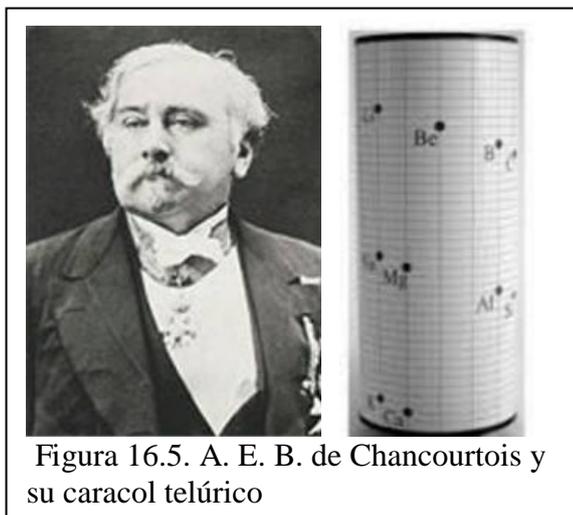


Figura 16.5. A. E. B. de Chancourtois y su caracol telúrico

## 16 – 6. La ley de las octavas de Newlands

En 1865, el químico inglés John Alexander Reina Newlands, (1837 – 1898) publicó en el *Chemical News* un trabajo donde dispuso a los elementos conocidos en orden de masas atómicas relativas crecientes de la forma que muestra la Figura 16.7.

Newlands observó que el octavo elemento a partir de uno cualquiera presenta propiedades similares a este. Esta observación se conoce hoy como *regla de las octavas de Newlands*. El hecho de que a cada ocho elementos apareciera el mismo tipo de propiedades indujo a Newlands a comparar sus octavas químicas con las octavas musicales. La periodicidad de las octavas químicas le sugería una armonía química fundamental como en la música.

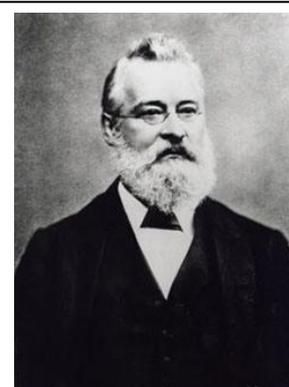


Fig. 16.6. John A. R. Newlands.

H	1	F	8	Cl	15	Co & Ni	22	Br	29	Pd	36	I	43	Pt & Ir	50
Li	2	Na	9	K	16	Cu	23	Rb	30	Ag	37	Cs	44	Tl	51
G	3	Mg	10	Ca	17	Zn	24	Sr	31	Cs	38	Ba & V	45	Pb	52
Bo	4	Al	11	Cr	18	Y	25	Ce & La	32	U	39	Ta	46	Th	53
C	5	Si	12	Ti	19	In	26	Zr	33	Sn	40	W	47	Hg	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	Ro & Ru	35	Te	42	Au	49	Os	56

Figura 16.7. Tabla de Newlands de los Números Atómicos (1865)

El trabajo de Newlands fue, sin duda, un paso gigantesco en la dirección adecuada. Sin embargo, su esquema de clasificación sufrió tres serias críticas:

No dejaba lugar para los elementos recientemente descubiertos (vanadio, talio e indio)

No tuvo en cuenta los trabajos realizados sobre las masas atómicas relativas, ni seleccionó los valores más probables.

Algunos elementos no encajaban en el esquema. Así el cromo estaba mal ubicado debajo del aluminio y el hierro que es un metal, quedaba debajo del azufre que es un no metal.

Debido a su manera particular de exponer su teoría acerca de la armonía de los elementos, fue inclusive ridiculizado en su época. Muchos años más tarde, luego que se reconociera universalmente la importancia de la clasificación periódica, sus trabajos recibieron el reconocimiento de la comunidad científica y hasta fue premiado con la medalla Copley<sup>520</sup>.

## 16 – 7. Los trabajos de Mendelejeff y Meyer

Los intentos de clasificar a los elementos llegaron a su culminación en forma casi simultánea cuando en 1869 Julius Lothar Meyer (1830 – 1895) en Alemania y Dimitri Ivanovich Mendelejeff (1834 – 1907) en la Universidad de San Petersburgo publicaron los resultados de ordenar los elementos según sus masas atómicas relativas crecientes. La ordenación de Meyer (diciembre de 1869) establecía relaciones entre *pesos atómicos* y propiedades físicas especialmente el volumen atómico. La clasificación de Mendelejeff (marzo de 1869), no sólo encontraba una periodicidad en las pro-

<sup>520</sup> Máxima distinción que otorga la Royal Society después de la Presidencia.

propiedades físicas sino también en las propiedades químicas de las sustancias simples que representaban a los elementos, especialmente en la valencia. La Tabla de Mendelejeff, que se esquematiza en la Figura 16.9., presentaba perfeccionamientos muy importantes respecto a la de Newlands:

Si un elemento no encajaba según su *peso atómico*, se dejaba un espacio para un nuevo elemento. Así, el elemento que seguía al cinc en orden de masas atómicas relativas crecientes era el arsénico. Como este elemento tiene similitud de comportamiento químico con el fósforo, Mendelejeff dejó dos espacios que corresponderían a elementos aún no descubiertos.

Mendelejeff hizo un estudio crítico de los datos existentes sobre masas atómicas relativas. Estas se calculaban multiplicando la masa de combinación por la valencia. A partir de la periodicidad observada en la valencia, sugirió nuevos valores para las masas atómicas relativas de varios elementos.

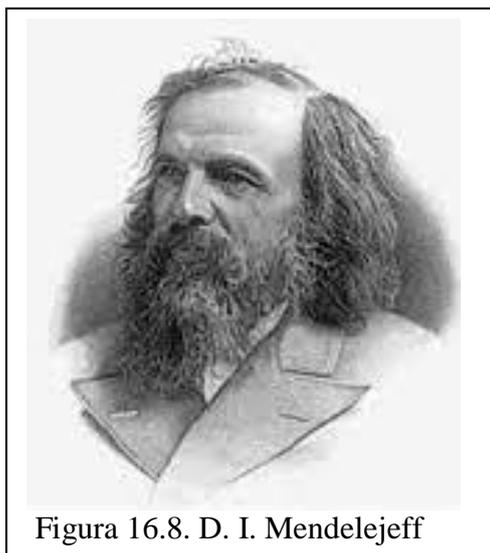


Figura 16.8. D. I. Mendelejeff

I	II	III	IV	V	VI
			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			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	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	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	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Figura 16.9. Tabla de Mendelejeff (marzo de 1869)

Los períodos o *intervalos* no tenían siempre la misma longitud. Esto evitaba tener que colocar metales como el vanadio, cromo y manganeso debajo de no metales como fósforo, azufre y cloro.

Basándose sobre el comportamiento periódico, Mendelejeff predijo las propiedades de varios elementos desconocidos en esa época. En la Tabla de la Figura 16.10 se comparan la propiedades predichas para el elemento *ekasilicio* por las encontradas por su descubridor en 1889.

Propiedades	Predicción de Mendelejeff	Valores encontrados por Winkler para el Ge
Masa atómica relativa	72	72,6
Aspecto de la sustancia simple	Metal gris	Metal gris
Punto de fusión	alto	958 °C
Densidad (g / cm <sup>3</sup> )	5,5	5,36
Acción de los ácidos y álcalis	Resistente a los ácidos y álcalis	No es atacado por el HCl ni por la soda cáustica
Fórmula y densidad del óxido (g / cm <sup>3</sup> )	EsO <sub>2</sub> ; 4,7	GeO <sub>2</sub> ; 4,70
Fórmula y propiedades del sulfuro	EsS <sub>2</sub> ; insoluble en agua. Soluble en sulfuro de amonio acuoso	GeS <sub>2</sub> ; insoluble en agua. Soluble en sulfuro de amonio acuoso
Fórmula del cloruro	EsCl <sub>4</sub>	GeCl <sub>4</sub>
Punto de ebullición del cloruro	≈ 100 °C	83 °C
Densidad del cloruro (g / cm <sup>3</sup> )	1,9	1,88

Figura 16.10. Predicciones de Mendelejeff para el ekasilicio (germanio)

Los descubrimientos de Mendelejeff lo llevaron a enunciar la siguiente ley:

“Las propiedades de los elementos son funciones periódicas de sus *pesos atómicos*”.

Entendiéndose por *pesos atómicos* lo que hoy llamamos “masas atómicas relativas”. Este enunciado se conoce como Ley periódica o Ley de Mendelejeff.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					
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	?Y 88	Zr 90	Nb 94	Mo 96	— 100	Ru 104	Rh 104	Pd 106	Ag 108		
7	(Ag) 108	Cd 112	In 113	Sn 118	Sb 122	Te 125	J 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	—	—	—	—	—	—	—

Figura 16.11. Tabla Periódica de J. L. Meyer. Modernen Theorien der Chemie. Breslau. 1872.

## 16 - 8. La tabla corta

En el año 1871, Mendelejeff publica una tabla periódica que se reproduce en la Figura 16.12. En ella introduce algunas modificaciones a su trabajo de 1869. Las ocho columnas verticales se llaman

*grupos* y la característica principal de cada grupo es que todos sus miembros actúan con la misma valencia. De allí que aparezcan las fórmulas tipo que caracterizan a los óxidos e hidruros de cada grupo. Sin embargo, Mendelejeff observó que los elementos de un grupo presentan no uno sino dos conjuntos de características comunes. De acuerdo con esto dividió a cada grupo en dos sub-grupos o familias. Por ejemplo, en el grupo I todos los metales forman óxidos monovalentes de fórmula general  $X_2O$ . De ellos el  $Cu_2O$ , el  $Ag_2O$  y el  $Au_2O$  se descomponen liberando oxígeno por un calentamiento suave, mientras que los óxidos de litio, sodio, potasio, rubidio y cesio son mucho más estables ante la acción del calor. Esta separación en sub-grupos continúa hasta el Grupo VII. El grupo VIII es atípico, consiste en conjuntos de tres metales químicamente similares de los cuales solo algunos exhiben octavalencia ( $RuO_4$ ,  $OsO_4$ )

Fila	Grupo I - $R_2O$	Grupo II - $RO$	Grupo III - $R_2O_3$	Grupo IV $RH_4$ $RO_2$	Grupo V $RH_3$ $R_2O_3$	Grupo VI $RH_2$ $RO_3$	Grupo VII $RH$ $R_2O_7$	Grupo VIII
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=83
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=83	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=160, Ag=108
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sr=118	Sb=122	Te=125	I=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140				
9								
10			?Er=178	?La=180	Ta=162	W=184		Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=200	Bi=208			
12				Th=231		U=240		

Figura 16.12. Tabla periódica de Mendelejeff (1871)

Las líneas horizontales de esta tabla se llaman *series*. La característica principal de cada serie es su progresión regular de valencia. En las series 2, 3, 5 y 7, esta progresión va acompañada de un marcado cambio del carácter metálico al no metálico al aumentar el número de grupo.

La Tabla de Mendelejeff sufrió ligeras modificaciones a lo largo del siglo XX. Una de las más difundidas es la que se esquematiza en la Figura 16.13, llamada *Tabla corta*. En ella se establecen 9 grupos y 7 períodos. El grupo 0 comprende a los gases nobles y el grupo VIII solo contiene elementos pertenecientes a períodos largos. En cada uno de los restantes grupos se distinguen dos subgrupos que se identifican con las letras A y B. Los elementos de los subgrupos A tienen un carácter metálico más marcado que los correspondientes a los subgrupos B. La interposición de los elementos lantánidos (*tierras raras*) y actínidos se indican por separado

Grupo	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII			0	
Fórmulas Tipo	RCl R <sub>2</sub> O		RCl <sub>2</sub> RO		RCl <sub>3</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		RH <sub>4</sub> RCl <sub>4</sub> RO <sub>2</sub>		RH <sub>3</sub> RCl <sub>3</sub> R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		RH <sub>2</sub> RCl <sub>2</sub> RO <sub>3</sub>		RH RCl R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>					Gases nobles	
Subgrupo familias	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B					
Primer Periodo															1 H 1,0080				2 He 4,003
Segundo Periodo	3 Li 6,939	4 Be 9,813	5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,008	8 O 16	9 F 19,00											10 Ne 20,183	
Tercer Periodo	11 Na 22,991	12 Mg 24,32	13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,975	16 S 32,066	17 Cl 35,457											18 Ar 39,944	
Cuarto Periodo	19 K 39,100	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,91	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 58,71							36 Kr 83,80		
Quinto Periodo	37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc (99)	44 Ru 101,1	45 Rh 102,91	46 Pd 106,4	47 Ag 107,880	48 Cd 112,82	49 In 114,82	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 I 126,91	54 Xe 131,30	
Sexto Periodo	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La* 138,92	72 Hf 178,50	73 Ta 180,95	74 W 183,86	75 Re 186,22	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,09	79 Au 197,0	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po 210	85 At (210)	86 Rn 222	
Séptimo Periodo	87 Fr (223)	88 Ra 226,05	89 Ac** 227	104 Unq (260)	105 Unp (261)	106 Unh (263)	107 Uns (262)	108 Uno (265)	109 Une (266)	110									

\* Lantánidos

58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm (145)	62 Sm 150,35	63 Eu 152,0	64 Gd 157,26	65 Tb 158,93	66 Dy 162,51	67 Ho 164,94	68 Er 167,27	69 Tm 168,94	70 Yb 173,04	71 Lu 174,97
--------------------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

\*\* Actínidos

90 Th 232,05	91 Pa 231	92 U 238,07	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (245)	97 Bk (249)	98 Cf (249)	99 E (255)	100 Fm (255)	101 Mv (256)	102 No (253)	103 Lw 257
--------------------	-----------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------------	--------------------	------------------

Figura 16.13. Tabla corta

## 16 – 9. La Tabla extendida

Algunas dificultades presentadas por la Tabla corta, fueron superadas por la llamada Tabla extendida o Tabla “larga” (Figura 16.14).

Per	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H																	H	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac**	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une										
	87	88	89	104	105	106	107	108	109										

\* Lantánidos

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71

\*\* Actínidos

Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	E	Fm	Mv	No	Lw
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103

Figura 16.14. Tabla Periódica extendida. La línea negra gruesa separa los elementos metálicos de los no metálicos. Sin embargo, la distinción no es tan definida.

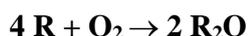
La Tabla extendida tiene 18 columnas verticales en lugar de 9 y usa esta expansión para separar los sub-grupos A de los sub-grupos B. Los elementos de los sub-grupos A se llaman *elementos representativos*. A partir de 1985, se propuso una numeración corrida, del 1 al 18, para las columnas de la Tabla en lugar de la tradicional división en sub-grupos A y B. Sin embargo, como en muchos textos y Tablas aún se utiliza la división antigua, es común usar indistintamente ambas denominaciones.

El primer período es corto, sólo contiene dos elementos. El segundo y el tercero contienen 8 elementos, todos correspondientes a los sub-grupos A. Los períodos cuarto y quinto se llaman *períodos largos*. Los elementos de número de orden (también llamado número atómico) 21 al 30 inclusive corresponden a la llamada *primera serie de transición* y los elementos de número de orden 39 al 48 inclusive, *segunda serie de transición*. El sexto período es un *período gigante*, contiene 32 elementos. Los elementos de la serie de los lantánidos se llaman *primera serie de transición interna*. El séptimo período contiene, hasta la fecha, 23 elementos. La serie de los actínidos se llama *segunda serie de transición interna*.

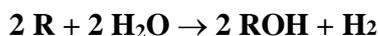
## 16 – 10. Tabla Periódica y propiedades

La variación periódica más sorprendente e importante de los elementos es la valencia. Esta tendencia se muestra en las fórmulas tipo que encabezan la clasificación de Mendelejeff (Figura 16 – 13). La periodicidad de la valencia es marcadamente consistente en los elementos representativos, es menos fácilmente discernibles en los elementos de transición y es inútil tratar de determinarla en los de transición interna. La valencia principal de los elementos de los sub-grupos A viene dada por G y/o 8 - G, donde G es el número del sub-grupo.

Los elementos del sub-grupo I A son los llamados *alcalinos*. Sus sustancias simples son metales blandos, lustrosos y altamente reactivos. Reaccionan con el oxígeno del aire por simple exposición formando los respectivos óxidos según la fórmula general

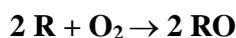


y vigorosamente con el agua, aún cuando esta está fría, formando un hidróxido soluble y liberando hidrógeno y calor

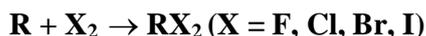


Los metales alcalinos reaccionan vigorosamente con otros no metales como los halógenos (flúor, cloro, bromo, yodo) dando compuestos solubles en agua en los que actúan con valencia 1.

Los elementos del sub-grupo II A corresponden a los llamados *elementos alcalinotérreos*. Sus sustancias simples son metales que se asemejan a los alcalinos aunque son menos blandos, lustrosos y reactivos que los del sub-grupo I A del mismo período, reaccionando más lentamente con el oxígeno del aire y con el agua.

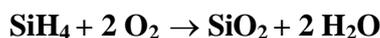


siendo los hidróxidos menos solubles en agua que los hidróxidos alcalinos. Reaccionan con los no metales dando compuestos en los que actúan con valencia 2. Así su reacción con los halógenos, da los correspondientes haluros solubles en agua.



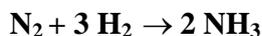
Los elementos del sub-grupo II A son los llamados *térreos*. Sus sustancias simples, exceptuando al boro, son metales. El boro es un no metal duro, frágil, opaco y bastante inerte. Con el hidrógeno forma diversos hidruros ( $\text{BH}_3$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$ ) y una serie de boratos complejos entre los cuales se encuentra el bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ). El aluminio es un metal de baja densidad, blando y muy abundante que se autoprotege de la oxidación del aire (se *pasiva*) formando una película de óxido:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . El galio, el indio y el talio son metales lustrosos y moderadamente reactivos. Con el oxígeno dan también óxidos de fórmula general  $\text{R}_2\text{O}_3$ . Los compuestos de los elementos térreos con halógenos, responden a la fórmula general  $\text{RX}_3$  donde X representa al halógeno.

Los elementos del sub-grupo IV A corresponden a la *familia del carbono*. Sus sustancias simples muestran una progresión del carácter metálico con el aumento del número atómico. Se conocen dos sustancias simples formadas por el elemento carbono: el diamante y el grafito. El elemento carbono se encuentra combinado en toda la materia viviente y en sus derivados tales como la hulla, el petróleo y el gas natural. En la atmósfera se encuentra como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y, en ínfimas proporciones, como monóxido de carbono (CO). También se lo encuentra combinado en muchos minerales formando carbonatos como en la caliza ( $\text{CaCO}_3$ ). La sustancia simple silicio es un sólido opaco con cierta apariencia metálica. No se encuentra como tal en la naturaleza sino que está combinada con el oxígeno en el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y la arena o formando silicatos complejos en una gran variedad de minerales. Forma hidruros en los que, al igual que el carbono, actúa con valencia 4. Estos hidruros reaccionan con oxígeno produciendo  $\text{SiO}_2$  y agua. Por ejemplo:



El germanio tiene algunas características metálicas y otras no metálicas. La fórmula de su óxido es  $\text{GeO}_2$ . El estaño y el plomo son metales relativamente inertes. Si bien pueden formar varios óxidos, los más comunes responden a la fórmula  $\text{RO}_2$ .

Los elementos del sub-grupo V A se conocen como la *familia del nitrógeno*. Al igual que en el sub-grupo IV A el carácter metálico crece con el número atómico. La sustancia simple nitrógeno es un gas incoloro e inodoro y relativamente estable que constituye casi el 80 % de la atmósfera terrestre. A temperaturas muy elevadas se combina con el oxígeno dando diversos óxidos ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ). Con el hidrógeno se combina por encima de los  $500^\circ\text{C}$  y a presión elevada dando amoníaco.

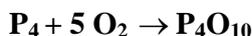


El nitrógeno reacciona con muchos metales dando los correspondientes *nitruros*



En la mayoría de sus compuestos, el nitrógeno actúa con valencia 3 ó 5.

Existen dos formas sólidas de la sustancia simple fósforo: fósforo blanco y fósforo rojo. El fósforo blanco, de manejo muy peligroso, es un sólido blanco cuyo vapor tiene fórmula molecular  $\text{P}_4$ . Este vapor se inflama espontáneamente por reacción con el oxígeno del aire, formando un óxido pentavalente.



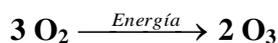
Debido a ello debe ser manipulado bajo agua. El hidruro de fósforo, llamado fosfina tiene fórmula molecular  $\text{PH}_3$  y es un gas sumamente tóxico.

Al igual que el fósforo, el arsénico se presenta también en dos formas sólidas distintas: la amarilla (de carácter marcadamente no metálico) y la gris (de carácter algo metálico). Forma dos óxidos  $\text{As}_2\text{O}_3$  y  $\text{As}_2\text{O}_5$  que son sumamente tóxicos. Su hidruro ( $\text{AsH}_3$ ) es un gas muy tóxico llamado arsina.

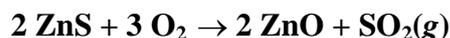
El antimonio y el bismuto son metales blandos, poco resistentes y de bajo punto de fusión. El antimonio forma un hidruro inestable, la estibina ( $\text{SbH}_3$ ). Ambos elementos forman óxidos trivalentes ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$  y  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) y pentavalentes ( $\text{Sb}_2\text{O}_5$  y  $\text{Bi}_2\text{O}_5$ ).

Todos los elementos de este sub-grupo se combinan con flúor y cloro dando compuestos de fórmulas  $\text{RF}_3$  y  $\text{RCl}_3$ .

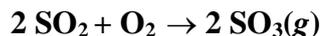
Los elementos del sub-grupo VI A se llaman comúnmente *calcógenos* (formadores de sales). Sus sustancias simples son no metales, exceptuando al polonio. El oxígeno, en condiciones ambientales es un gas incoloro e inodoro y constituye alrededor de la quinta parte de la atmósfera terrestre. Se combina directamente con prácticamente todas las sustancias simples y en las que actúa con valencia 2. En ciertas combinaciones, los átomos de oxígeno se enlazan entre sí. Dichos compuestos reciben el nombre genérico de *peróxidos*. Cuando el oxígeno es irradiado con luz ultravioleta, o por una descarga eléctrica, produce ozono, gas irritante de olor dulzón y sumamente reactivo



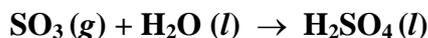
La sustancia simple azufre es un sólido de color amarillo pálido que se obtiene de ciertos lechos subterráneos por fusión y succión con una mezcla de vapor de agua sobrecalentado a  $175^\circ\text{C}$  y aire comprimido. El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) se obtiene por combustión del azufre o por tostación de compuestos binarios del azufre, llamados sulfuros.



El dióxido de azufre puede oxidarse con oxígeno del aire dando trióxido de azufre



que es la materia prima para la obtención de uno de los ácidos más usados en la industria: el ácido sulfúrico



El compuesto hidrogenado del azufre, sulfuro de hidrógeno, es un gas de olor pestilente que responde a la fórmula molecular  $\text{H}_2\text{S}$ . El azufre se combina con prácticamente todos los metales para formar sulfuros en los que actúa con valencia 2.

Tanto el selenio como el telurio tienen carácter semimetálico. Al igual que el azufre forman los respectivos dióxidos y trióxidos. Sus hidruros ( $\text{H}_2\text{Se}$  y  $\text{H}_2\text{Te}$ ) son más pestilentes que el  $\text{H}_2\text{S}$  y su toxicidad, absorción y retención en el cuerpo han desalentado bastante la investigación de sus propiedades. El polonio es altamente radiactivo lo que dificulta el estudio en detalle de sus propiedades químicas.

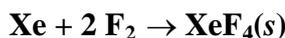
Los elementos del sub-grupo VII A se conocen como *halógenos*. Sus sustancias simples son no metales tóxicos, de vapores sofocantes y sumamente reactivos. Excepto en algunas combinaciones oxigenadas, actúan siempre con valencia 1. A temperatura ambiente el flúor es un gas amarillo pálido, el cloro es un gas amarillo verdoso, el bromo es un líquido volátil de color rojo oscuro y el yodo es un sólido pardo que se volatiliza fácilmente dando un vapor violeta. La reactividad de los halógenos decrece con el número atómico. Así para la reacción con hidrógeno



El flúor reacciona con violencia explosiva mientras que el yodo lo hace en forma moderada. El astato es radiactivo lo que dificulta en estudio de sus propiedades químicas. Sin embargo, se sabe que actúa con valencia 1 en la mayoría de sus compuestos.

Los halógenos forman compuestos entre sí que se llaman *compuestos interhalogenados* ( $\text{BrCl}$ ,  $\text{IBr}$ ,  $\text{ClI}$ , etc.)

Los elementos del grupo 0 integran la llamada *familia de los gases nobles* o *aerógenos*. Fueron descubiertos por Ramsay a fines del siglo XIX y hasta mediados de este siglo se los consideraba inertes. A partir de 1960 comenzaron a sintetizarse algunos de sus compuestos. Por ejemplo:



La mayoría de los compuestos obtenidos son inestables y se descomponen con facilidad.

Los elementos de transición y de transición interna se presentan como metales. Sus propiedades físicas varían ampliamente y serán tratadas en el capítulo XIV.

## 16 – 11. Inconvenientes en la Clasificación Periódica

A pesar de que la Clasificación de Mendelejeff constituyó uno de los aportes más importantes a la Química, contiene un cierto número de irregularidades e imperfecciones que opacan su validez general.

No sitúa al hidrógeno en un lugar adecuado en la Tabla. En algunas tablas se sitúa al hidrógeno en el sub-grupo I A, juntamente con los elementos alcalinos debido a su propiedad de ser sustituido por éstos en los ácidos. En otras tablas se lo sitúa en el sub-grupo VII A, aunque no es un halógeno.

La distribución de los elementos no sigue siempre el orden creciente de masas atómicas relativas. Para poder agrupar a los elementos atendiendo a sus propiedades ha sido necesario en ciertos casos alterar el orden de ciertos pares de elementos. Así el Ar antecede al K, el Co al Ni, el Te al I y el Th al Pa.

La continuidad de los elementos queda rota al incorporar los sub-grupos B. Así hay una excesiva separación entre los elementos de los sub-grupos II A y III A. Es por ello que existe una tendencia cada vez más aceptada en eliminar la distinción entre los sub-grupos y llamarlos familias o grupos. De esta manera los sub-grupos I A y II A pasan a llamarse grupos 1 y 2. Las columnas sucesivas en la Clasificación Periódica hasta el sub-grupo II A se indican como grupos 3 al 12. De esta manera los elementos térreos pasan a ser grupo 13, la familia del carbono: grupo 14, la del nitrógeno Grupo 15, los calcógenos Grupo 16 los halógenos Grupo 17 y los gases nobles Grupo 18.

No hay una clara separación entre metales y no metales. La división en zigzag de la Tabla de la figura 16 – 14 es artificiosa. El carácter metálico varía gradualmente, aumentando de derecha a izquierda para un período y de arriba hacia abajo para un sub-grupo.

## Bibliografía

**Meyer, J. R., (1872):** *Die Modernen Theorien der Chemie*, 2e Auflage. Maruschke & Berend, Breslau.

**Münzenberg, G.** *Recent advances in the discovery of transuranian elements*, Reports on progress in physics, Vol 51, N° 1, Jan 1988.

**Partington, J.R., (1945):** *Historia de la Química*. Espasa - Calpe S.A. Buenos Aires.

**Scerri, E. R., (2011):** *The Periodic Table. A very Short Introduction*, Oxford University Press. Oxford.



## ***XVII. LA QUÍMICA ESTRUCTURAL.***

### **17 – 1. Introducción**

Las teorías de los tipos propuestas por los químicos tuvieron una utilidad temporaria y fueron declinando como soportes para el entendimiento de la estructura de las sustancias orgánicas cuando se tuvo bien en claro la diferencia entre masa de combinación y peso atómico —y por ende, el concepto de valencia— y cuando se aceptó la tetravalencia del carbono. Los trabajos de Archibald Scott Couper y de Friedrich Auguste Kekulé, especialmente los de este último en cuanto a la postulación de una estructura cíclica para el benceno, abrieron la posibilidad de estudiar la química de los compuestos aromáticos con una base teórica.

Los trabajos sobre isomería óptica de Pasteur y otros científicos permitieron la expansión de los estudios sobre la estructura espacial de los compuestos orgánicos y el análisis de los casos de estereoisomería

### **17 – 2. La contribución de Kekulé al desarrollo de la Química Orgánica.**

Friedrich August Kekulé nació el 7 de septiembre de 1829 en Darmstadt, Alemania. Su familia provenía de una rama checa de una familia noble de Bohemia. Estudió en el Gimnasium de Darmstadt destacándose en idiomas, lo que le facilitó el aprendizaje de italiano, francés e inglés. Su talento para el dibujo lo indujo a estudiar arquitectura y a tal efecto, en 1847 ingresó a la Universidad de Giessen para seguir esa especialidad. Sin embargo, tomó un curso de Química con Justus von Liebig que le interesó tanto que cambió el rumbo de su carrera, dedicándose de lleno al estudio de la Química. Se graduó en 1851 y viajó a París para hacer el doctorado. Allí trabó amistad con Charles Gerhardt y se interesó por la teoría unitaria. Se doctoró el 25 de junio de 1852 y comenzó a trabajar como asistente de Adolf von Planta en Reichenau, Suiza. Estando allí, Liebig lo recomendó para trabajar con John Senhouse en el Hospital St. Bartholomew de London. Llegó allí en 1853 y trabó amistad con A.W. Williamson quien estaba intentando clasificar a las sustancias orgánicas en función de sus posibles estructuras. Kekulé se interesó en el tema y contó cual fue el germen de sus suposiciones acerca de la estructura de los compuestos del carbono:

“Durante mi estadía en Londres, residía en Clapham Road ... Sin embargo, pasaba frecuentemente las veladas con mi amigo Hugo Mueller ... hablábamos sobre diversos temas pero más frecuentemente sobre nuestra querida Química. Una agradable noche de verano estaba regresando en

el último bus... viajando por las desiertas calles de la ciudad me fui quedando dormido y en el ensueño, los átomos retozaban frente a mis ojos...”

“Cada vez que estos seres diminutos aparecían ante mí, siempre estaban en movimiento. Con frecuencia vi como dos átomos más pequeños se unían para formar un par: cómo uno más grande abrazaba a dos más pequeños; cómo uno todavía más grande no soltó tres o hasta cuatro pequeños: mientras que todo seguía girando en un baile vertiginoso. Ví cómo los más grandes formaban una cadena, arrastrando a los más pequeños detrás de ellos, pero sólo al final de las cadenas.... El grito del conductor: “¡Clapham Road!”, me despertó de ese sueño; pero ocupé una parte de la noche en poner en el papel al menos los esbozos de las estas formas del sueño. Este fue el origen de mi teoría estructural”.

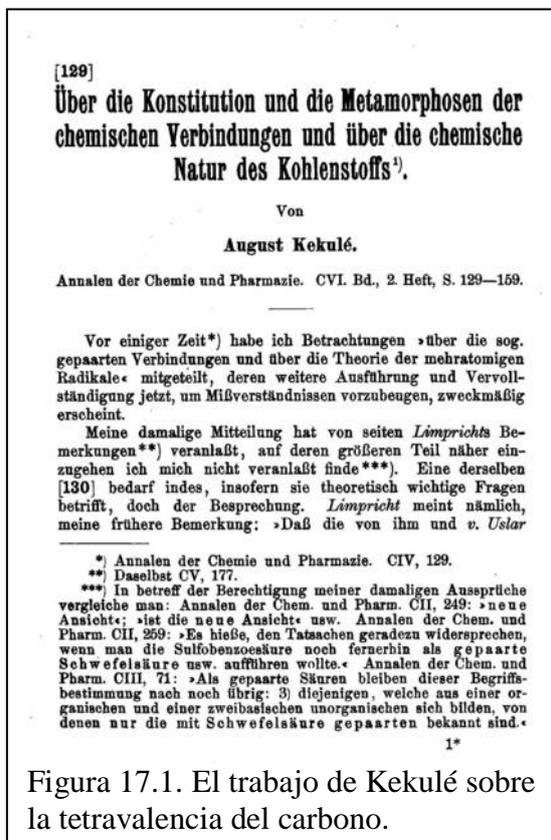


Figura 17.1. El trabajo de Kekulé sobre la tetravalencia del carbono.

En 1856, por sugerencia de Liebig y de Bunsen, comenzó a trabajar como profesor adjunto en la Universidad de Heidelberg dando clases de Química Orgánica en verano. No cobraba sueldo y se mantenía mediante la ayuda de su hermanastro Karl. En Heidelberg conoció a Stephanie Drory con quien se casó en 1862.

En 1857 publicó un trabajo sobre la tetravalencia del carbono “Ueber die Constitution und die Metamorphosen der chemischen Verbindungen und über die chemische Natur des Kohlenstoffs.” *Annalen der Chemie und Pharmacie* 106 (2): 129–159. 1857, fue el año que Archibald Scott Couper llegó a la misma conclusión sobre la tetravalencia del carbono<sup>521</sup>. En 1858 otro trabajo en el que extendió la idea a que los átomos de carbono podían unirse entre sí formando cadenas.

En 1858, aceptó el puesto de profesor de Química en la Universidad de Ghent (Bélgica). Participó en el Congreso Internacional de Química de Karlsruhe, donde quedó encantado con el trabajo de Cannizzaro.

En 1861 se publicó su “*Lehrbuch Der Organischen Chemie*” y en 1862 publicó su teoría sobre los compuestos orgánicos no saturados. En 1864, dijo haber tenido su famoso sueño que lo condujo a proponer la estructura del benceno. Así lo contó:

“Durante mi estancia en Ghent, vivía en uno de los barrios elegantes de la vía principal. Mi estudio, sin embargo, estaba en un callejón estrecho donde no entraba la luz del día... Me encontraba sentado escribiendo en mi libro de texto, pero las investigaciones no prosperaban, mis pensamientos estaban en otra parte. Volví la silla de frente al hogar y me dormí. Una vez más los átomos comenzaron a brincar ante mis ojos. Pero esta vez los grupos más pequeños se mantenían discretamente en el fondo. Mi ojo mental, entrenado por las repetidas visiones de este tipo, ahora podía distinguir estructuras más grandes; largas filas se entrelazaban y mezclaban en un movimiento como de serpientes. ¡Pero mira! ¿Qué fue eso? Una de las serpientes había mordido su propia cola, y la forma giró burlonamente ante mis ojos. Como iluminado por un relámpago, me desperté... y también esta vez ocupé el resto de la noche en la resolución de las consecuencias de mi hipótesis...”<sup>522</sup>

<sup>521</sup> *Compt. Rend.*, 1858, xlvii, 1157; *Phil. Mag.*, 1858, xvi, 104.

<sup>522</sup> *Berichte*, 1890, XXIII, 1306. Walkers, *Annals of Science*, 1939, IV, 34.

En esa época, armó un equipo de investigadores con varios estudiantes talentosos, incluyendo a Alfred von Baeyer, James Dewar, Albert Ladenburg, y Heinrich Brunck. También contrató a Karl Glaser, Wilhelm Körner y Hermann Wichelhaus. En enero de 1865 presentó su trabajo “Sur la constitution des substances aromatiques”<sup>523</sup> y en mayo su trabajo más importante “Notes sur les produits de substitution du benzine”<sup>524</sup> ante la Société Royal de Bruxelles, donde fue elegido miembro asociado. En este trabajo informó sus conclusiones de que la estructura del benceno era de un anillo hexagonal de seis átomos.<sup>525</sup>

En 1867, fue nombrado en la cátedra de Química de la Universidad de Bonn donde trabajó en la síntesis de aromáticos. En 1876 se volvió a casar con su ama de llaves, con quien tuvo tres hijos. En 1877 fue nombrado Rector de la Universidad de Bonn. En 1890 al cumplirse los 25 años de su trabajo sobre el benceno tuvo un reconocimiento especial en la Deutsche Chemische Gesellschaft donde en la celebración de la “Benzolfest” presentó su trabajo “Bericht über die Konstitution des Pyridins”. En 1895, el Kaiser Wilhelm II, lo nombró caballero permitiéndole sacar el acento sobre la última “e” del apellido y agregar “von Stradonitz” a su apellido. Falleció el 13 de julio de 1896.

### 17 – 3. La tetravalencia del carbono

Kekulé merece ser considerado el fundador de la química estructural moderna, dado que en su artículo de 1858 "Sobre la Constitución y la Metamorfosis de Compuestos Químicos, y la Naturaleza Química de Carbono" no sólo ratificó la tetravalencia del carbono sino que explicó en detalle la factibilidad de los átomos de carbono de formar cadenas, indicando que la disposición de los átomos que constituyen un radical puede ser representada, después del estudio suficiente de sus reacciones, y en el caso del carbono por un estudio de los compuestos que ese elemento forma. “Si consideramos los compuestos más simples del carbono, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>Cl, CCl<sub>4</sub>, CHCl<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, COCl<sub>2</sub>, CS<sub>2</sub>, CNH, etc. es obvio”, dice, “que la suma de las unidades químicas que se combinan con un átomo de carbón es igual a cuatro ...”

“En caso de sustancias que contienen varios átomos de carbono”, afirmó, “es necesario suponer que, al menos, algunos átomos se mantienen unidos en el compuesto por la misma afinidad del carbono, esto es, que los propios átomos de carbono se unen juntos, por lo cual una parte de la afinidad de uno se combina con una parte igual de la afinidad del otro. El caso más simple y, por lo tanto, el más probable de tal unión de dos átomos de carbono, es cuando una unidad de la afinidad de un átomo se combina con una unidad del otro. De las 2 × 4 unidades de afinidad de los dos átomos de carbono, dos se emplean para mantener que esos dos átomos permanezcan unidos, por lo tanto, seis unidades son las que se puede unir con átomos de otros elementos. En otras palabras, un grupo de dos átomos de carbono, C<sub>2</sub>, es hexatómico [hexavalente]; puede formar un compuesto con seis átomos de un elemento monatómico [monovalente], o, de manera general, con tantos átomos que cumplan que suma de las unidades químicas de los mismos sea seis. (Ejemplos: C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>C1<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>C1<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>N, C<sub>2</sub>N<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>OC1, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, etc.)”

<sup>523</sup> *Bulletin de la Société Chimique de Paris* 3 (2): 98–110.

<sup>524</sup> *Bull. Acad. Royal Belg.* 1865 xix 551 – 563.

<sup>525</sup> En 1861, cuatro años antes de los trabajos de Kekulé, Josef Loschmidt, quien en 1865 estimaría el número de Avogadro, publicó el libro “*Chemische Studien*” que incluyen 368 fórmulas gráficas 121 de las cuales corresponden a compuestos aromáticos representados mediante estructuras cíclicas de 6 átomos de carbono. En una nota al pie del trabajo publicado en el Boletín de la Sociedad Química de Paris, Kekulé afirmó que prefería sus representaciones gráficas a “otras” que se habían propuesto. Kekulé nunca comentó públicamente que conocía ese libro, pero a fines del siglo pasado se encontró una carta de Kekulé a Erlenmeyer fechada el 4 de enero de 1862, unos meses después de la publicación del libro, en la que al referirse al subtítulo “*Constitutions Formeln der Organischen Chemie*” Kekulé dice que para él son “*Confusion Formeln*” (fórmulas de confusión). Quizás ese haya sido el motivo del poco creíble sueño de la serpiente mordiendo la cola.

"Si del mismo modo se unen más de dos átomos de carbono, la basicidad [valencia] del grupo de átomos de carbono es aumentada en dos unidades para cada átomo adicional. El número de átomos de hidrógeno [unidades químicas] que se unen de esta manera con átomos  $n$  de carbón, se puede expresar así:

$$n(4 - 2) + 2 = 2n + 2$$

"Supongamos que  $n = 5$ , la basicidad es por lo tanto 12. (Ejemplos:  $C_5H_{12}$ ,  $C_5H_{11}Cl$ ,  $C_5H_{10}C_{12}$ ,  $C_5H_9N$ , etc.) Hasta ahora se ha supuesto que todos los átomos asociados con el carbono son sostenidos por la afinidad del carbono. Se puede también concebir, que en caso de elementos poliatómicos [polivalentes], O, N, etc. sólo una parte de la afinidad de éstos, — por ejemplo, sólo una de las dos unidades de afinidad del oxígeno o sólo una de las tres unidades de afinidad del nitrógeno,— se combina con el carbono, de modo que una de las unidades de afinidad del oxígeno, o dos de las tres unidades de la afinidad del nitrógeno, permanezca y se puede unir con otros elementos. Estos otros elementos sólo así se combinan, indirectamente, con el carbono, tal como se indicado en la manera usual de escribir las fórmulas de las sustancias."

Más adelante Kekulé se refirió al hecho que mientras que en un gran número de compuestos orgánicos se puede suponer una combinación simple de átomos de carbono, existen otros que contienen tantos átomos de carbono en la molécula, que para ellos se debe suponer una combinación más próxima entre los átomos de ese elemento y luego menciona como ejemplos de compuestos muy ricos en carbono al benceno, sus derivados y homólogos así como al naftaleno.

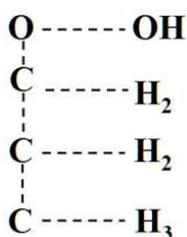
Uno de los adelantos de esta forma de describir las uniones en los compuestos orgánicos es que permite entender la existencia de hasta cuatro radicales distintos unidos a un solo átomo de carbono. Algo que hoy en día generalizamos mediante fórmulas "racionales"  $CR_1R_2R_3R_4$  y que, en principio se podría sintetizar cualquier sustancia que cumpla con esas reglas de valencia.

Kekulé parece haber dudado, durante algún tiempo, en aceptar las consecuencias plenas de sus propias conclusiones, ya que mientras que en el trabajo comentado concluyó que el carácter tetravalente del carbono permitiría la síntesis de cualquier compuesto que cumpliera con esas reglas de valencia y explicó cómo los átomos de ese elemento se podían combinar entre sí, estaba escribiendo en su famoso *Lehrbuch*<sup>526</sup> "que las fórmulas racionales son sólo fórmulas que representan reacciones posibles y no la constitución de un cuerpo; no son nada más que las posibles metamorfosis de un cuerpo y una comparación entre distintos cuerpos, y no intentan ser una expresión de la constitución, es decir, del ordenamiento de los átomos en la sustancia real".

Casi al mismo tiempo, un asistente de Charles Adolphe Wurtz en la Facultad de Medicina de la Universidad de París, Archibald Scott Couper, (1831 – 1892) publicó en dos de las principales revistas químicas, opiniones completamente similares en cuanto a las particularidades del elemento carbono y usó un sistema de fórmulas gráficas para representar las uniones en las moléculas orgánicas, algo que fue un paso adelante respecto del trabajo de Kekulé. En su artículo, Couper mostró que la cantidad de carbono representada por  $C_2$  ( $C = 6$ ) nunca se divide durante cambios químicos; de ahí comentó: "Sólo basta escribir el  $C_2$  de Gerhardt, simplemente como C, y queda entendido que el equivalente de carbono es 12"<sup>527</sup>. Debido a su opinión personal, retuvo el peso atómico de oxígeno igual a 8, de ahí que todas sus fórmulas contienen  $O_2$  u  $O \cdots O$  en el lugar de O pero, por otra parte, sus fórmulas se parecen a las fórmulas estructurales modernas. Así, por ejemplo, su fórmula para el alcohol propílico es

<sup>526</sup> *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoff-Verbindungen*, i. 157.

<sup>527</sup> A. S. Couper, " Sur une nouvelle theorie chimique" (*Ann. Chim.*, liii. 469; *Phil. Mag.* [4], xvi. 1858 104)



Kekulé escribió una carta al *Philosophical Magazine*<sup>528</sup>, reclamando la paternidad de la idea de la tetravalencia del carbono, aunque no fue sincero. En la carta dice “I also have given a general formula which expresses, for a certain class of compounds, the number of atoms of hydrogen combined with  $n$  atoms of carbon, in the following terms —  $\text{C}^n \text{H}^{(1-2)n}$ , whilst Mr. Couper, on his side, expresses it in this way—  $\text{C}^n \text{M}^{n-4} - \text{M}^{m-2} = n\text{CM}^4 - m\text{M}^2$ , in which  $m$  is  $< n$ . At a glance, certain features of resemblance will be traced between our two formulæ; and I prove that mine is only a particular application of that of Mr. Couper, which is more general, indeed, but also more vague. I shall also remark that H in my formula, like M in that of Mr. Couper, represents all the elements belonging to the first group.” Kekulé mismo admite que su fórmula se refería *únicamente a los átomos de hidrógeno* mientras que la fórmula de Couper es válida para cualquier elemento.

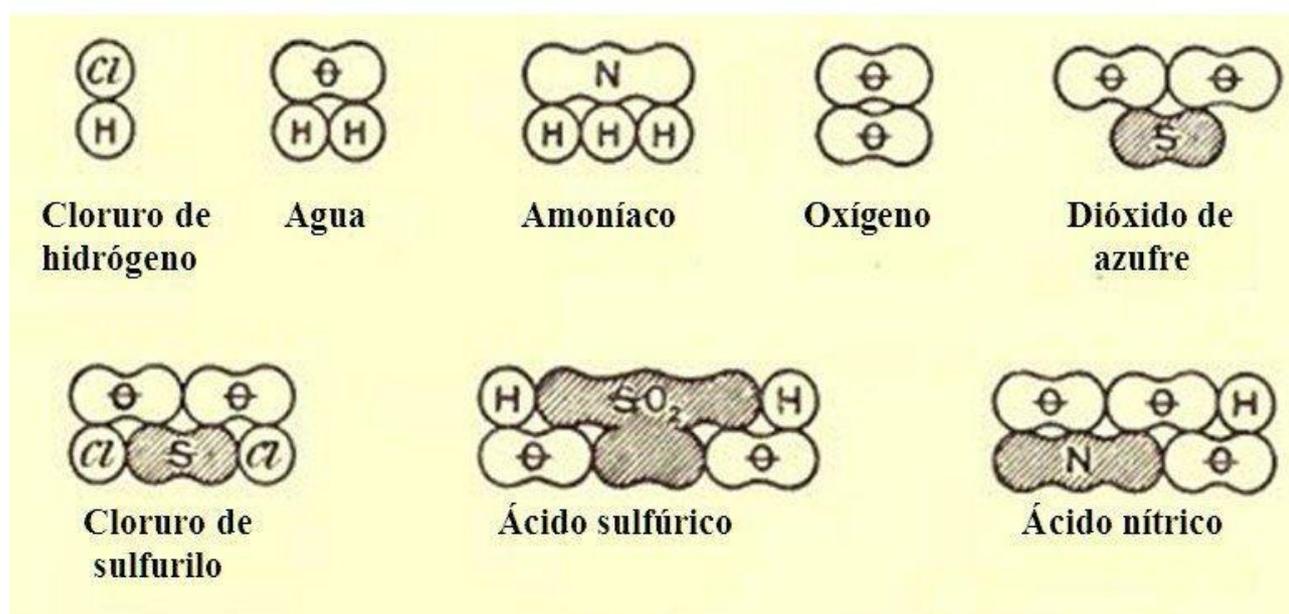


Figura 17.2. Fórmulas gráficas usadas por Kekulé en 1861.

Recién en 1861, Kekulé, en la página 160 del primer volumen de su “Lehrbuch”, se animó a representar gráficamente distintas sustancias (Figura 17.2.), aunque aclaró que en esas figuras no están representados los tamaños de los átomos, sino solamente las cantidades de átomos de cada elemento. En los años siguientes fueron usados símbolos similares por Alfred Naquet (1834 – 1916) y otros químicos. Pero, a partir de 1865, se popularizó el sistema de símbolos propuesto por el Dr. Alexander Crum Brown (1838 – 1922), Profesor de Química de la Universidad de Edimburgo. Con ligeras variantes, propuestas poco después, esos símbolos se utilizan hasta hoy en día y no indican la posición física sino solamente las uniones químicas. La figura 17.3., ejemplifica la fórmula del etano.

<sup>528</sup> *Phil. Mag.* 1858 Vol.xvi 4th series, p. 478

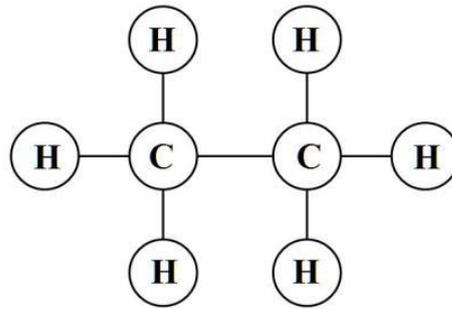


Figura 17.3. Fórmula de Crum Brown para el etano.

En 1866, el Dr. Edward Frankland adoptó las fórmulas de Crum Brown pero omitiendo los círculos, fórmulas planas que perduran desde hace un siglo y medio.

#### 17 – 4. La fórmula estructural del benceno

El benceno fue descubierto por Michael Faraday al examinar el líquido que acompañaba al gas de alumbrado. La misma sustancia fue obtenida por Eilhard Mitscherlich en 1833 al descomponer ácido benzoico sobre cal que absorbía el dióxido de carbono formando carbonato de calcio. En esa época el ácido benzoico era un constituyente de una resina medicinal de olor aromático que se obtenía del árbol *Styrax benzoin*, originario de Sumatra. Faraday analizó esa sustancia y encontró que contenía sólo carbono, — en una proporción mayor que el gas de los pantanos—, e hidrógeno. De allí el nombre inicial de bicarburo de hidrógeno. En 1847, Charles Mansfield, un asistente de Hofmann encontró que era mucho más práctico obtener benceno del alquitrán de hulla, mientras que Mitscherlich había descubierto que haciendo reaccionar benceno con ácido nítrico concentrado se formaba un nitrocompuesto de olor particularmente aromático y Nikolai Nikolaievich Zinin logró la reducción del nitrobenceno obteniendo anilina y dando con ello un impulso a la industria de los colorantes.

Los químicos sabían que el benceno contiene carbono e hidrógeno en proporción que se puede representar por la fórmula más sencilla  $\text{CH}$ , pero la densidad del vapor comparada con la del hidrógeno es tal que la fórmula molecular debe ser seis veces mayor que la fórmula mínima. Mansfield en el laboratorio de Hofmann fue obteniendo algunos homólogos del benceno: tolueno, uno de los xilenos, cumeno, cimeno (*p*-isopropiltolueno). Rudolph Fittig y Bernhard Christian Gottfried Tollens probaron que estos hidrocarburos podían obtenerse por sustitución de átomos de hidrógeno por radicales hidrocarbonados.

Poco a poco se fue comprobando que estos compuestos se encuentran en la esencia de almendras amargas, en la esencia de canela, en la esencia de comino y otros productos fragantes, que tenían funciones aldehído o alcoholes. A ese grupo de sustancias se les dio el nombre de “compuestos aromáticos”.

A mediados del siglo XIX se conocía una gran cantidad de estos compuestos, sus usos y aplicaciones pero su estructura era desconocida.

Kekulé, en 1858, había sugerido que en el benceno y especialmente en el naftaleno, los átomos de carbono estaban ordenados de una manera más densa que en la mayor parte de los compuestos orgánicos (“*eine dichtere Aneinanderlagerung des Kohlestoffes*”). La fórmula del benceno fue escrita de un modo correcto, por primera vez, por Josef Loschmidt en 1861 y propuesta por Kekulé en el año 1865. Mediante la representación de una estructura cíclica Kekulé facilitó la clave para desc-

frar la constitución de esos “compuestos aromáticos”, que estructuras cíclicas de átomos de carbono a diferencia de los llamados compuestos “grasos” o “alifáticos”<sup>529</sup>. Kekulé atribuyó el descubrimiento de la estructura del benceno a un sueño<sup>530</sup>. Para satisfacer la tetravalencia del carbono, los seis átomos de carbono del anillo bencénico se imaginaron unidos alternativamente por ligaduras simples y dobles. Al principio, Kekulé hizo uso de símbolos curiosos<sup>531</sup> a los que Hermann Kolbe llamó irónicamente “fórmulas de salchichas” a las representadas en la Figura 17.2; pero en 1865<sup>532</sup> usó la fórmula hexagonal para el benceno, sin ligaduras (I) y en 1886<sup>533</sup> dio un esquema (II) de la fórmula espacial con ligaduras sencillas y dobles equivalente a la fórmula actual (III):

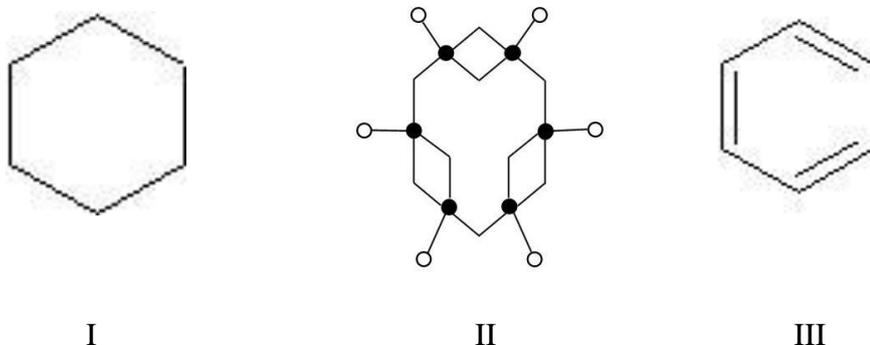


Figura 17.4. Fórmulas de Kekulé para el benceno *Temas de Historia de la Química*

En 1861, en su libro *Chemische Studien* Loschmidt había usado como fórmula para el benceno

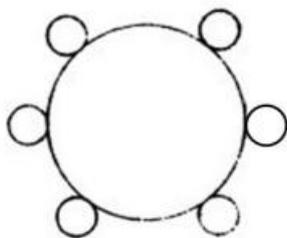
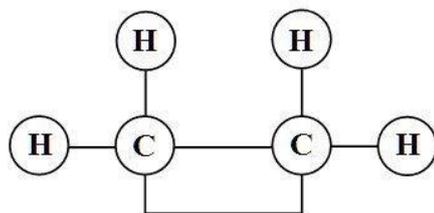


Figura 17.5 Fórmula de Loschmidt para el benceno.

La existencia de ligaduras múltiples entre átomos de carbono fue vagamente reconocida por Kekulé en 1859<sup>534</sup> y en 1864 la fórmula del etileno fue escrita por Crum Brown del siguiente modo:



donde aparece una doble ligadura.

<sup>529</sup> Los nombres “aromático” y “alifático” fueron dados por Kekulé y von Hofmann, respectivamente.

<sup>530</sup> Como también había afirmado que la tetravalencia del carbono fue producto de un sueño, en esa época se decía que para producir un gran descubrimiento lo mejor era ir a dormir.

<sup>531</sup> Ver Lowry: *Historical Introduction to Chemistry*, p. 439.

<sup>532</sup> *Bull. Acad. Roy. Belg.*, 1865, XIX, 551.

<sup>533</sup> Kekulé: *Lehrbuch*, 1865, II, 496.

<sup>534</sup> *Lehrbuch*, I, 156.

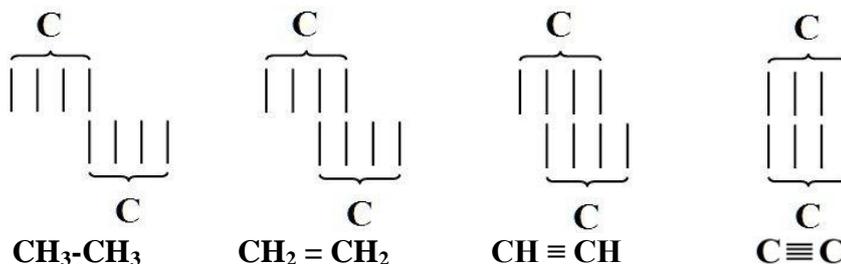
Loschmidt, en su libro, representaba los dobles enlaces mediante dos líneas entre los símbolos de los elementos. Así, su fórmula para el ácido benzoico era



Los triples enlaces los representaba mediante tres líneas enlazando los símbolos de los elementos.



En 1865, Lothar Meyer, propuso que se considerase el etileno como una sustancia que contenía dos afinidades no saturadas, puesto que su molécula se combina fácilmente con dos átomos de cloro y de bromo adicionándolos; pero generalmente se prefirió la idea de las dobles ligaduras de Kekulé, aun cuando el monóxido de carbono presentaba una dificultad para la misma. La existencia de triples ligaduras en el acetileno fue admitida en 1862 por Emil Erlenmeyer, aunque ya había sido considerada antes por Loschmidt. La admisión formal de ligaduras múltiples se encuentra contenida en las fórmulas gráficas de Joseph Wilbrand — el inventor del TNT<sup>535</sup>. Debajo de ellas están colocadas las fórmulas actualmente en uso:



En 1867, James Dewar, quien fue asistente de Kekulé propuso como una posible estructura para el benceno<sup>536</sup>

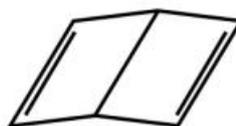


Figura 17.6. Fórmula de Dewar

En 1869, Albert Ladenburg, también asistente de Kekulé propuso una fórmula alternativa para el benceno<sup>537</sup> llamada prismano.

<sup>535</sup> *Zeitsch. f. Chemie*, 1865, VIII, 685.

<sup>536</sup> "On the Oxidation of Phenyl Alcohol and a Mechanical Arrangement adapted to illustrate Structure in the Non-saturated Hydrocarbons". *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, Vol VI, 1867 pp. 82 – 86.

<sup>537</sup> Bemerkungen zur aromatischen Theorie. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, Volume 2, 1869, pp. 140 – 142

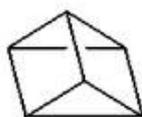
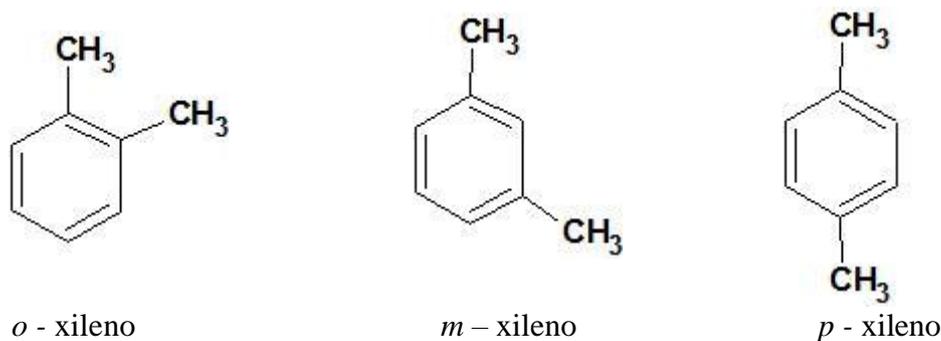


Figura 17.7. Prisma.

que fue sintetizada en 1973 a partir del benzvaleno.

La fórmula del benceno propuesta por Kekulé tuvo una influencia enorme en el desarrollo de la Química Orgánica, no sólo a nivel teórico sino también en cuanto a sus aplicaciones prácticas. Su propuesta permitió, por ejemplo, establecer que el tolueno, sintetizado por Fittig y Tollens era metilbenceno. En 1874, Wilhelm Körner, pudo determinar las estructuras isómeras de los xilenos

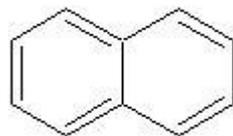


En 1872, Kekulé hizo notar que pueden existir isomerías por sustitución según que ésta tenga lugar en el anillo o en cadena lateral:

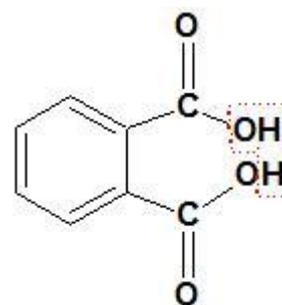


La unión de un átomo de cloro a un átomo de carbono del núcleo es muy fuerte y no puede ser separada por ebullición con álcalis; en cambio, esto puede lograrse cuando un átomo de cloro está unido a un átomo de carbono de una cadena lateral, como sucede en el caso de compuestos alifáticos.

En 1866, Erlenmeyer sugirió que el naftaleno está formado por dos anillos bencénicos soldados entre sí que poseen dos átomos de carbono comunes. Laurent había obtenido, en 1836, por oxidación del naftaleno, el ácido ftálico, compuesto importantísimo, cuya constitución había sido establecida por Græbe sobre la base de que forma rápidamente un anhídrido con pérdida de agua, por lo que probablemente contenga dos grupos carboxilo en posiciones adyacentes.

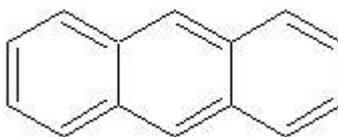


Naftaleno



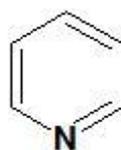
Ácido ftálico

Otro hidrocarburo presente en el alquitrán de hulla es el antraceno, descubierto en 1832 por Dumas y Laurent. Su constitución fue dilucidada por Græbe y Liebermann, quienes demostraron que consiste en tres anillos bencénicos fusionados.



Antraceno

La elucidación de las estructuras de hidrocarburos aromáticos permitió aclarar la estructura de varios compuestos heterocíclicos, por ejemplo, la estructura de la piridina fue propuesta en 1869 por Körner y, en forma independiente por Dewar en 1871



Piridina.

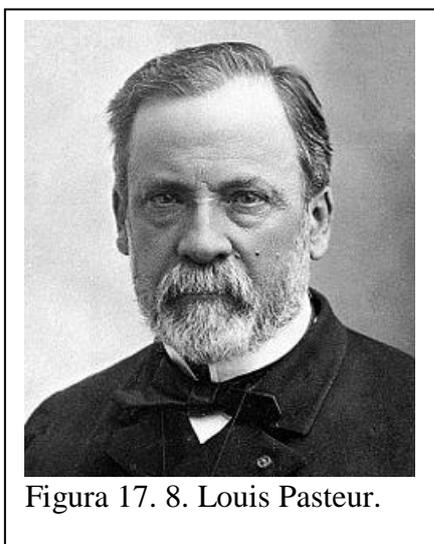


Figura 17. 8. Louis Pasteur.

### 17 – 5. Los trabajos de Pasteur sobre isomería óptica

En 1769, Carl Wilhelm Scheele había estudiado las propiedades del ácido tartárico<sup>538</sup>. En 1810 Gay-Lussac demostró que cierto producto industrial que se vendía como ácido oxálico era, realidad, ácido tartárico. En 1832, Biot encontró que el ácido tartárico obtenido a partir del vino, tenía la propiedad de rotar el plano de la luz polarizada planarmente, en cambio, el producto industrial carecía de actividad óptica. Se comenzó así a distinguir dos clases de ácido tartárico. Al que carecía de actividad óptica se comenzó a llamarlo “ácido paratartárico”.

Las investigaciones sobre la isomería óptica de los ácidos tartáricos, fueron retomadas en por Louis Pasteur en 1848<sup>539</sup>

<sup>538</sup> Que ya habían sido estudiadas por Jabir ibn Hayyan (Geber) en el siglo VIII.

<sup>539</sup> **Pasteur, L.** Recherches sur le dimorphisme. *Annal. de Chimie*, XXIII, [1848], pp. 267-295; *Journ. de Pharm.* XHI., 1848, pp. 453-456; *Comptes Rendus*, XXVI., [1848], pp. 353- 355; Recherches sur les relations qui peuvent exis-

quien repitió los análisis que habían hecho Paul Desains y Ferdinand Hervé de la Provostaye<sup>540</sup> sobre las formas cristalinas de los tartratos. Notó un detalle que habían pasado por alto los predecesores: que los tartratos "dan pruebas indudables de poseer caras hemiédricas"<sup>541</sup> por lo que supuso que "podría haber una relación entre las hemiedrías de los tartratos y su propiedad de desviar el plano de polarización de la luz." Pasteur demostró que muchos compuestos orgánicos cristalizables que son ópticamente activos muestran hemiedrías, pero que el ácido racémico y sus sales, — que son isómeros con el ácido tartárico y sus sales, — son ópticamente inactivos. Pasteur se sintió muy impresionado por una observación que había hecho Eilhard Mitscherlich en 1842<sup>542</sup>, que el tartrato de sodio y amonio es idéntico, no sólo en la composición sino también en muchas propiedades físicas, incluso la forma cristalina, con el paratartrato (racemato) de sodio y amonio y que una solución del tartrato es ópticamente activa, mientras una solución del paratartrato es inactiva. En su trabajo, Mitscherlich había informado que: "la naturaleza y el número de los átomos, su arreglo y distancias, son los mismos en las dos sustancias comparadas". Pasteur decidió investigar si los cristales de paratartrato doble eran realmente idénticos a los del tartrato doble. Preparó y examinó al microscopio cristales de ambas sales: el tartrato mostró hemiedría, pero le extrañó observar que los cristales del paratartrato también presentaban hemiedrías. La diferencia que observó fue que mientras en los cristales de tartrato las caras hemiédricas estaban todas orientadas en la misma dirección respecto de los ejes cristalinos, en algunos cristales de paratartrato las caras hemiédricas estaban orientadas en un sentido y en otros cristales esas caras estaban orientadas en sentido opuesto. Utilizando una lupa y valiéndose de un pelo de vaca afilado en un extremo, separó los cristales que mostraban caras hemiédricas en un sentido de los cristales que las mostraban en sentido contrario, preparó soluciones de ambos tipos de cristales y mediante un polarímetro examinó sus propiedades ópticas y concluyó que

*En définitive, les expériences qui précèdent semblent établir, d'une manière incontestable, que l'acide paratartrique des chimistes, inactif sur le plan de la lumière polarisée, est composée de deux acides dont les rotations se neutralisent mutuellement, parce que l'un dévie à droite, l'autre à gauche, et tout deux de la même quantité absolue.*<sup>543</sup>

Pasteur agregó que el isomorfismo de las dos sales que forman el paratartrato de sodio y amonio exhibía una particularidad hasta entonces desconocida: la estructura cristalina de cada una de esas sales semejan la imagen en un espejo de la otra pero no se pueden superponer. Este tipo de correspondencia entre dos estructuras cristalinas se llama enantiomería (del griego *ἐναντιός* = opuestos) y los cristales que las poseen se llaman *enantiómeros* o *enantiomorfos* y también *antípodas ópticos*.

Pasteur, creyó que la asimetría molecular es una característica particular de ciertos productos formados a partir de organismos vivos. Pero a partir de la década de 1850 se sintetizaron una gran cantidad de sustancias inorgánicas que tienen actividad óptica.

ter entre la forme cristalline, la composition chimique et le sens de la polarisation rotatoire. *Annal. de Chimie*, XXIV., [1848], pp. 442-459; *Journ. de Pharm.* XIV., [1848], pp.158-160; *Comptes Rendus*, XXVIII., 1849, pp. 477- 478.

<sup>540</sup> **Desains, P. – de la Provostaye, F.H.** Note sur les lois du rayonnement de la chaleur, *Comptes rendus*, 19, 410-415, [1844]; Sur le rayonnement de la chaleur, *Compte rendus*, 20, 1767 – 1775, [1845]; Mémoire sur le rayonnement de la chaleur, *Compte rendus*, 24, 60 – 64, [1847]; 24, 684 – 686 [1847]; Sur la polarisation de la chaleur, *Compte rendus*, 29, 121 – 125, [1849]; Rotation du plan de polarisation de la chaleur par le magnétisme, *Comptes rendus*, 29, 352 – 355, [1849]; Recherches sur la polarisation de la chaleur, *Compte rendus*, 29, 757 – 759, [1849].

<sup>541</sup> La hemiedría es una característica de ciertos cristales en los cuales sólo existe simetría en la mitad de sus partes geométricamente iguales.

<sup>542</sup> **Mitscherlich, E.** Krystallform des traubensauren Natron-Ammoniaks und der Oxalsäuren Doppelsalze. *Berichte*, 842, [1842] pp. 244-246.

<sup>543</sup> "En definitiva, las experiencias que preceden parecen establecer, de manera incontestable, que el ácido paratartárico de los químicos, inactivo ante el plano de la luz polarizada, está constituido por dos ácidos cuyas rotaciones se neutralizan mutuamente, ya uno se desvía el (plano de la luz polarizada) hacia la derecha, y el otro hacia la izquierda, y los dos en la misma cantidad absoluta". *Annal. de Chimie*, XXIV., [1848], p. 455.

Otro de los hitos importantes en la dilucidación de la estructura espacial de los compuestos del carbono lo constituye la propuesta de Kekulé, quien en 1867, sugirió que la manera más satisfactoria de representar la estructura de la molécula de benceno sería suponer que las cuatro unidades de afinidad de cada átomo de carbono son radiadas desde el átomo en la dirección de los ejes hexaédricos de modo que cada una termine en las caras de un tetraedro"

### 17 – 6. Los trabajos de van't Hoff y Le Bel sobre la estructura tetraédrica del carbono

La concepción de una disposición tetraédrica de un átomo de carbono y otros cuatro átomos — o grupos atómicos — combinados con él constituyó una hipótesis de trabajo que, en 1874, formularon independientemente Joseph Achille Le Bel y Jacobus Henricus van't Hoff. El trabajo de van't Hoff fue publicado en septiembre y el de Le Bel en noviembre de ese año.<sup>544</sup>

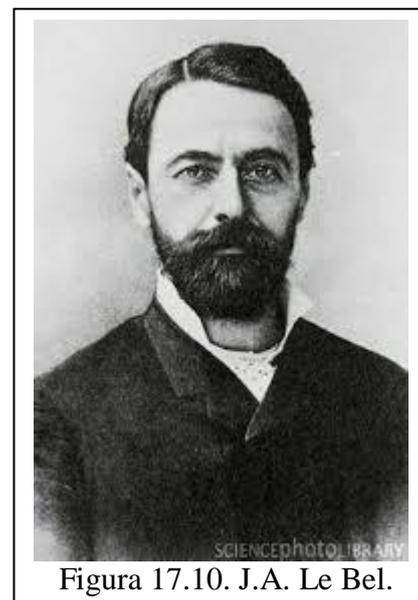


Figura 17.10. J.A. Le Bel.



Figura 17.9. J.H. van't Hoff

En mayo de 1875, van't Hoff publicó un libro titulado *La Chimie dans l'Espace* donde trató la estructura de los compuestos de carbono. Un segundo libro, más extenso se publicó en 1877 bajo el título *Dix Annees dans L'histoire d'une Theorie*.<sup>545</sup>

Le Bel partió del trabajo de Pasteur y usó métodos geométricos para establecer las orientaciones de los átomos unidos al átomo de carbono en las moléculas asimétricas. En cambio, van't Hoff usó como punto de partida los trabajos de Kekulé sobre la tetravalencia del átomo de carbono sus intentos de correlacionar las actividades ópticas de ciertos compuestos orgánicos con la conformación espacial de las moléculas de esos compuestos. No obstante las diferencias en los puntos de partida, ambos arribaron a las mismas conclusiones. Cuando un átomo de carbono está unido directamente a cuatro átomos, o grupos atómicos, diferentes la conformación de la molécula es asimétrica. Las moléculas de compuestos orgánicos que tienen actividad óptica tienen, al menos, un átomo de carbono asimétrico, La conformación  $CR_1R_2R_3R_4$ , donde  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , y  $R_4$  son átomos o grupos atómicos monovalentes distintos, debe considerarse como un tetraedro en cuyo centro se encuentra el átomo de carbono en cuestión y los cuatro átomos, o grupos atómicos, diferentes están ubicados en los vértices del tetraedro. Esta conformación tetraédrica no se puede superponer con su imagen especular y si una de las conformaciones está vinculada con una actividad óptica dextrógira, el otro isómero especular, rotará el plano de la luz polarizada planarmente hacia la izquierda.

<sup>544</sup> Van't Hoff: "Sur les formules de Structures dans l' Espace," *Archiv. neerland*, 9, 445 [1874]. Le Bel: "Sur les relations qui existent entre les formules atomiques des corps organiques et la pouvoir de leurs dissolutions," *Bull. Soc. Chim.* [2], 22, 337 [1874]; Rotation du plan de polarisation de la chaleur par le magnétisme *Comptes rendus* 29 352 – 355 [1849]

<sup>545</sup> A diferencia de otros científicos que discutieron sus méritos para asignarse un mismo descubrimiento con todos los argumentos, — aún malintencionados, — a su alcance, en el caso de van't Hoff y Le Bel, no ocurrió lo mismo y el libro de van't Hoff quien, publicó primero su trabajo sobre la estructura espacial de las uniones que forma el carbono, tiene la siguiente dedicatoria "A M. J. A Le Bel, En témoignage de ma respectueuse affection, J. H. van't Hoff"

La hipótesis del átomo de carbono asimétrico ha sido muy fructífera. Ha sugerido grandes áreas de investigación y provisto los medios para un desarrollo provechoso. Posteriormente, se descubrió que existen sustancias orgánicas con átomos de carbono asimétricos que carecen de actividad óptica. Ellas no sólo son racematos — como la mezcla equimolecular de los tartratos de sodio y amonio — sino que hay sustancias cuyas moléculas tienen dos átomos de carbono asimétricos pero sus cristales tienen un plano de simetría interno que los hace ópticamente inactivos. La existencia de átomos de carbono asimétricos es la causa más común de actividad óptica, su existencia elimina los elementos de simetría cristalina que hacen que la molécula sea igual a su imagen especular. Los elementos de simetría son: el plano de simetría, el centro de simetría y un eje alternante de cuarto orden (o eje de inversión). El plano de simetría de un cristal lo divide en dos partes que son imágenes especulares entre sí. El centro de simetría es un punto de la celdilla elemental de una especie cristalina que al unirlo con cualquier punto de la superficie de la celdilla encuentra, al otro lado del centro y a la misma distancia, un punto similar. Un eje de inversión de cuarto orden se obtiene invirtiendo el cristal sobre su centro geométrico (que no necesariamente coincide con el centro de simetría) y efectuando una rotación de 90°. Si se obtiene la misma imagen se dice que el cristal tiene eje de inversión de cuarto orden, si no se obtiene la misma imagen se dice que el cristal carece de ese centro de inversión.

Dada la gran importancia de los trabajos sobre este tema, en el Apéndice de este capítulo, incluimos la traducción al castellano del trabajo de Le Bel. El libro de van't Hoff "*Dix Années dans l'Histoire d'une Théorie*" Bazendijk, Rotterdam (1887) incluye ese trabajo en su primera parte.

## Bibliografía

**Alfred Bader.** "Josef Loschmidt, the Father of Molecular Modelling", *Royal Institution Proceedings*, Vol 64, pp. 197 – 205.

**Loschmidt, J., (1861):** *Chemische Studien, Constitutions- Formlen der organischen Chemie in Graphischer Darstellung*, Carl Gerold Sohn, Wien.

**Lowry, T.M. (1915):** *Historical Introduction to Chemistry*, Macmillan and Co, London.

**Partington, J. R., (1945):** *Historia de la Química*. Espasa Calpe Argentina. Buenos Aires.

**Pattison Muir, M.M., (1907):** *A History of Chemical Theories and Laws*, J. Wiley & Sons. New York. *Temas de Historia de la Química*

**Tilden, W.A., (1899):** *A Short History of the Progress of Scientific Chemistry in our Times*, Longman Green and Co. London.

**van't Hoff, J.H., (1887):** "*Dix Années dans l'Histoire d'une Théorie*" Bazendijk, Rotterdam.

## MEMORIAS PRESENTADAS A LA SOCIEDAD QUÍMICA

### Sobre las relaciones que existen entre las fórmulas atómicas de los cuerpos orgánicos y el poder rotatorio de sus soluciones, por J. A. Le Bel.\*

Hasta ahora, no poseíamos ninguna regla cierta para predecir si la solución de una sustancia tiene o no poder rotatorio. Solamente sabíamos que los derivados de una sustancia activa eran, en general, activos. Todavía vemos, a menudo, que el poder rotatorio desaparece súbitamente en estos derivados y esto en los derivados más inmediatos, mientras que en otros derivados mucho más alejados, el poder rotatorio se conserva. Restringiéndome a consideraciones de un orden puramente geométrico, logré formular una regla mucho más general. Antes de exponer el razonamiento que permite llegar a esta ley, presentaré los datos en los cuales se apoya, y concluiré con una discusión sobre las comprobaciones que suministra el estado actual de nuestros conocimientos de Química.

Los trabajos de Sr. Pasteur y varios otros sabios han establecido de modo completo la correlación que existe entre la asimetría<sup>546</sup> de las moléculas y el poder rotatorio. Si la asimetría existe sólo en la molécula cristalina, sólo el cristal será activo; si al contrario, ella pertenece a la molécula química, el poder rotatorio se manifiesta en su solución y, a menudo, hasta en el cristal, si la estructura de éste permite percibirla, como ocurre con el sulfato de estriquina y el alumbre de amilamina. Además, hay demostraciones matemáticas de la existencia necesaria de esta correlación, que consideraremos como un hecho totalmente adquirido.

En los razonamientos que siguen haremos abstracción de las asimetrías que podrían resultar de la orientación que poseen en el espacio los átomos y los radicales monoatómicos, lo que equivale a igualarlos a esferas o a puntos materiales, que serán iguales si estos átomos o estos radicales son iguales entre ellos, y diferentes si éstos son diferentes. Esta restricción se justifica por el hecho que, sin recurrir a esta orientación, se pudieron prever todas las isomerías observadas hasta el presente; la discusión con que concluye este trabajo mostrará que la aparición del poder rotatorio también puede preverse sin la hipótesis que acabamos de mencionar.

Primer principio general. – Consideremos una molécula de un compuesto químico que tenga la fórmula  $MA^4$ , donde M es un radical simple o complejo combinado con cuatro átomos monoatómicos A, susceptibles de ser reemplazados por sustitución. Reemplacemos tres de ellos por radicales monoatómicos simples o complejos, diferentes entre ellos y no idénticos a M y el cuerpo que se obtiene será asimétrico. En efecto el conjunto mismo de los radicales R, R', R" y A asimilados a puntos materiales diferentes entre sí, forma una construcción no superponible a su imagen en el espejo y el residuo M no podría restablecer la simetría. Por lo tanto, en general, si un cuerpo deriva de nuestro tipo primitivo  $MA^4$  por la sustitución de A por tres átomos o radicales distintos, su molécula será asimétrica y tendrá el poder rotatorio.

Hay dos casos de excepción que son muy distintos: 1º si la molécula se caracteriza por tener un plano de simetría que encierra a los cuatro átomos A, la sustitución de éstos por radicales (que debemos considerar como no orientados) no podrá alterar de ninguna manera la simetría respecto de este plano, y entonces toda la serie de cuerpos que se obtienen por sustitución será ópticamente in-

\* Nouv. Ser. T XXII, 1874. *Soc. Chim.*

<sup>546</sup> Recomendamos para el estudio de los teoremas relativos a la simetría de los poliedros, la lectura del trabajo del Sr. Bravais, Études cristallographiques que está inserto en los Anales de la École Polytechnique. Nouv. Ser. T XXII, 1874. *Soc. Chim.*

activa. 2° cuando el último radical que sustituye a A está formado por los mismos átomos que todo el resto del agrupamiento en el cual entra, el efecto de estos dos grupos iguales sobre la luz polarizada puede compensarse o sumarse. Si esta compensación se efectúa, el cuerpo será inactivo o puede que esta disposición se presente en un derivado de un cuerpo activo y asimétrico de una constitución muy poco diferente. Esto lo veremos a continuación en un caso muy notable en el que este hecho se presenta.

Segundo principio general. Si en nuestro tipo fundamental sustituimos sólo dos radicales R y R', podrá haber simetría o asimetría según la constitución de la molécula tipo MA<sup>4</sup>. Si esta molécula tenía primitivamente un plano de simetría que pasaba por ambos átomos A que han sido reemplazados por R y R', este plano seguirá siendo un plano de simetría después de la sustitución y el cuerpo obtenido será, pues, inactivo. Los conocimientos que tenemos sobre la constitución de ciertos tipos simples nos permitirán, pues, afirmar que ciertos cuerpos que derivan de ellos por dos sustituciones son inactivos.

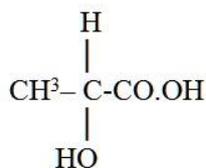
En particular, si una sola sustitución proporciona un único derivado y dos, y hasta tres sustituciones, proporcionen un solo y único isómero químico, estamos obligados a suponer que los cuatro átomos A ocupan los vértices de un tetraedro regular cuyos planos de simetría serán idénticos a los de la molécula total MA<sup>4</sup>, en ese caso ningún cuerpo disustituido poseerá poder rotatorio.

*Aplicación a los cuerpos saturados de la serie grasa.* Todos los cuerpos grasos saturados derivan del gas de los pantanos o formeno, CH<sup>4</sup>, por la sustitución del hidrógeno de radicales diversos. En tanto los cuatro átomos de hidrógeno no están en el mismo plano, lo que resalta la existencia misma de derivados trisustituidos activos, podemos aplicar el primer principio general y afirmar que la sustitución de tres radicales diferentes formará compuestos activos. Así, si en la fórmula desarrollada de una sustancia encontramos un átomo carbono combinado con tres radicales monoatómicos diferentes entre sí y diferentes del hidrógeno, deberemos encontrar un cuerpo ópticamente activo.

Además, como el formeno siempre proporciona un único derivado, ya sea por dos o por tres sustituciones, podemos aplicar a los derivados por *dos sustituciones* el segundo principio general y afirmar que éstos no son cuerpos activos. Así si en una fórmula desarrollada vemos un átomo de carbono combinado con dos átomos de hidrógeno o con dos radicales idénticos, este cuerpo no debe presentar poder rotatorio.

Ahora analicemos los cuerpos activos de la serie grasa.

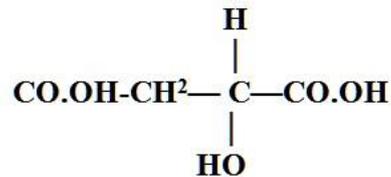
**GRUPO LÁCTICO.** El ácido láctico deriva del gas de los pantanos por la sustitución del hidrógeno por los tres grupos HO, CO.OH y CH<sup>3</sup> que son diferentes entre sí, ya que este ácido tiene como fórmula:



El átomo de carbono central se encuentra en el caso en que es aplicable el primer principio general, por lo tanto, este cuerpo debe ser activo. En efecto, el Sr. Wislicenus anunció recientemente que había encontrado un ácido activo en la carne. Este ácido no tiene, como creíamos, la constitución del ácido etileno láctico sino que, según este autor, es un isómero físico del ácido láctico ordinario. No preveíamos que el ácido etileno láctico pudiera ser activo, porque los átomos de carbono del radical están combinados cada uno a dos átomos de hidrógeno, como lo muestra la fórmula: CH<sup>2</sup>.OH-CH<sup>2</sup>-COOH. Más aún, el propylglycol y el ácido yodopropiónico, que derivan ácido láctico ac-

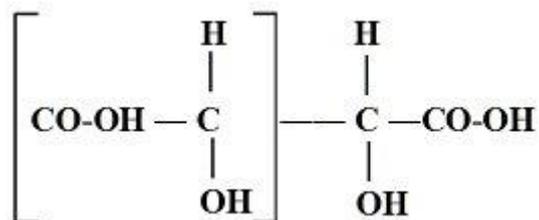
tivo conservan el poder rotatorio, pero que no ocurre lo mismo con la glicerina que podemos considerar derivada del ácido láctico; porque en ésta, el átomo de carbono central está unido a dos radicales iguales  $\text{CH}^2\text{OH}$ .

**GRUPO MÁLICO.** El ácido málico presenta una disposición análoga al del ácido láctico y su fórmula evidencia que tiene poder rotatorio.

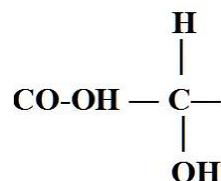


o mismo ocurre con la asparagina que deriva del ácido málico por sustitución de dos hidroxilos por grupos  $\text{NH}^2$ . Finalmente, el ácido aspártico, que es también activo, contiene a un solo grupo  $\text{NH}^2$  en lugar del hidroxilo central. Si, por el contrario, reemplazamos el grupo OH por H obtenemos el ácido succínico que, al igual que el ácido etilenoláctico es inactivo.

**GRUPO TARTÁRICO.** El ácido tartárico tiene por fórmula:



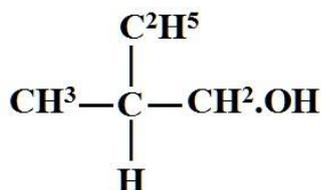
Vemos que puede ser considerado como derivado del formeno por la sustitución de tres átomos de hidrógeno por los siguientes tres radicales monoatómicos HO, CO.OH y:



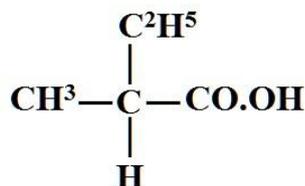
En consecuencia, el ácido tartárico debe manifestar poder rotatorio y, en efecto, es lo que ocurre. Sin embargo el examen de la fórmula muestra que el último de los grupos sustituyentes es idéntico al agrupamiento en que entra. Nos encontramos, pues, en el segundo caso de excepción al primer principio general. En ese agrupamiento son posibles dos arreglos de simetrías inversas. Si el grupo entrante se encuentra combinado con un grupo idéntico y superponible, sus efectos sobre la luz polarizada se añadirán, es lo que se ocurre con el ácido activo<sup>547</sup>; si al contrario queda combinado con un grupo de una simetría inversa, forzosamente sus efectos se neutralizarán y tendremos el ácido tartárico inactivo. Estos razonamientos se aplican a los derivados del ácido tartárico y en particular al eritritol. Hasta ahora sólo conocemos al eritritol inactivo. Por otra parte podría ser que el eritritol activo no fuera un cuerpo estable.

**GRUPO DEL ALCOHOL AMÍLICO.** – El alcohol amílico activo tiene fórmula

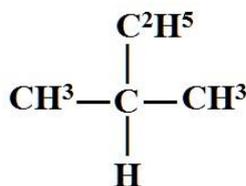
<sup>547</sup> Al revés, si el grupo entrante forma una imagen superponible con el agrupamiento existente se genera un plano de simetría y la molécula resulta ópticamente inactiva. *Nota de M. K.*



Vemos que se puede prever su poder rotatorio de la misma manera que el de los cuerpos precedentes. Esta sustancia proporciona una serie muy numerosa de derivados en los cuales siempre está presente el poder rotatorio, tanto que esa característica se observa a partir de sus fórmulas. Citaremos todos los éteres del alcohol amílico y los ácidos conjugados que proporciona, al igual que el ácido valérico:

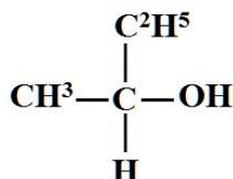


y los valeratos, los éteres valéricos, la amilamina y casi todos los hidrocarburos donde está presente el radical amilo, tales como el etil amilo, el diamilo, etc. En cambio, el hidruro de amilo no tiene actividad



Este hecho prueba que la existencia del radical amilo no es siempre correlativa con el poder rotatorio de sus combinaciones.

El Sr. Wurtz mostró que el ácido caproico, derivado del cianuro de amilo activo, posee poder rotatorio. Si comparamos este ácido con el ácido valérico activo, cuya fórmula ha sido dada anteriormente, vemos que uno deriva alcohol amílico como el otro deriva alcohol butílico secundario del Sr. de Luynes. Podemos, pues, concluir empíricamente que este último alcohol es activo. Llegaríamos directamente a este resultado aplicando el primer principio general sobre la fórmula de este alcohol secundario que es:

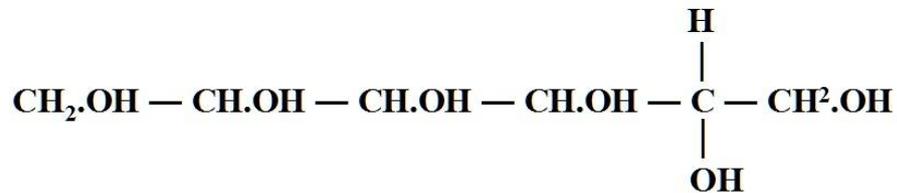


Este autor se ocupó de preparar varios compuestos de este grupo, donde lo importante fue verificar sus acciones sobre la luz polarizada.

**GRUPO DE LOS AZÚCARES.** La constitución general de los cuerpos azucarados es conocida, pero sus fórmulas exactas todavía no han sido dadas en absoluto; debemos pues limitarnos a prever los hechos sobre fórmulas generales.

En todo cuerpo azucarado, encontramos muchas veces a átomos de carbono unido con el hidrógeno, con el hidroxilo y con los dos radicales complejos; si éstos son diferentes, lo que muy generalmente ocurre, el azúcar en cuestión debe ser activo. En efecto, hemos observado que la mayoría de los azúcares tienen poder rotatorio.

Los azúcares se dividen naturalmente en alcoholes hexatómicos, tales como la manita, y en glucosas. Consideremos al alcohol hexatómico normal



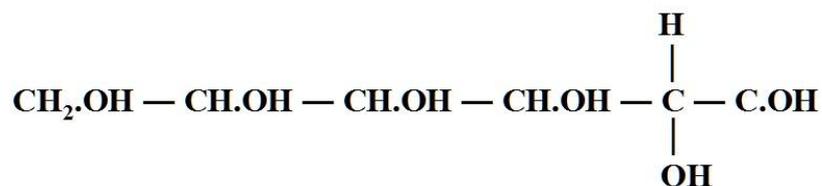
vemos que cada uno de cuatro átomos de carbono centrales posee la característica del poder rotatorio que está indicada en la fórmula de más arriba sólo para el quinto átomo de carbono.

Si la sola causa de la asimetría de esta molécula consistiera en el modo de agrupamiento de los radicales que rodean a un único de estos cuatro átomos de carbono, sólo tendríamos un cuerpo levógiro y un cuerpo dextrógiro. Pero como existen cuatro agrupamientos iguales, habrá tantos isómeros que podemos imaginar diversas combinaciones entre estos agrupamientos. Esto es, la reproducción de los hechos que ya vimos para el ácido tartárico, pero aquí todavía no se conocen todos los isómeros

En la fórmula de más arriba, observamos que el entorno inmediato de los átomos de carbono centrales es el mismo, es decir, que los radicales con los que [los átomos de carbono centrales] están combinados — H y OH — son idénticos, de modo que las diferencias [entre los isómeros] están en sus partes más alejadas. Si los agrupamientos semejantes dan lugar a poderes rotatorios de signo contrario, comprendemos que se compensen casi completamente y que el poder rotatorio de la molécula total o sea casi nulo o, por lo menos, bastante débil.

Esta, tal vez, podría ser la explicación del poder rotatorio tan mínimo de la manita, de la dulcita y de sus éteres<sup>548</sup> hexanítricos y hexacéticos, que son de sólo unos pocos grados.

Esta suposición, que además es independiente de la teoría general, se encuentra confirmada por el hecho que las *glucosas* tienen un poder rotatorio mucho más grande, ya las glucosas tienen una función aldehídica o una función cetónica. Consideremos la glucosa aldehídica normal:



vemos que el agrupamiento asimétrico que rodea al quinto átomo de carbono es completamente diferente de todos los demás, y no hay ninguna razón para que su efecto sobre la luz polarizada sea compensado por los agrupamientos vecinos. Entonces comprendemos por qué la hidrogenación de las glucosas — que son [ópticamente] muy activas — producen alcoholes hexatómicos casi privados de poder rotatorio.

<sup>548</sup> ¿Ésteres? Nota de M. K.

CUERPOS GRASOS QUE TIENEN DOS ATOMICIDADES LIBRES. No hemos mencionado a los cuerpos activos no saturados, porque en esta clase no podemos incluir a los cuerpos que obtienen por la sustitución de un radical activo en un cuerpo inactivo no saturado tal como, por ejemplo, en el valerato de alilo.

Tenemos que examinar sólo el caso donde la laguna<sup>549</sup> del cuerpo no saturado se produce por la desaparición de algunos de los radicales cuyo agrupamiento asimétrico producía el poder rotatorio en el cuerpo saturado correspondiente. Así como todos los cuerpos con dos atomicidades libres derivan del etileno, es sobre este último cuerpo que hay que aplicar, si se puede, los principios generales que nos han servido anteriormente. Dejaremos de lado el caso donde los cuatro átomos de hidrógeno [que se pueden sustituir] no tengan enlaces fijos unos con relación a los otros<sup>550</sup>, porque es claro que su sustitución no proporcionaría cuerpos asimétricos. Al contrario, si estas posiciones relativas son fijas, podemos aplicar sobre el etileno el mismo razonamiento que en el caso del formeno.

Si los cuatro átomos de hidrógeno están en el mismo plano, lo que es un caso de equilibrio posible, no será posible obtener ningún derivado trisustituido activo. Sin embargo, no conocemos ejemplos bien estudiados de cuerpos que derivan del etileno por tres sustituciones diferentes y, al presente, no podemos zanjar esta cuestión.

En cuanto al segundo principio general, él *no es aplicable* al etileno, porque la fórmula  $\text{CH}^2 = \text{CH}^2$  muestra que por dos sustituciones se obtienen isómeros químicamente diferentes. Esto de ninguna manera se opondría a que estos átomos estén en el mismo plano, en cuyo caso los derivados por dos sustituciones serían inactivos. En el caso contrario, para explicar las isomerías de los derivados etilénicos, estaríamos obligados a suponer que los átomos de hidrógeno situados sobre los vértices de una pirámide cuadrática hemiédrica, pero superponible a su imagen  $P/2$ <sup>551</sup> y mediante dos sustituciones diferentes obtendríamos dos isómeros, uno simétrico y el otro asimétrico; estos isómeros serían simétricos si los radicales sustituyentes fueran los mismos, como ocurre con los ácidos maleico y fumárico. De esto resulta que *bastará el estudio óptico* de dos derivados disustituidos tales como el amileno obtenido del alcohol amílico activo:  $\text{CH}^2 = \text{C} \begin{array}{l} \text{--- CH}^3 \\ \text{--- C}^2\text{H}^5 \end{array}$  y su isómero  $\text{CH}^3\text{---CH} = \text{CH---C}^2\text{H}^5$  para dilucidar si los cuatro átomos de hidrógeno están o no en un mismo plano.

SERIE AROMÁTICA. Todos los químicos se han puesto de acuerdo en admitir que los átomos de hidrógeno del benceno ocupan posiciones fijas. Por lo tanto, como hicimos para los cuerpos saturados, no podemos considerar como un solo punto material a una parte de la molécula de benceno. Al contrario, esta hipótesis restrictiva nos permitirá considerar el aspecto de los radicales o de los grupos que reemplazan al hidrógeno en el benceno. Las hipótesis geométricas que dan cuenta de las isomerías en la serie aromática ya han sido discutidas en otra parte: ellas consisten en colocar a los seis átomos de hidrógeno en los seis vértices iguales de un romboedro, o en los de una pirámide recta cuya base es un triángulo equilátero. Un razonamiento geométrico muy sencillo muestra que en uno u otro caso se obtienen, por dos sustituciones diferentes, un isómero asimétrico y otros dos simétricos; la existencia de un cimeno activo, que ha sido comprobada, confirma estas hipótesis, por lo que no la discutiremos más.

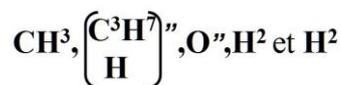
Sin asignar a los átomos de hidrógeno del benceno un agrupamiento particular, podemos aplicar el primer principio general sobre tres cualesquiera de esos átomos de hidrógeno, con tal que no se encuentren en un plano de simetría de la molécula total. De esto se deduce que encontraremos cuer-

<sup>549</sup> *Lacune* en el original. Debe interpretarse con el doble enlace. *Nota de M. K.*

<sup>550</sup> Si están en posiciones *cis* o *trans*. *Nota de M. K.*

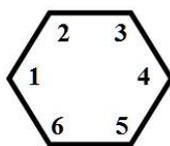
<sup>551</sup> La que se refleja en el plano de simetría *P* que divide a la molécula en 2 partes. *Nota de M. K.*

pos activos cuando, por lo menos, tres átomos de hidrógeno sean reemplazados por radicales diferentes. Encontramos este caso en la mayoría de los cuerpos de la serie canfórica (Ver para estas fórmulas el trabajo de Sr. Kekulé, *Bull. Soc. chim.*, t. XX, 1873, p. 558); el alcanfor, por ejemplo, deriva del benceno por la sustitución del hidrógeno por los agrupamientos siguientes;



tres de ellos son diferentes y los otros dos no podrían restablecer la simetría. En efecto, comprobamos que todos estos cuerpos tienen actividad óptica.

Para la esencia de trementina, el caso no es el mismo. Sabemos que ella deriva también de la serie canfórica, del paracimeno [4 – metilcumeno] en el cual los radicales ocupan las posiciones 1 y 4 del hexágono del Sr. Kekulé, es decir, están en el plano de simetría [de la molécula] del benceno.



Esta es la razón por la cual el paracimeno es inactivo. Entonces la esencia de trementina deriva de este cimeno por la sustitución de dos grupos  $\text{H}^2$  por otros dos átomos de hidrógeno. Si ocupan las posiciones 2 y 6 o bien las 3 y 5 — simétricas respecto del plano de simetría que pasa por las posiciones 1 y 4, — tendremos isómeros inactivos. Al contrario, si ocupan posiciones no simétricas una respecto de la otra, tales como 2 y 5 o bien 2 y 3, tendremos isómeros activos (trementina y canfeno). Podríamos aplicar el mismo razonamiento para otros isómeros de la trementina (para las fórmulas, ver la memoria de Sr. Oppenheim, *loc. cit.*, p. 560).

Es posible que el ácido canfórico, cuya constitución todavía no está totalmente establecida, entre en el caso precedente.

El ácido quínico, también activo, deriva del benceno por un modo diferente de sustitución pero como su conocimiento es insuficiente no lo discutiremos aquí.

Vemos cuanto interés despierta el estudio de los compuestos aromáticos activos y cuánta utilidad le reportará a los químicos que se ocupan de los compuestos di y trisustituídos del benceno susceptibles de ser activos, hacer los ensayos que permitan separarlos en sus isómeros dextrógiros y levógiros. También vamos a mostrar que los cuerpos con actividad óptica obtenidos por síntesis contienen estos isómeros en proporciones iguales.

*Teorema.* Cuando en una reacción en la que intervienen cuerpos simétricos se forma un cuerpo asimétrico se formarán dos isómeros de simetrías inversas en la misma proporción.

Sabemos que el principio general del cálculo de probabilidades consiste en esto:

Cuando cualquier fenómeno puede pasar de dos maneras solamente, y que no hay ninguna razón para que el primer modo se produzca preferentemente al segundo, si el fenómeno se efectuó un número  $m$  de veces según la primera manera, y  $m'$  veces según la segunda, la relación  $m/m'$  tiende hacia la unidad cuando  $m + m'$  crece más allá de todo límite.

Lo mismo ocurre si *por sustitución* de un cuerpo simétrico se obtiene un cuerpo asimétrico y la asimetría ha sido introducida por una de las sustituciones que se efectuaron. Consideremos ésta en

particular. El radical o el átomo cuya sustitución introdujo la asimetría, tenía un homólogo con el que era simétrico con relación a un punto o a un plano de simetría. Estos radicales se encontraban en condiciones dinámicas y geométricas semejantes, por lo que si  $m$  y  $m'$  representan el número de veces en que cada uno de ellos entra en la sustitución, a medida que el número de estas sustituciones crece más allá de todo límite mensurable,  $m/m'$  debe tender hacia la unidad. Entonces, si la sustitución por uno de estos radicales homólogos produce el cuerpo dextrógiro, la sustitución por otra dará el cuerpo levógiro y, por consiguiente, en las sustituciones ambos cuerpos ópticamente activos estarán en proporciones iguales.

Lo mismo ocurre con los cuerpos asimétricos formados por adición; en efecto el cuerpo que se añade a una molécula simétrica y destruye la simetría podría ocupar una posición situada a un lado o al otro del punto o del plano de simetría; el razonamiento precedente también se aplica a este caso.

Esto no es necesariamente lo mismo para los compuestos asimétricos formados en presencia de cuerpos activos mismos o atravesados por la luz polarizada circularmente, o, en fin, sometidos a cualquier causa que favorezca la formación de uno de los isómeros asimétricos. Estas condiciones son excepcionales, y en general en los cuerpos obtenidos por síntesis, los que son activos suelen escapar de las investigaciones del químico, si él no trató de separar los isómeros producidos juntos y que neutralizan el efecto sobre la luz polarizada. Poseemos un ejemplo impresionante de este hecho en el ácido tartárico. En efecto, nunca se obtuvo por síntesis directa el ácido dextrógiro o el ácido levógiro, sino un ácido inactivo, el ácido racémico que es una mezcla en partes iguales de los ácidos con actividades ópticas opuestas.

## XVIII. LOS INICIOS DE LA FISICOQUÍMICA

Josiah Willard Gibbs nació en New Haven el 11 de febrero de 1839, y murió en la misma ciudad, el 28 de abril de 1903. Ingresó al Yale College en 1854 y se graduó en 1858, recibiendo durante sus estudios diversos premios por su excelencia en Latín y Matemática; Los cinco años siguientes continuó sus estudios en la Universidad de New Haven. En 1863 recibió el grado de Doctor en Filosofía y fue nombrado tutor en el College por tres años. Durante los primeros dos años de su tutoría dictó clases de Latín, mientras que durante el tercero enseñó Física. Al finalizar su tutoría viajó al exterior con sus hermanas pasando el invierno 1866 – 67 en París y el año siguiente en Berlín donde asistió a las conferencias de Heinrich Gustav Magnus (1802 – 1870) y otros profesores de Física y Matemática. En 1868 fue a Heidelberg donde asistió a conferencias de Hermann von Helmholtz y Gustav Kirchhoff, regresando a New Haven en 1869. Dos años más tarde fue designado Profesor de Física Matemática en el Yale College, cargo en el que continuó hasta su fallecimiento.

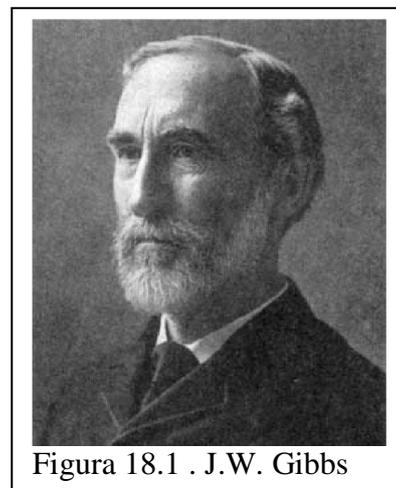


Figura 18.1 . J.W. Gibbs

En 1873, publicó dos trabajos sobre Física Matemática en *Transactions of the Connecticut Academy*, el primero titulado “Graphical Methods in the Thermodynamics of Fluids,”<sup>552</sup> y el segundo “A Method of Geometrical Representation of the Thermodynamic Properties of Substances by Means of Surfaces.”<sup>553</sup> Estos fueron seguidos en 1876 y 1878 por las dos partes de “On the Equilibrium of Heterogeneous Substances”<sup>554</sup> una de las más importantes contribuciones a la Física y a la Termodinámica del siglo XIX.

Gibbs solía emplear ilustraciones geométricas como símbolos y ayuda para la imaginación en lugar de los modelos mecánicos tan comunes entre los investigadores. En particular, cuando se trata de analizar tanto el trabajo como el calor intercambiados son muy útiles sus diagramas volumen – entropía —dos variables extensivas— que aventajan a los diagramas de Clapeyron o a los diagramas entrópicos — en los que la presión o la temperatura son variables intensivas.

“*On the Equilibrium...*” es un extenso y meticuloso estudio de la Termodinámica de equilibrio. Prologado por los famosos enunciados de Clausius “*Die Energie der Welt ist constant. Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu*”<sup>555</sup> estableció los criterios de equilibrio y estabilidad

<sup>552</sup> *Conn. Acad.* Vol II. pp. 309-342, 1873.

<sup>553</sup> *Conn. Acad.* Vol II. pp. 382-404, 1873.

<sup>554</sup> *Conn. Acad.* Vol. III. pp. 108-248, Oct., 1875 –May, 1876 y pp. 343 – 524 May, 1877 – July, 1878.

<sup>555</sup> “La energía del Universo es constante, la entropía del Universo tiende a un máximo”. Clausius publicó este enunciado en 1867 en el volumen II de su libro *Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie*, creyendo haber

I For the equilibrium of any isolated system it is necessary and sufficient that in all possible variations of the state of the system which do not alter its energy, the variation of its entropy shall either vanish or be negative.<sup>556</sup> If  $\varepsilon$  denote the energy, and  $\eta$  the entropy of the system, and we use a subscript letter after a variation to indicate a quantity of which the value is not to be varied, the condition of equilibrium may be written

$$(\delta\eta)\varepsilon \leq 0 \quad (1)$$

II. For the equilibrium of any isolated system it is necessary and sufficient that in all possible variations in the state of the system which do not alter its entropy the variation of its energy shall either vanish or be positive. This condition may be written

$$(\delta\varepsilon)\eta \geq 0 \quad (2)^{557}$$

y a partir de esas condiciones hizo un exhaustivo estudio de los distintos tipos de equilibrio: homogéneos, de solubilidad, de fases, osmótico, etc. Analizó las ecuaciones fundamentales para gases ideales llegando a establecer una ecuación termodinámica de estado para esos gases. Incluyó un estudio detallado sobre el trabajo superficial — introduciendo el concepto de “tensión interfacial” — sobre la teoría de la capilaridad y sobre la influencia del campo gravitatorio sobre los sistemas en equilibrio. Es allí donde introdujo, a partir de la función de Helmholtz, la función energía libre. Gibbs designaba a la función de Helmholtz con  $\Psi = \varepsilon - t\eta$ ; encontrando para un cambio infinitesimal a temperatura constante que  $-d\Psi = dW$ , es decir la función de Helmholtz cambiada de signo mide el trabajo total intercambiado por el sistema en una transformación isotérmica. Introduciendo el concepto de entalpía (que él designó con  $\chi$ ) encontró la expresión de la función que hoy se conoce como energía libre de Gibbs  $\xi = \varepsilon - t\eta + pV$ , a partir de la cual dedujo la expresión general para sistemas de composición variable y lo que hoy conocemos como potencial químico. El artículo incluye también un estudio detallado sobre equilibrio de fases y la famosa “regla de las fases”, equilibrios en el punto crítico, equilibrios en soluciones y entre fases sólidas y un capítulo dedicado a la fuerza electromotriz. La regla de las fases ha servido para clasificar y explicar, de manera simple y lógica, hechos experimentales de aparente complejidad como los estados de equilibrio en las soluciones sólidas, los equilibrios osmóticos y los equilibrios en sistemas multicomponentes.

La “*Transactions of the Connecticut Academy*” era una revista de escasa circulación de modo que era prácticamente desconocida en los círculos científicos. Si a eso se le suma la notoria timidez de Gibbs, puede encontrarse una explicación de porqué en 1880 científicos de la talla de van der Wals, o Kelvin desconocían la regla de las fases. Fue Ostwald, quien quedó tan impresionado con la profundidad y el rigor del trabajo de Gibbs, que no sólo lo publicitó en el ambiente académico, sino que en 1891 lo tradujo al alemán. En 1899, Le Châtelier lo tradujo al francés.

Entre los años 1882 y 1889, Gibbs publicó cinco trabajos en el *American Journal of Science* vinculados a la teoría electromagnética y a la óptica.

encontrado un enunciado universal del cual podrían deducirse todas las leyes de la Termodinámica. Sin embargo, después de la publicación se dio cuenta que el Universo no es un sistema termodinámico ya que carece de límites definidos, su masa es desconocida y no se pueden establecer las características de su “medio exterior”. De modo que en la edición de 1876 de sus “*Abhandlungen ...*”, ese enunciado ya no figuraba.

<sup>556</sup> Para establecer el estado de] equilibrio de cualquier sistema aislado, es necesario y suficiente que en todas las variaciones posibles del estado del sistema que no alteren su energía la variación de su entropía sea nula o negativa. (La determinación del estado de un sistema termodinámico requiere que cada una de sus variables de estado mantenga un valor constante. Es decir, que el sistema esté en equilibrio. Si un sistema está en equilibrio y *aislado* permanecerá en equilibrio indefinidamente. Por lo tanto, a menos que deje de estar aislado ese sistema no experimentará variación alguna de su entropía.

<sup>557</sup> *Conn. Acad.* Vol. III. p. 109 Oct., 1875.

“*On the Equilibrium...*” fue considerada la obra más importante escrita en el siglo XIX sobre temas de Termodinámica vinculados con la Química, trabajo que sentó las bases de la Fisicoquímica. Pero su último trabajo, “*Elementary Principles in Statistical Mechanics*”, tiene una relevancia mayor ya que trata de dar un fundamento teórico a las conclusiones de la Termodinámica que surgen de los resultados experimentales.

En esta obra, Gibbs consideró sistemas en equilibrio formados por un elevado número de partículas en movimiento que cumplen con las ecuaciones de Hamilton para el movimiento. Para efectuar un estudio estadístico de las posiciones y cantidades de movimiento de las partículas constituyentes de ese sistema real, estableció el concepto de “ensamble” como un conjunto enorme de sistemas idénticos al sistema en estudio que son independientes entre sí y que difieren únicamente en las configuraciones y velocidades de sus partículas individuales.

A partir del estudio de estos ensambles, desarrolló las ecuaciones fundamentales de la Mecánica Estadística y las aplicó a los llamados ensambles canónicos (donde el número de partículas, el volumen del sistema y la temperatura permanecen constantes) y los ensambles microcanónicos (donde se mantienen constante el número de partículas, el volumen y la energía). En el desarrollo de las ecuaciones encontró muchas similitudes con las ecuaciones de la Termodinámica, tema que discutió en el Capítulo XIV. Sin embargo, fue muy cauteloso en cuanto a la “reducción” de la Termodinámica a la Mecánica Estadística. Al analizar las analogías entre ambas disciplinas escribió:

“...it should be distinctly stated that, if the results obtained when the numbers of degrees of freedom are enormous coincide sensibly with the general laws of thermodynamics, however interesting and significant this coincidence may be, we are still far from having explained the phenomena of nature with respect to these laws. For, as compared with the ease of nature, the systems which we have considered are of an ideal simplicity. Although our only assumption is that we are considering conservative systems of a finite number of degrees of freedom, it would seem that this is assuming far too much, so far as the bodies of nature are concerned. The phenomena of radiant heat, which certainly should not be neglected in any complete system of thermodynamics, and the electrical phenomena associated with the combination of atoms, seem to show that the hypothesis of systems of a finite number of degrees of freedom is inadequate for the explanation of the properties of bodies.”<sup>558</sup>

Se puede considerar que el trabajo de Gibbs ha contribuido al desarrollo de la Termodinámica como el trabajo de Maxwell lo hizo al desarrollo del Electromagnetismo.

Gibbs, también se destacó en el desarrollo del álgebra vectorial, y en algunos aspectos de la astronomía.

Los méritos científicos de Gibbs fueron reconocidos formalmente por un gran número de sociedades científicas y universidades. Fue miembro de la Connecticut Academy of Arts and Sciences, de la National Academy of Sciences, de la American Academy of Arts and Sciences, de la American Philosophical Society, de la Dutch Society of Sciences, Haarlem, de la Bayerische Akademie

---

<sup>558</sup> “...debería expresarse claramente que si los resultados, cuando el número de grados de libertad son enormes, coinciden con las leyes generales de la Termodinámica por más interesante y significativa que sea esta coincidencia, estamos lejos de haber explicado los fenómenos de la naturaleza mediante esas leyes. Ya que comparados con la naturaleza en reposo, los sistemas que hemos considerado son de una simplicidad ideal. Si bien nuestra única suposición es que estamos considerando sistemas conservativos con un número finito de grados de libertad, parecería que esto es demasiado pretencioso, demasiado en lo que concierne a los cuerpos de la naturaleza. Los fenómenos de calor radiante, que ciertamente no pueden despreciarse en un sistema termodinámico completo y los fenómenos eléctricos asociados con la combinación de los átomos parecen demostrar que la hipótesis de sistemas con un número finito de grados de libertad son inadecuados para la explicación de las propiedades de los cuerpos”. Willard Gibbs, J. (1902). *Elementary Principles in Statistical Mechanics*. Yale University Press. Pág. 166

der Wissenschaften, de la Royal Institution of Great Britain, de la Cambridge Philosophical Society, de la London Mathematical Society, de la Manchester Literary and Philosophical Society, de la Royal Academy of Amsterdam, de la Royal Society of London, de la Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, del Institut Français, de la Physical Society of London y de la Akademie der Wissenschaften von Brandenburg und Berlin y de la Preußischen Akademie der Wissenschaften. Recibió grados honorarios del Williams College, y de las universidades de Erlangen, Princeton, y Christiana. En 1881 recibió la medalla Rumford de la American Academy of Boston, y en 1901 la Medalla Copley de la Royal Society of London.

## 18 – 2. La “ley de las masas activas”

La primera teoría completa sobre la afinidad química fue desarrollada por el químico sueco Torbern Olaf Bergmann en 1775, en su obra *Dissertation on Elective Attractions*. En aquella época, la palabra “afinidad” se consideraba, como la fuerza que produce la combinación de las sustancias y que las retiene en esta combinación. Bergmann reemplazó siempre “afinidad” por la palabra *atracción* y postuló que el tamaño de esta atracción puede expresarse por un número determinado. Observó que las diferentes sustancias tienen diferentes atracciones sobre una misma especie química. Si una sustancia A tiene una atracción mayor sobre una sustancia B que la que ejerce la sustancia C, entonces B sacará a C de su combinación con A, o



Fundándose sobre esta última hipótesis, Bergmann expuso su *tabla de afinidades*,<sup>559</sup> la más completa para su época. Para Bergmann, la insolubilidad, la volatilidad y las cantidades relativas de las sustancias reaccionantes no tenían ninguna influencia sobre la composición de los productos de la reacción.

En los años 1801 a 1803, Claude Berthollet desarrolló una teoría de la afinidad en sentido contrario de la de Bergmann. Según Berthollet, todas las sustancias tienen afinidad por otras; la magnitud de la afinidad es diferente para diversas sustancias y depende esencialmente de la cohesión (la insolubilidad) y de la volatilidad (la elasticidad de los gases); los cuerpos no reaccionan unos con otros a menos que sus partículas más pequeñas estén en contacto íntimo (por ejemplo, en solución); la acción química de un cuerpo sobre otro no sólo depende de sus afinidades sino también de las cantidades relativas de los mismos. Además resaltó que un cuerpo se sustrae a la acción química cada vez que precipita de su solución o que adquiere la forma de vapor, de modo que si A tiene afinidad por B y C, la combinación completa de A y B sólo se efectuará si el cuerpo AB es insoluble o gaseoso, porque en estos dos casos no hay acción entre AB y C.<sup>560</sup>

Las experiencias de Víctor Regnault<sup>561</sup> sobre las reacciones entre metales y el vapor de agua, proporcionaron una prueba contundente de que la hipótesis que la sola diferencia entre dos afinidades no bastaba para explicar la reacción química; sino que la temperatura y las masas de las sustancias actuantes modifican esencialmente los resultados de la reacción. En este trabajo Regnault usó

<sup>559</sup> Publicado originalmente en latín en 1775, fue traducido al francés como “*Traité des Affinités Chymiques ou attractions Electives*” Buisson, Libraire, Paris, 1788.

<sup>560</sup> **Berthollet, C. L.**, «Recherches sur les lois de l’affinité», *Annales de Chimie*, 36. 1801, 302 – 317 ; 37 1801, 151 -158 y 221 – 253 ; 38, 1801, 3 – 29; 113 – 134 ; *Mémoires de la Classe des Sciences Mathématiques et Physiques* 3, 1803, 1 – 96 : 207 – 245.

<sup>561</sup> **Regnault, V.** «Recherches relatives à l’Action de la Vapeur d’Eau à une haute température sur les Métaux» *Ann. de chimie et de physique*, 62, 337 – 374 (1836)

las relaciones de masas para explicar los resultados experimentales, lo que luego generalizarían Guldberg y Waage.

Marcelin Berthelot y Péan de Saint Gilles estudiaron la reacción de esterificación del ácido acético con etanol<sup>562</sup> y luego otras esterificaciones; tratando de establecer la velocidad de reacción y, a partir de esa velocidad, establecer cuantitativamente las afinidad de las sustancias reaccionantes. Para ello trataron es establecer la influencia que tienen las “masas activas” de los reactantes en la velocidad con la que se produce la reacción. En esa época se llamaba “masa activa” a la relación entre el número de moléculas y el volumen en el cual esas moléculas están contenidas, esto es, una forma de expresar las concentraciones.

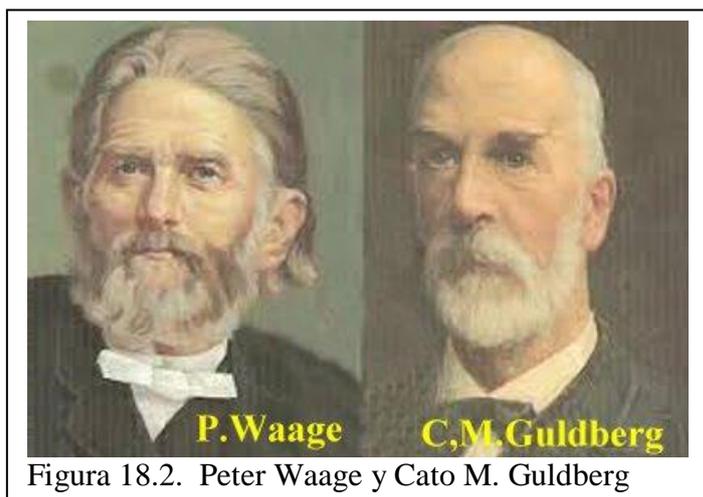


Figura 18.2. Peter Waage y Cato M. Guldberg

En 1864, Cato Maximilian Guldberg, y Peter Waage, profesores de la Escuela Real de Artillería e Ingeniería de Noruega, enunciaron la llamada “ley de acción de masas” o “ley de las masas activas”.

Ellos señalaron que “del mismo modo que en Mecánica, debemos estudiar las reacciones químicas en la cuales las fuerzas que producen nuevos compuestos están en equilibrio con otras fuerzas... casos en los cuales la reacción es parcial, esto es, no completa”

Su primer trabajo fue publicado en 1864 y en alemán<sup>563</sup> en la Academia Noruega de Ciencias y Letras.

La suposición fundamental hecha por Guldberg y Waage había sido tomada de los trabajos de Berthelot y Saint Gilles, quienes sostenían que la acción química es proporcional a las masas activas de las sustancias. Pero a diferencia de las hipótesis de estos dos químicos, partieron de la base de que la fuerza que actúa para la formación de los productos, no es la única fuerza actuante, sino que hay otra fuerza que impulsa a los productos de la reacción a regenerar las sustancias reaccionantes: “Cuando dos sustancias A y B se transforman por doble sustitución en dos nuevas sustancias A’ y B’ y, en las mismas condiciones, A’ y B’ pueden, a su vez, transformarse en A y B ... la fuerza que produce la formación de A’ y B’ aumenta proporcionalmente a los coeficientes de afinidad de la reacción  $A + B = A' + B'$  pero también dependen de las masas de A y B.

En este trabajo, establecen el primer enunciado de la ley de las masas activas:

*“La fuerza de sustitución, manteniendo constantes otras condiciones, es directamente proporcional al producto de las masas elevadas cada una de ellas a un exponente particular.*

Si las cantidades de las dos sustancias que interactúan se designan por  $M$  y  $N$ , entonces, la fuerza de sustitución para ellas es

$$\alpha(M^a N^b)$$

<sup>562</sup> Berthelot, M. - Saint Gilles, L.P., “Recherches sur les affinités” *Ann. Chim. et Phys.* 65 382 – 389, 414 – 422 (1862); 225 – 359 (1863)

<sup>563</sup> Waage, P.: Guldberg, C. M. “Studien über die Affinität”, *Forhandlinger i Videnskabs.Selskabet i Christiania* 1864. p.35 – 41.

Los coeficientes  $\alpha$ ,  $a$  y  $b$  son constantes que, a igualdad de otras condiciones, dependen sólo de la naturaleza de las sustancias”

También establecieron la “Acción del volumen”

*Si las mismas masas de las sustancias interactuantes ocurren en volúmenes diferentes, entonces la acción de esas masas es inversamente proporcional al volumen.*

Si, como más arriba,  $M$  y  $N$  designan las cantidades de las dos sustancias y  $V$  y  $V'$  el volumen total del sistema en dos casos diferentes, entonces la fuerza de sustitución en uno de los casos queda expresada por  $\alpha(M/V)^a(N/V)^b$  y en el otro caso por  $\alpha(M/V')^a(N/V')^b$ .

Considerando un sistema general en el que se produce una doble sustitución  $A + B = A' + B'$  que contiene las cuatro sustancias activas en relaciones variables y designando las masas activas de las mismas por  $p$ ,  $q$ ,  $p'$  y  $q'$ , entonces al alcanzar el equilibrio se habrá transformado una cierta cantidad  $x$  de las primeras dos sustancias. En consecuencia, las cantidades de cada una de ellas que quedan en el equilibrio son  $p - x$ ,  $q - x$ ,  $p' + x$ ,  $q' + x$ . De acuerdo con la ley de acción de masas, la fuerza de acción de las dos primeras sustancias será  $\alpha(p - x)a(q - x)b$  y la fuerza de la reacción para las dos últimas sustancias es  $\alpha'(p' - x)a'(q' - x)b'$ . Dado que hay equilibrio

$$\alpha(p - x)a(q - x)b = \alpha'(p' - x)a'(q' - x)b'$$

A partir de esta ecuación se puede encontrar  $x$  y se puede calcular cual será la cantidad de una sustancia dada para cualquier sistema en equilibrio. De la ecuación, se deduce que sólo 4 de los 6 coeficientes son independientes, los que deben ser establecidos por experimentos.

Como las fuerzas de acción no aumentan proporcionalmente a las masas sino a ciertas potencias de las mismas, la relación de los exponentes no necesita ser muy grande para que alguna de las sustancias se torne tan pequeña que no pueda ser detectada por los métodos analíticos usuales y entonces se la considera como de ocurrencia completa.

En 1867 publicaron, en francés, un libro sobre este tema “*Études sur les affinités chimiques*”<sup>564</sup> donde analizaron más de 300 reacciones bajo diversas condiciones para establecer la influencia de las masas, de las temperaturas, de los “cuerpos extraños a la vez que determinar los tiempos en los que se alcanzan los equilibrios químicos.

Si bien algunos de sus resultados experimentales difieren bastante de los valores predichos por su ley, especialmente para concentraciones elevadas o cuando influyen otras especies presentes o cuando ocurren simultáneamente reacciones paralelas, es muy meritorio por sus conclusiones y suministró una buena aproximación para el cálculo de rendimientos. En cuanto a las causas de las divergencias entre los valores observados y los calculados en la última página del libro comenta:<sup>565</sup>

“He aquí las series de experiencias sobre las cuales aplicamos el cálculo; creemos que ellas bastan para mostrar la probabilidad de nuestra teoría; las divergencias entre los valores observados y calculados son debidas al hecho que descuidamos la presencia de las sales formadas durante la reacción y, en varios casos, unos coeficientes de acción que probablemente no son lo suficientemente pequeños. No tratamos las experiencias que comprenden al ácido acético o los acetatos y he aquí las razones. En sus acciones, el ácido acético parece muy curioso, y las fórmulas no pueden explicar los

<sup>564</sup> Brogger, Christianía, 1867.

<sup>565</sup> “*Études ...*” p. 74.

fenómenos. Primero, cuando se observa la acción de un metal sobre el ácido acético, se encuentra que la velocidad tiene un máximo para un título determinado y la velocidad disminuye para ácidos más concentrados. Es probable que la causa sea la insolubilidad de la sal formada. Pero aun para la velocidad correspondiente a ácidos diluidos, la acción es singular.”

“En segundo término, la acción de una mezcla de ácido acético y de ácido clorhídrico es muy singular, ... Aplicando las fórmulas sobre este sistema, encontramos que el coeficiente de acción para el ácido acético con relación al agua varíe con el título del ácido clorhídrico. ¿Cómo explicar estos fenómenos? ¿Acaso la causa es la insolubilidad? O tal vez puede ser que la verdadera explicación sea la formación de *grupos de moléculas...*”

“Cuando abordamos estos estudios en 1861, creímos que se podría encontrar valores numéricos para el tamaño de las fuerzas químicas. También creímos que se podría encontrar para cada elemento y para cada combinación química los números que expresan su afinidad relativa, así como los pesos atómicos representan sus pesos relativos. Supusimos que experiencias cuantitativas escogidas con cuidado y hechas en las condiciones donde se alcanza el *estado de equilibrio* entre las fuerzas, podrían conducirnos a tal fin. Pero esta rama de la química ha sido muy poco cultivada y hemos sido obligados a escoger experiencias por marcha a tientas; así hicimos un gran número de experiencias que no se han publicadas en esta memoria, porque no muestran los fenómenos que queremos estudiar. Sin embargo, en la segunda parte publicamos varias series que no conciben con los valores calculados, creyendo que podrían tratarse más tarde, una vez que hubiéramos recogido bastantes elementos para una discusión ulterior. Aunque no hayamos resuelto el problema de las afinidades químicas, creemos que hemos señalado *una teoría general de las reacciones químicas*, a saber: la consideración de las reacciones donde *el estado de equilibrio se efectúa entre fuerzas opuestas.*”

“Citamos experiencias que demuestran esta teoría hasta en los valores numéricos, y esperamos que la vía indicada por nosotros pueda servir para aclarar *la teoría de la estática química*. El fin de nuestra memoria fue el de mostrar *primero que nuestra teoría explica los fenómenos químicos en general y, segundo, que las fórmulas fundadas sobre la teoría concuerdan bastante bien con las experiencias numéricas*. Pero la determinación de los *coeficientes de afinidad* y el estudio de estos coeficientes exigen un número de experiencias mucho más grande que el de las experiencias citadas; de modo que no entramos en la discusión de estos coeficientes. Empleamos generalmente pues fórmulas aproximadas fáciles de tratar, aunque el acuerdo entre los valores observados y calculados no sea tan perfecto como el que podríamos obtener tomando en consideración todas las fuerzas activas.”

### 18 – 3. La pseudo constante de equilibrio

En la búsqueda de un método que les permitiera encontrar valores numéricos para las afinidades de las sustancias, en 1879 Guldberg y Waage publicaron una nueva memoria<sup>566</sup> en la que reemplazaron los exponentes empíricos de las ecuaciones por los coeficientes estequiométricos, proponiendo la ecuación sobre consideraciones cinéticas que se utiliza hasta hoy en día para calcular constantes de equilibrio. Para una reacción que cumple con la forma idealizada de la ley de Raoult<sup>567</sup> la

<sup>566</sup> Guldberg, C, M – Waage, P. “Uber die Chemische Affinität” *Journal für Practische Chemie* 127 Neue Folge 19, 69 – 114, 1879.

<sup>567</sup> La forma idealizada de la ley de Raoult es aquella en la que al reemplazar la presión que ejerce un componente por su fugacidad, su fracción molar resulta de la ecuación  $(f_i^0 - f) / f = \chi_i$  donde  $f_i$  es la fugacidad de un componente  $i$

constante así calculada no difiere mucho de la surge de consideraciones termodinámicas acerca de la actividad de las sustancias en el equilibrio. Para una solución real el apartamiento de la constante de equilibrio de su valor empírico es tanto mayor cuando mayor son las concentraciones de las sustancias actuantes y mayor la interacción entre las especies disueltas.

#### 18 – 4. La ecuación de van't Hoff

Paul Emile Benoit Clapyeron encontró una expresión que da la dependencia de la temperatura de equilibrio entre dos fases de una misma sustancia con la presión que soportan esas fases. Para el caso de los equilibrios entre una fase condensada y su vapor, la ecuación de Clapeyron (en términos modernos) toma la forma

$$\frac{dp}{dT} = \frac{Q}{T\Delta v}$$

donde el primer miembro da la variación de la presión de equilibrio con la temperatura,  $Q$  es el calor latente de la transición considerada y  $\Delta v$  es la variación del volumen específico que acompaña a dicha transición.

Para el caso del equilibrio líquido vapor, la ecuación de Clapeyron toma la forma

$$\frac{dp_{vap.}}{dT} = \frac{Q_{vap.}}{T(v_{vap.} - v_{liq.})}$$

$Q_{vap}$  es el calor latente de vaporización,  $p_{vap}$  la presión de vapor,  $v_{vap}$  el volumen específico del vapor y  $v_{liq}$  el volumen específico del líquido.

Rudolf Clausius propuso dos aproximaciones a la fórmula de Clausius, que si bien daba una ecuación aproximada, la misma era muy útil a los fines prácticos. Clausius consideró que si el estado de equilibrio líquido vapor difiere mucho del estado crítico, el volumen específico del líquido es despreciable frente al volumen específico del vapor y, por lo tanto, puede eliminarse de la ecuación de Clapeyron. En segundo término supuso que para bajas presiones de vapor, el vapor se comporta idealmente y su volumen específico puede reemplazarse por  $RT/pM$ , con lo que la ecuación de Clausius se transforma en

$$\frac{1}{p_{vap}} \frac{dp_{vap}}{dT} = \frac{Q_{vap}M}{RT^2}$$

o

$$\frac{d \ln p_{vap}}{dT} = \frac{\Delta H_{vap}^M}{RT^2}$$

En la que  $\Delta H_{vap}^M$  es el calor molar de vaporización.

en la solución y  $f_i^0$  es la fugacidad del componente  $i$  puro. Las soluciones que cumplen esta condición se forman con aditividad exacta de volúmenes y sin efecto térmico alguno

Una tercera aproximación, consistente en considerar que para intervalos térmicos no muy des —por ejemplo, menores a 100 grados—, el calor latente de vaporización se puede considerar constante. Esto facilita la integración de Clapeyron – Clausius, obteniéndose.

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta H_{vap}^M}{R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

La ecuación de Clapeyron es aplicable rigurosamente a los equilibrios físicos, como lo que se dan, a presión y temperatura constante, en los cambios en el modo de agregación o de estructura cristalina de una sustancia. En 1884, Jacobus Henricus van't Hoff, generalizó la ecuación de Clapeyron haciéndola extensiva a los equilibrios químicos. El tratamiento de van't Hoff surgió de sideraciones rigurosamente termodinámicas mientras que el de Guldberg y Waage partía de deraciones cinéticas. Hoy sabemos que para reacciones compuestas los exponentes de cada especie en la ecuación cinética pueden ser diferentes de los coeficientes estequiométricos en la ecuación química y, en algunos casos —como en la ecuación de Leonor Michaelis y Maud Menten para la catálisis enzimática—, la ecuación cinética no tiene parecido con la propuesta por Guldberg y Waage. Sin embargo, para soluciones que cumplen con la forma idealizada de la ley de Raoult las reacciones que en ellas ocurren dan el mismo valor por las dos teorías ya que se puede reemplazar la constante de equilibrio en función de las actividades por la constante de equilibrio en función de las concentraciones.

## 18 – 5. La contribución de Le Châtelier

Henri Louis Le Châtelier, nació en París el 8 de octubre de 1850, en el seno de una familia de ingenieros y arquitectos. Desde muy joven, recibió instrucción en Matemáticas y Química de su padre, Louis Le Châtelier, un renombrado ingeniero parisino. Al igual que su padre, a los 19 años ingresó a la École Polytechnique y en 1871 a la École des Mines graduándose como ingeniero en 1873. Luego de integrar durante un par de años el Corps des Mines en Besançon, en 1877 le ofrecieron el puesto de Profesor de Química en la École des Mines. Bajo la dirección del mineralogista Ernest-François Mallard, realizó una serie de experimentos sobre temperaturas de combustión de gases<sup>568</sup> y de mezclas gaseosas explosivas<sup>569</sup>. Los estudios que realizó, lo llevaron a desarrollar dispositivos que pudiesen determinar altas temperaturas con precisión. Basándose sobre el principio de la termocupla, perfeccionó un pirómetro termoeléctrico<sup>570</sup> que se conoce como “pirómetro de Le Châtelier”. En 1882, comenzó a dictar Química en la École Polytechnique y a partir de 1884 fue Profesor en el Collège de France. En 1907 sucedió a Henri Moissan en la cátedra de Química General en la Facultad de Ciencias de la Universidad de París hasta su retiro en 1925. Como docente introdujo importantes reformas en la enseñanza de la Química. Hasta que se hizo cargo, la enseñanza de esa Ciencia estaba basada sobre la descripción de las propiedades de las sustancias y complementada con una colección de “recetas” de laboratorio. En cambio, sus cursos estaban fundamenta-

<sup>568</sup> **Le Châtelier, H.L., Mallard, E.**, Sur la Température d'Inflammation des Mélanges Gazeux, *Compt. Rendu*, **91**, 825-828, 1880.

**Le Châtelier, H.L., Mallard, E.**, Combustion des Mélanges Gazeux, *J. Soc. Phys.*, 268-275, 1881a.

**Le Châtelier, H.L., Mallard, E.**, Sur la Vitesse de Propagation de l'Explosion dans les Mélanges Gazeux Explosif, *Compt. Rendu*, **93**, 145-148, 1881b.

**Le Châtelier, H.L., Mallard, E.**, Sur la Température de Combustion et sur la Dissociation de l'Acide Carbonique et de la Vapeur d'Eau, *Compt. Rendu*, **93**, 1076-1079, 1881c.

<sup>569</sup> **Le Châtelier, H.L., Mallard, E.**, Sur la Vitesse de Propagation de l'Explosion dans les Mélanges Gazeux Explosif, *Compt. Rendu*, **93**, 145-148, 1881b.

<sup>570</sup> **Le Châtelier, H.L.**, Sur la Mesure des Températures Élevées par les Couples Thermoélectriques *J. Phys.*, **6**, 23-31, 1887b.

dos sobre leyes y principios y los ejemplos y trabajos de laboratorio eran aplicaciones de esas leyes y principios. Todas sus clases estaban ilustradas con ejemplos reales y enfatizaba la importancia de las generalizaciones como herramientas para la predicción de nuevos hechos. En sus clases explicaba los fundamentos físicos de los distintos cambios químicos, con lo que, en realidad, sus clases eran de Fisicoquímica.

A la par de su actividad docente se ocupó en el estudio de diversos aspectos de la industria del cemento<sup>571</sup>, tema sobre el cual preparó su tesis doctoral en 1887<sup>572</sup>. También contribuyó con trabajos sobre metalurgia y sobre la industria del aluminio.

Su contribución más importante a la Fisicoquímica, fue su “Ley del equilibrio químico”<sup>573</sup>, cuya formulación lo llevó a proponer un método de síntesis del amoníaco que al ocurrir con contracción de volumen su rendimiento es favorecido por un aumento de presión. Basándose en las ideas de Thenard postuló que la reacción debería ser catalizada por hierro y que adquiriría una velocidad aceptable a alta temperatura. El ensayo de esa síntesis a 200 atmósferas y 600 °C con catalizador de hierro terminó en una explosión, por lo que abandonó el proyecto. Años más tarde, Fritz Haber y Robert Le Rossignol lograrían la síntesis en el laboratorio y posteriormente Carl Bosch haría realidad su producción industrial en la planta de BASF en Oppau<sup>574</sup>.



Figura 18.3.- H.L. Le Châtelier

Le Châtelier fue un escritor prolífico, sus publicaciones fueron 635, entre trabajos de investigación, libros, memorias, informes y notas. En 1899 tradujo al francés el libro de Josiah Willard Gibbs “*On the Equilibrium of Heterogeneous Systems*”. En 1904, fundó la revista *Revue de Métallurgie*.

Tuvo numerosas distinciones, desde *Chevallier* hasta Grand Officier de la *Legion d'Honneur*, “*fellow*” de la Royal Society y ganador de la medalla Davy de esa sociedad, *Ehrenmitglied* de la Deutsche Chemische Gesellschaft, Presidente Honorario de la Sociedad Química Francesa, Miembro Asociado de la *Académie Royale* de Belgique y Doctor Honoris causa de varias universidades. Cuando el ingeniero Gustave Eiffel construyó la Torre de París decidió honrar a 72 ingenieros por sus contribuciones a la ciencia, grabando sus nombres en ella. Le Châtelier fue uno de los tres científicos que vivían a la fecha de la inauguración (31 de marzo de 1889). Sin embargo, su admisión a la Académie de France fue rechazada en cinco oportunidades. Recién en 1907, fue admitido como miembro. Según Michel Lette<sup>575</sup>, la razón de su rechazo se debió a su catolicismo militante y ultraconservador que lo llevó a muchos enfrentamientos con colegas liberales y su apoyo a los militares en el famoso “caso Dreyfus”.

Le Châtelier falleció el 17 de septiembre de 1936.

<sup>571</sup> **Le Châtelier, H.L.**, Recherches Expérimentales sur la Constitution des Ciments et la Théorie de Leur Reprise, *Compt. Rendu*, 94, 867-869, 1882.

<sup>572</sup> **Le Châtelier, H L.**, Recherches Expérimentales sur la Constitution des Mortiers Hydrauliques. *Ann. Mines*, 2, 345-420, 1887a. Fue publicado como libro por Dunod, Paris, 1887, y también su traducción al inglés por J. Lathrop Mack: “*Experimental Researches on the Constitution of Hydraulic Mortars*”, McGraw-Hill, New York, 1905.

<sup>573</sup> **Le Châtelier, H.L.**, Sur un Énoncé des Lois des Équilibres Chimique, *Compt. Rendus*, 99, 786-789, 1884.

<sup>574</sup> Tanto Haber como Bosch reconocieron el valor de la ley de Le Châtelier para el logro de la síntesis del amoníaco.

<sup>575</sup> **Lette, M.**, Henry Le Châtelier et ses Archives Privées Récemment Déposées à l'Académie des Sciences, C. R. *Acad. Sci. Paris*, [2], 322, 707-712, 1996.

## 18 – 6. La ley del desplazamiento del equilibrio químico

En 1876 y 1878, Josiah Willard Gibbs publicó un trabajo en dos partes<sup>576</sup> en el que desarrolló las relaciones fundamentales que se cumplen en los equilibrios químicos. Estos trabajos fueron publicados en una revista que era casi desconocida por los químicos europeos. Le Châtelier también estaba interesado en encontrar leyes empíricas que permitiesen predecir el comportamiento químico de las sustancias bajo condiciones establecidas de antemano y en 1884 publicó un trabajo donde enunció una “ley” que regula el comportamiento de los sistemas químicos en equilibrio<sup>577</sup>. A la época de su publicación, Le Châtelier no conocía los trabajos de Willard Gibbs, pero en la introducción citó un trabajo de Gabriel Lippmann de 1881 en el que se ponía de manifiesto la reciprocidad entre los fenómenos eléctricos: la fuerza electromotriz se transforma reversiblemente en fuerzas magnética, mecánica, etc. Lippmann propuso una regla sencilla que establecía el sentido en el que se efectuaba el fenómeno: *El sentido es tal que el fenómeno recíproco tiende a oponerse a la producción del fenómeno primitivo*. También tomó una conclusión de van’t Hoff, publicada ese mismo año, quien había demostrado que la mayoría de las conclusiones experimentales sobre el equilibrio químico se podían resumir en el enunciado: *“Todo equilibrio entre dos estados diferentes de la materia (sistemas) se desplaza por un descenso de la temperatura hacia aquel de los dos sistemas donde la formación desarrolla calor”*<sup>578</sup>. Le Châtelier pensó que esta conclusión podía generalizarse extendiendo a las demás variables de estado (a las que él llamaba *condensación* como cantidad de materia encerrada en la unidad de volumen) lo que esa conclusión afirma respecto de la temperatura y que se podía, además, darle una forma idéntica a las leyes que regulan los equilibrios donde se producen trabajos mecánicos. En función de ello, trató de encuadrarla dentro de lo que él llamaba “el Teorema de Carnot”, o sea, el Segundo Principio de la Termodinámica aplicado a transformaciones reversibles. Basándose sobre esta idea, enunció:

*“Tout système en équilibre chimique stable soumis à l’influence d’une cause extérieure qui tend à faire varier soit sa température, soit sa condensation [pression, concentration, nombre de molécules dans l’unité de volume] dans sa totalité ou seulement dans quelques-unes de ses parties, ne peut éprouver que des modifications intérieures, qui, si elles se produisaient seules, amèneraient un changement de température ou de condensation de signe contraire à celui résultant de la cause extérieure”*.<sup>579</sup>

El enunciado de 1884, publicado en un trabajo de tres carillas daba lugar a muchos interrogantes. Por ello en 1888, publicó una muy extensa memoria sobre el tema<sup>580</sup>. En ella retomó las ideas de Henri Étienne Sainte-Claire Deville acerca de que los fenómenos de equilibrio, lejos de ser la excepción, son la regla y que todos los cuerpos, aun los más estables — como el agua o el dióxido de carbono — en condiciones adecuadas de presión y temperatura pueden sufrir descomposiciones parciales, es decir, transformaciones que no se completan. Tomando como base las “leyes” que había enunciado Sainte-Claire Deville sobre esas reacciones limitadas y aceptando *a priori* que las leyes que rigen los equilibrios físicos son las mismas que gobiernan los equilibrios químicos se abocó a definir qué son estados de equilibrio y sus diversas variedades, cuáles son los llamados “factores

<sup>576</sup> Gibbs, J. W., On the Equilibrium of Heterogeneous Systems, *Trans. Connecticut Acad. Sci.*, 3, 108-248 (Part I), 1876; 3, 343-524 (Part II), 1878.

<sup>577</sup> Le Châtelier, H.L., Sur un Énoncé des Lois des Équilibres Chimique, *Compt. Rendu*, 99, 786-789, 1884.

<sup>578</sup> Van’t Hoff, J.H., (1884): *Études de Dynamique chimique*, F. Muller & Co., Amsterdam, p. 161.

<sup>579</sup> “Todo sistema en equilibrio químico estable sometido a la influencia de una causa exterior que tiende a hacer variar su temperatura o su condensación (presión, concentración, número de moléculas por unidad de volumen) en su totalidad o solamente en alguna de sus partes sólo puede experimentar unas modificaciones interiores que, de producirse solas, llevarían a un cambio de temperatura o de condensación de signo contrario al que resulta de la causa exterior.”

<sup>580</sup> Le Châtelier, H.L., Recherches Expérimentales et Théoriques sur les Équilibres Chimiques, *Ann. Mines*, 13, 157-380, 1888.

de equilibrio” — condiciones de las que depende el estado de equilibrio de un sistema particular. Luego se ocupó de explicar los que él llamó “Principio de oposición de la reacción a la acción”, que establece una relación de signos entre los sentidos de las variaciones de los factores de equilibrio y las deformaciones del sistema sobre los que esos factores actúan. También se ocupó de lo que él bautizó como “Principio de equivalencia” estableciendo las condiciones para que, en un sistema dado, dos especies distintas pueden sustituirse mutuamente sin alterar el estado de equilibrio. También demostró que los principios de la Termodinámica permiten establecer una relación necesaria y suficiente entre las variaciones simultáneas de diversos factores de equilibrio para que el estado de equilibrio persista sin ningún cambio en las variables de estado del sistema.

En la segunda parte de su trabajo, planteó una ecuación diferencial que rige el estado de equilibrio y la manera de integrarla. Se ocupó también de aquellos estados conocidos como “equilibrios indiferentes”, de los equilibrios isotérmicos en sistemas gaseosos, del estado de equilibrio en sistemas líquidos y de los equilibrios complejos donde dos o más sistemas simples en equilibrio se van acercando.

En la parte final del trabajo, indicó algunas hipótesis sencillas, como por ejemplo, que el calor no se puede transferir de un cuerpo a otro a mayor temperatura a menos que haya una compensación, hipótesis que le daban sustento teórico a las generalizaciones que formuló a lo largo del trabajo.

A lo largo de su exposición, Le Châtelier trató de poner en evidencia la relación de los principios de la Termodinámica, — especialmente los tratamientos de Rudolph Clausius y Josiah Willard Gibbs — y el equilibrio que se alcanza en los sistemas cerrados en los que sus condiciones exteriores se mantienen constantes. También vinculó las transformaciones químicas con las leyes de la Mecánica. Así, por ejemplo, estableció lo que él llamó la “ley de oposición de la acción a la reacción”:

*Toute variation d'un facteur de l'équilibre amène une transformation du système qui tend à faire éprouver au facteur considéré une variation de signe contraire à celle qu'on lui a communiquée.*

C'est-à-dire que toute élévation de température provoque une réaction avec absorption de chaleur, toute élévation de pression une réaction avec diminution de volume...<sup>581</sup>

En este trabajo, Le Châtelier reformuló su enunciado para dar una versión más simple:

*Tout système en équilibre chimique éprouve, du fait de la variation d'un seul des facteurs de l'équilibre, une transformation dans un sens tel que, si elle se produisait seule, elle amènerait une variation de signe contraire du facteur considéré.*<sup>582</sup>

En 1908, Le Châtelier publicó “*Leçons sur le carbone et les lois chimiques*” como fruto de su trabajo docente en la Sorbona durante el año escolar 1907-1908. En el capítulo dedicado a las leyes de la Mecánica química procedió a dar una nueva formulación teórica acerca del sentido del desplazamiento de los sistemas en equilibrio químico por variación, en cada caso, de la temperatura, la

<sup>581</sup> Toda variación de un factor de equilibrio, lleva a una transformación del sistema que tiende a hacer sufrir al factor considerado una variación de signo contrario a aquella que le ha comunicado.

Es decir, que toda elevación de la temperatura provoca una reacción con absorción de calor. Toda elevación de presión, una reacción con disminución de volumen ... “*Recherches ...*”, p. 362.

<sup>582</sup> “Todo sistema en equilibrio experimenta, debido a la variación de uno solo de los factores del equilibrio, una variación en un sentido tal que, de producirse sola, conduciría a una variación de signo contrario del factor considerado”. “*Recherches ...*” p. 200.

presión y la fuerza electromotriz. Le Châtelier indicó que los resultados que se derivan de cada una de las formulaciones matemáticas obtenidas en los tres casos tratados se pueden obtener a partir de un enunciado general muy simple, sin necesidad de hacer uso de ninguna fórmula algebraica:

On peut donner de cette loi un énoncé général très simple, sans faire usage d'aucune formule algébrique. *La modification d'une quelconque des conditions, pouvant influencer sur l'état d'équilibre chimique d'un système de corps, provoque une réaction dans un sens tel qu'elle tende à amener une variation de sens contraire de la condition extérieure modifiée.*<sup>583</sup>

A continuación explicó: *Un aumento de la temperatura provoca una reacción que tiende a producir un descenso de temperatura, es decir, una reacción con absorción de calor. Un aumento de la presión produce una reacción tendiente a producir una disminución de presión, es decir, una reacción con disminución del volumen.* Finalmente, generalizó su ley para las acciones debidas a la variación de la masa, sin dar de nuevo ningún tipo de justificación teórica. Así, estableciendo un paralelismo con los casos estudiados anteriormente escribió: *El aumento en un sistema homogéneo de la masa de una de las sustancias en equilibrio provoca una reacción tendente a disminuir la masa del mismo.*

La ley enunciada por Le Châtelier causó una gran impresión en la comunidad científica de fines del siglo pasado y tuvo una amplia aceptación. Además de sus consecuencias teóricas, posibilitaba muchas aplicaciones prácticas que podían redituarse buenas utilidades en la industria. Su aplicación permitía optimizar los rendimientos de los procesos. Baste como ejemplos, la obtención del ácido sulfúrico por el método de contacto y la síntesis del amoníaco por el método de Haber – Bosch. Su enunciado no sólo se tenía que circunscribir a la Química. Se imaginó que expresaba una ley fundamental de la naturaleza que tenía no solo aplicación en los equilibrios físicos y químicos, sino que podía extenderse a campos como la Psicología, la Economía, la Sociología, la Política, etc., recibiendo diversos nombres como, “principio de moderación”, “principio de capacidad de adaptación” y otros.

La modificación introducida por Le Châtelier en 1908 al establecer la prescindencia de tratamientos matemáticos, contribuyó notablemente a que su ley fuera popularizándose entre personas que sin estar habituadas a formalizaciones de ese tipo podían entender y estimar sus predicciones.

Se le ha dado al enunciado de Le Châtelier el carácter de “principio”. En Ciencia, un principio es un enunciado general, indemostrable de por sí, pero cuya validez se corrobora a partir de las consecuencias que de él se deducen por un camino lógico. En el enunciado de un principio debe figurar, al menos un cuantificador universal (todos, ninguno, siempre, etc.). La aceptación implícita de la existencia de excepciones transforma al principio en una “regla” que, si bien carece de validez universal, puede seguir teniendo importantes aplicaciones prácticas.

A principios del siglo XX, algunos científicos, como Paul Ehrenfest y Camille Raveau, comenzaron a cuestionar la formulación de Le Châtelier, tanto por no incluir ecuaciones matemáticas como por restringir el enunciado al cambio de un único factor de equilibrio, presión, temperatura, concentración, masa, etc. Al ser expresado en forma cualitativa, el enunciado es, desde el punto de vista científico, impreciso y vago. La restricción al cambio de un solo factor de equilibrio puede llevar a resultados equivocados. Entre los casos en los que el Principio de Le Châtelier no se cumple se en-

---

<sup>583</sup> A esta ley, se le puede dar un enunciado general muy simple, sin hacer uso de alguna fórmula algebraica: La modificación de alguna de las condiciones que puede influir sobre el estado de equilibrio químico de un sistema, provoca una reacción en un sentido tal que tiende a producir una variación de sentido contrario de la condición exterior modificada.

cuentra el presentado por Katz<sup>584</sup>, para el equilibrio de la síntesis del amoníaco. Si, a presión y temperatura constantes, a la mezcla gaseosa en equilibrio se agrega un exceso de nitrógeno de modo que la fracción molar de ese gas sea mayor a 0,5 se demuestra que el equilibrio se desplaza hacia la formación de reactantes.

Refutaciones de este tipo comenzaron a evidenciarse el siglo pasado con lo que la “ley del equilibrio” o “Principio de Le Châtelier” perdió su carácter de afirmación universal. No obstante, como regla es de gran utilidad en diversos campos de la Ciencia y la Tecnología.

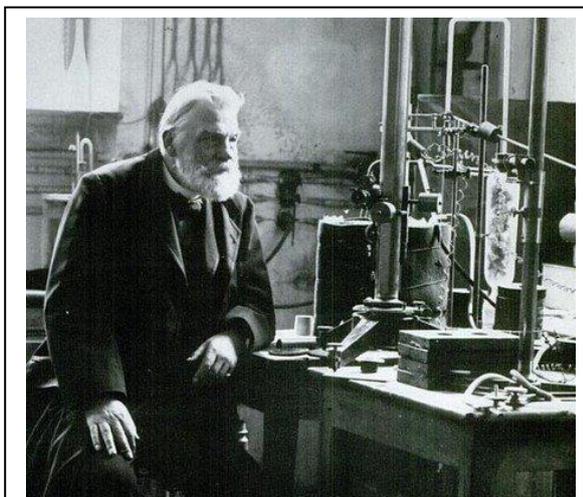


Figura 18.4. F.M. Raoult

## 18 – 7. La fisicoquímica de las soluciones

A partir de los trabajos pioneros de François Marie Raoult (1830 – 1901) sobre el comportamiento de las soluciones, en el último cuarto del siglo XIX, las investigaciones sobre la fisicoquímica de las soluciones fueron muy fructíferas.

Desde su cátedra de Grenoble, Raoult trabajó primero con células fotovoltaicas para luego a partir de 1870 dedicarse de lleno a la Química. Su primer trabajo sobre las propiedades de las soluciones fue publicado en 1874<sup>585</sup>. En 1878, basándose sobre los trabajos del químico suizo Louis de Coppet<sup>586</sup> publicó su primer trabajo sobre el descenso relativo de la presión de vapor de soluciones de una variedad de sales y de depresiones en los puntos de congelación de las mismas<sup>587</sup>. Él desconocía que cien años antes Sir Charles Blagden, — quien fuera asistente de Cavendish y luego Secretario de la Royal Society— había publicado dos trabajos cuantitativos sobre el descenso crioscópico<sup>588</sup> y había establecido una fórmula general para ese descenso muy similar a la que él luego propondría.

Raoult hizo múltiples investigaciones sobre el descenso crioscópico en soluciones acuosas estableciendo, para sales anhidras, una correlación entre el descenso relativo de la presión de vapor y el descenso de la temperatura de congelación<sup>589</sup>. También estudió las propiedades de soluciones acuosas de 29 sustancias orgánicas<sup>590</sup> a partir de las cuales propuso una ley empírica válida para soluciones acuosas de esa clase de sustancias.

$$\frac{C}{P} \times M = K$$

<sup>584</sup> Katz, L. “A Systematic Way to Avoid Châteliers’s Principle in Chemical Reactions, *J. Chem. Ed.*, 38(7), 375 (1961).

<sup>585</sup> Raoult, F.M. “Absorption de l’ammoniaque par les dissolutions salines”, *Ann. Chim. Phys.*, i (1874), 262 – 275.

<sup>586</sup> de Coppet, L. *Ann. Chim. Phys.*, 23 (1871) 366; 25 (1872), 502; 26 (1872), 98.

<sup>587</sup> Raoult, F.M. “Sur la tension de vapeur et sur le point de congélation des solutions salines », *Comptes Rendus* 87 (1878) 167 – 169.

<sup>588</sup> Blagden, Ch. Experiment on the cooling of water below its freezing point. *Phil. Trans.* 1788. p. 125; Experiment on the effect of various substances in lowering the point of congelation in water. *Phil. Trans.* 1788. p. 277.

<sup>589</sup> Raoult, F. M., “Recherches sur la température de congélation des dissolutions” *Journal de Physique* 3 (1882) 16 – 17.

<sup>590</sup> Raoult, F.M., “Loi de congélation des solutions des solutions aqueuses des matières organiques” *Comptes Rendus* 94 (1882) 1517 – 1519.

En esta expresión,  $C$  es la depresión de la temperatura de congelación de una solución que contiene 1 gramo de soluto por cada 100 gramos de agua,  $P$  es la masa (en gramos) disuelta en 100 gramos de agua,  $M$  es el peso molecular del soluto y  $K$  es la “depresión molecular”. Para  $K$ , los valores experimentales oscilaron entre 17 y 20, con un promedio de 18,5. Raoult expresó: “Esto tiende a mostrar que las moléculas de los compuestos orgánicos simplemente se separan por acción del solvente y alcanzan todas el mismo estado en el cual todas ejercen la misma influencia sobre las propiedades físicas del agua.

Raoult intuyó que los resultados empíricos mostraban que el descenso crioscópico depende del número de partículas disueltas y no de sus naturalezas. Al respecto escribió: “En una multitud de casos, la depresión de la temperatura de congelación de un solvente depende sólo de la relación entre el número de moléculas de los cuerpos disueltos y el solvente, y es independiente de la naturaleza, número y disposición de los átomos que componen las moléculas disueltas”

Sus mediciones sobre el descenso crioscópico de soluciones de cloruros alcalinos dieron distintos valores pero cuando las soluciones eran muy diluidas el valor promedio de  $K$  se acercaba a 37,0, prácticamente el doble que el resultante para soluciones acuosas de compuestos orgánicos.

Raoult también realizó mediciones de descenso crioscópico de soluciones bencénicas<sup>591</sup> y de soluciones alcohólicas<sup>592</sup> generalizando sus conclusiones para soluciones de no electrolitos no volátiles.

## 18 – 8. La contribución de Arrhenius

Svante Arrhenius (1859 – 1927). Estudió Matemática, Física y Química en la Universidad de Upsala y en 1881 se trasladó a Stockholm, donde trabajó como asistente del Profesor Erik Edlund, de la Academia de Ciencias. Bajo su tutoría hizo su tesis doctoral *Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes* (1884). En ese trabajo consideró que al disolver electrolitos en agua, ellos se disocian en diferentes grados y esa disociación depende de la naturaleza de la especie disuelta y de la concentración de la solución, siendo tanto mayor cuanto mayor es la dilución. Postuló que los iones son los transportadores de la corriente eléctrica, no sólo en la solución sino en la actividad química de esas especies. La interacción eléctrica como responsable de las uniones de los átomos hacía años que había caído de desuso conjuntamente con la teoría dualista de Berzelius. Por eso, su tesis, si bien fue aprobada, no fue de gran interés para el jurado y fue calificada con “*non sine laude approbatur*” (equivalente a un D) y su defensa con “*cum laude approbatur*” (equivalente a un C).

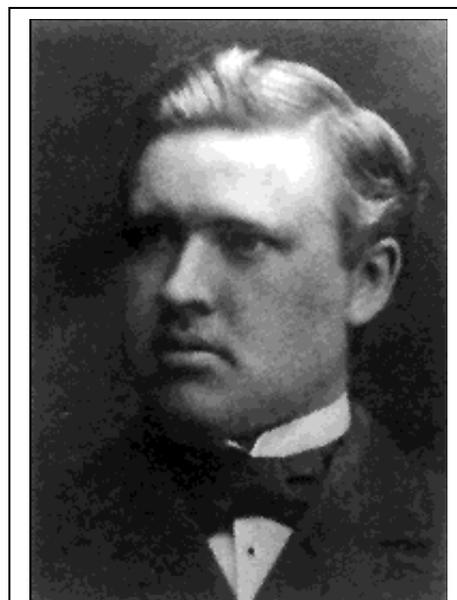


Figura 18.5. Svante Arrhenius

Por recomendación de Edlund, la Academia de Ciencias de Suecia lo nombró Profesor Itinerante y en 1886 trabajó con Wilhelm Ostwald en Riga. Al año siguiente trabajó con Kohlrausch en Würzburg. Luego trabajó con Ludwig Boltzmann en Graz y en 1888 viajó a Ámsterdam donde trabajó con van't Hoff. En todos estos trabajos profundizó sus estudios sobre la disociación electrolítica re-

<sup>591</sup> Raoult, F. M., “Loi de congélation des solutions benzéniques des substances neutres” *Comptes Rendus* 95 (1883) 187 – 189.

<sup>592</sup> Raoult, F. M., “Sur le point de congélation des liqueurs alcooliques” *Comptes Rendus* 90 (1880) 865 – 868.

lacionándola con la presión osmótica, el descenso crioscópico y el ascenso ebulloscópico. También adoptó una definición de ácido y de base que se popularizó a fines del siglo XIX. En su concepción, un ácido es una sustancia que puede liberar iones hidrógeno en solución y una base es una sustancia que, en solución, libera iones hidróxido. De acuerdo con su teoría, cuando un ácido y una base reaccionan, se neutralizan formando una sal y agua. Si bien esta concepción teórica explicaba los comportamientos de los ácidos y las bases más comunes, no podía explicar por qué el amoníaco o la anilina se comportan como bases si en sus fórmulas moleculares no hay oxígeno. Otro problema que enfrentó la concepción ácido – base de Arrhenius fue que, si el carácter ácido de una sustancia está dado por su composición química, por qué el cloruro de hidrógeno se comporta como un ácido en solución acuosa y no en una solución de benceno. En 1923, la teoría de Arrhenius fue reemplazada por otra propuesta por Johannes Brønsted y Thomas Lowry.

En el año 1884, Arrhenius llevó a cabo una investigación sobre las conductividades de diferentes electrolitos<sup>593</sup> lo que lo llevó a la conclusión que no todas las moléculas de electrolitos conducen la corriente eléctrica. Por lo que clasificó a dichas moléculas en activas e inactivas. A diluciones muy grandes supuso que la casi totalidad de las moléculas cambian a la forma activa. El número de moléculas eléctricamente activas en solución podía calcularse por conductividad.

Cuando se ordenaron los distintos ácidos de acuerdo con su poder de desplazar a otros ácidos de sus sales se comprobó que ese orden es exactamente el mismo que el de sus conductividades equivalentes. Esta circunstancia llevó a Arrhenius a suponer que las moléculas químicamente activas son idénticas a las moléculas eléctricamente activas y, por lo tanto, la conductividad de un ácido debía ser considerada como una medida de su fuerza. De aquí, dedujo que la velocidad de una reacción llevada a cabo por diferentes ácidos, es proporcional a la conductividad del ácido usado. Si bien Arrhenius tenía pocos datos para probarlo experimentalmente, Wilhelm Ostwald comprobó la hipótesis de Arrhenius y, usando el abundante material que había acumulado en sus investigaciones sobre velocidades de reacción, pudo hacer un conjunto completo de experimentos sobre este tema en los que midió las conductividades de los ácidos usados. Sus investigaciones corroboraron plenamente la suposición de Arrhenius. De modo que parecía haber un cierto paralelismo entre conductividad eléctrica y reactividad química.

George Gore<sup>594</sup> encontró que el cloruro de hidrógeno anhidro y puro no ataca (apreciablemente) a los óxidos y carbonatos y también que no es conductor de la electricidad. Sobre la base de estos experimentos, Arrhenius pudo aventurar un mecanismo de reacción en el que el agua interviene en el proceso de oxidación de los metales y explicar por qué el ácido sulfúrico concentrado puede ser transportado en recipientes de hierro mientras que el ácido sulfúrico diluido lo ataca muy rápidamente. (Algo que había explicado William Higgins con un par de ejemplos en 1789<sup>595</sup> y Elizabeth Fulhame, en 1794, con una gran variedad de mecanismos de reacción correspondientes a diversas oxidaciones<sup>596</sup>).

Arrhenius supuso que las moléculas activas del electrolito son aquellas que, de acuerdo con la hipótesis de Rudolf Clausius, intercambian sus iones.

## 18 – 9. Investigaciones sobre las propiedades coligativas de las soluciones.

<sup>593</sup> Arrhenius, S., *Bihang till Kongl. Svenska Vet. Akad. Handlingar*, 8, Nos. 13 and 14 (1884)

<sup>594</sup> Gore, G. *Proc. Roy. Soc.*, 1865, 14, 204.

<sup>595</sup> Higgins, W., (1789): *A Comparative View of the Phlogistic and Antiphlogistic Theories*. Página 13.

<sup>596</sup> Fulhame, E., (1794): “*An Essay on Combustion, with a view to a New Art of Dying and Painting wherein the Phlogistic and Antiphlogistic Hypotheses are Proved Erroneous*”.

En 1885, van't Hoff<sup>597</sup> publicó un trabajo sobre el comportamiento análogo entre los estados gaseoso y el de las soluciones líquidas. Antes de esta época se sabía que cuando las sustancias se encuentran en soluciones muy diluidas las regularidades de sus comportamientos semejan al comportamiento de los gases. Algunas de estas similitudes fueron encontradas por August Horstmann y Julius Thomsen. Pero van't Hoff fue el primero en aclarar este tema.

Raoult<sup>598</sup> había encontrado que al disolver diferentes sustancias no conductoras en el mismo solvente, el punto de congelación del solvente descendía proporcionalmente al número de moles disueltos en 100 gramos de solvente.<sup>599</sup> También encontró que al disolver un mol-gramo de una sustancia no volátil en  $N$  moles gramo de solvente, la presión de vapor  $p$  de un solvente descendía a un valor  $p_1$ . Estas cantidades estaban vinculadas entre sí por la siguiente ley simple:

$$\frac{p - p_1}{p} = \frac{1}{N}$$

Ya en 1870, Guldberg<sup>600</sup> basándose sobre consideraciones termodinámicas había deducido la conexión entre el descenso de la presión de vapor y la temperatura de congelación. Si Raoult hubiese conocido el trabajo de Guldberg, hubiese podido deducir la vinculación matemática correcta entre el descenso crioscópico y el descenso de la presión de vapor. Pero al desconocer el trabajo teórico previo, sólo pudo establecer el hecho de que existe una *proporcionalidad* entre los descensos de esas dos propiedades coligativas (1878). Más tarde encontró también la proporcionalidad entre esos descensos de la presión de vapor y el aumento de la temperatura de ebullición de un solvente producido por la disolución en él de una sustancia no volátil.

Finalmente, los científicos dedicados a la fisiología vegetal, se ocuparon de la facultad que tienen las células vegetales para absorber agua cuando están rodeados de una solución salina diluida. Cuando esta solución alcanza cierta concentración, se establece un equilibrio y no ingresa más agua a las células. Se dice que la solución y el contenido de las células son "*isotónicos*". Si la solución fuese más concentrada, pasaría agua de las células a la solución. En este estado el protoplasma de la célula se contrae y no "llena" la pared celular que lo rodea. Esto se podía observar al microscopio, especialmente si el protoplasma se teñía con algún colorante, por ejemplo, violeta de metilo.

En 1884, al estudiar esta propiedad, Hugo De Vries<sup>601</sup> encontró que las mismas células son isotónicas con soluciones conteniendo el mismo número de moles de sal por litro, sin importar su naturaleza, siempre que esté formada por dos iones monovalentes. En el caso de no electrolitos, como la sacarosa o la glicerina, De Vries encontró que se requiere una concentración molar 1,7 mayor que la una sal mono-monovalente para lograr la misma isotonía con las células. Ese mismo año, De Vries encontró que sales como  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  tenían, a concentraciones equimoleculares con las sales del tipo  $\text{KCl}$ , un efecto mucho mayor. También notó que las soluciones acuosas isosmóticas con las mismas células tienen la misma temperatura de congelación y la misma presión de vapor a la misma temperatura.

Franciscus Cornelius Donders, Hartog Jakob Hamburger y Mac Donald<sup>602</sup> encontraron los mismos resultados que los de De Vries.

<sup>597</sup> Van't Hoff, J. H., *Kongl. Svenska Vet. Akad. Handlingar*, 21 (1885); *Zeit. physikal. Chem.*, 1887, 1, 481.

<sup>598</sup> Raoult, F. M., *Compt. rend.*, 1882, 94, 1517; 95, 1030; *Ann. chim. pliys.*, 1883, 28, 137

<sup>599</sup> Raoult, F. M., *Compt. rend.*, 1885, 103, 1125; 1887, 104, 976 y 1430

<sup>600</sup> Guldberg, C. M., *Compt. rend.*, 1870, 70, 1349.

<sup>601</sup> De Vries, H., *Pringsheims Jahrb.*, 1884, 14, 427.

<sup>602</sup> Donders, F.C. – Hamburger, H.J., *Onderz. Physiol. Lab. Utrecht* (3), 9, 26.

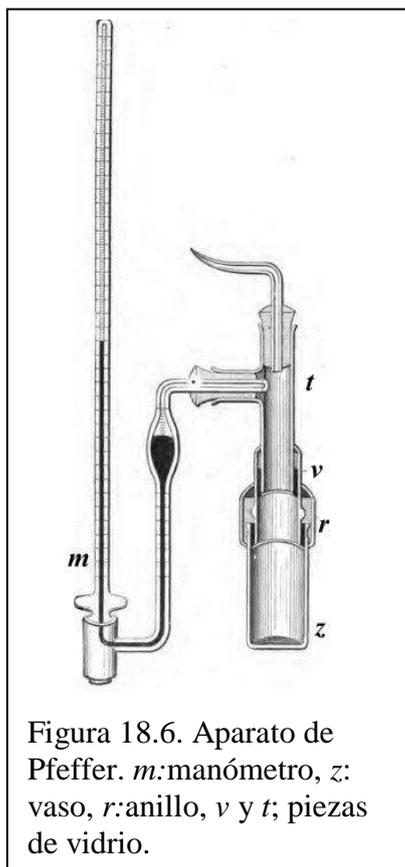


Figura 18.6. Aparato de Pfeffer. *m*: manómetro, *z*: vaso, *r*: anillo, *v* y *t*: piezas de vidrio.

Antes, en 1867, el fisiólogo alemán Moritz Traube<sup>603</sup> había logrado producir células artificiales que tenían la misma presión osmótica que las células vivas. Encontró que las membranas que se encuentran en el límite entre dos soluciones, por ejemplo, entre una solución de gelatina y una de ácido tánico, o entre soluciones de cloruro férrico y de ferrocianuro de potasio, son permeables al agua, pero no para muchas sustancias disueltas en el agua como, por ejemplo al ferrocianuro de potasio y al cloruro de bario.

Estas membranas eran muy inestables por lo que Wilhelm Pfeffer<sup>604</sup> produjo una membrana semipermeable de ferrocianuro de cobre llenando un vaso de barro cocido sin esmaltar con agua para que expulse todo el aire de los poros. Luego introdujo en su interior una solución de sulfato de cobre y colocó el vaso en un baño de solución de ferrocianuro de potasio. Las dos soluciones difundieron lentamente a través de las paredes de vaso y, donde se encontraron, precipitaron una delgada película de ferrocianuro de cobre. Esta película incrementaba su espesor cuanto más tiempo se permitía que las soluciones estuvieran en contacto.

El dispositivo de Pfeffer tenía prácticamente el mismo comportamiento que el de una célula vegetal. Era semipermeable, es decir, permitía que el agua pase libremente a través de su pared mientras que otras sustancias, — como la sacarosa, la glicerina, la glucosa, el nitrato de potasio, la goma arábiga — no pasaban a través de la membrana. La Figura 18.6., esquematiza la construcción del dispositivo.

Una vez armada la celda se agrega exteriormente la solución cuya presión osmótica se quiere determinar. El agua de esa solución entra a la celda y hace subir la columna de mercurio en la rama abierta. Se agrega mercurio en esa rama hasta que no entra más agua. Esa presión límite que detiene el proceso de ósmosis se llama *presión osmótica* de la solución en la celda. Si la presión del mercurio excede ese límite, sale agua de la celda.

Pfeffer llenó el dispositivo con soluciones de sacarosa de diferentes concentraciones. Todas las determinaciones las hizo a 14 °C y encontró los siguientes valores:

Porcentaje de sacarosa (c)	1	2	2,74	4	6
Presión osmótica ( <i>p</i> , torr)	535	1016	1513	2082	3075
Relación <i>p/c</i>	535	508	554	521	513

En este caso la relación *p/c* ya no se podía considerar aproximadamente constante ya que disminuía gradualmente con el aumento de la presión. Pfeffer supuso que este descenso de los valores de la presión osmótica se debía a que la membrana no era perfectamente semipermeable y esto se evidenciaba a altas presiones. En esas condiciones el soluto pasaba a través de la membrana aunque mucho más lentamente que el agua.

Luego Pfeffer investigó la influencia de la temperatura sobre la presión osmótica. Sus experimentos mostraron que la presión osmótica aumenta lentamente con la temperatura, tal como resulta de los siguientes valores encontrados con una solución de sacarosa al 1%:

<sup>603</sup> Traube, M. *Arch.f. Anatomic u. Physiologic*, 1867, 87.

<sup>604</sup> Cf. Pfeffer, W., " *Osmotische Untersuchungen.*" Leipzig : 1877.

Temperatura (°C)	6,8	13,5	14,2	22,0	32	36
Presión osmótica observada ( <i>torr</i> )	505	521	531	548	544	567
Presión osmótica calculada	505	517	518	532	551	569

Los valores de la última fila están calculados sobre la base de que la presión osmótica aumenta en forma proporcional a la temperatura absoluta. Pero estos datos eran insuficientes y poco seguros para probar la validez de esa proporcionalidad. El aumento observado entre 6,8 °C y 36°C era 1,16 veces mayor que el calculado.

En este estado de las investigaciones, Hugo De Vries le pidió a van't Hoff su opinión acerca de la naturaleza de la presión osmótica. Van't Hoff notó la similitud del comportamiento de la presión osmótica con el de los gases de comportamiento ideal. Las leyes que regulan el comportamiento de los gases en condiciones de idealidad indicaban que la presión es proporcional a la concentración del gas. Pfeffer había encontrado que, si la membrana fuese perfectamente semipermeable, la relación entre la presión osmótica y la concentración sería del mismo tipo. Quedaba por responder a la pregunta si la hipótesis de Avogadro es también aplicable a la presión osmótica. Una solución de sacarosa conteniendo 1g de esa sustancia en 99 gramos de agua, ejerce una presión osmótica de 505 *torr* a 6,8 °C (279,8 K). Una solución de un mol de sacarosa por litro ( $M = 342,0 \text{ g/mol}$ ) sería 34,1 veces más concentrada. Si se siguiese cumpliendo la misma relación que para la solución diluida, debería ejercer una presión osmótica de 17.271 *torr*. Como  $R = 62,366 \text{ torr} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ , al aplicar la ecuación de estado del gas de comportamiento ideal, la presión osmótica sería  $62,366 \times 279,8 = 17450,0 \text{ torr}$ . El valor empírico de la presión de un mol de oxígeno en esas condiciones es 17.457 *torr*. Los dos valores eran tan próximos que, después de los cálculos, van't Hoff no dudó en enunciar: *La presión osmótica de una solución, conteniendo una cantidad definida de materia disuelta es tan grande como la presión que esta cantidad de materia ejercería si estuviera distribuida en condición gaseosa en el mismo volumen y a la misma temperatura.*

Van't Hoff también indicó como los otros fenómenos antes mencionados están conectados con la presión osmótica, por ejemplo, como se podría calcular la presión osmótica a partir del descenso de la presión de vapor o del descenso crioscópico.

Van't Hoff comprobó que la fórmula del descenso relativo de la presión de vapor expresada por Raoult era correcta. En cambio, a partir de consideraciones termodinámicas, reemplazó la ecuación de Raoult por su forma correcta:

$$dT = \frac{1,99T^2}{100W} n$$

donde  $dT$  es el descenso de la temperatura de congelación,  $T$  es la temperatura absoluta,  $W$  es el calor de fusión de 1 gramo de solvente y  $n$  el número de moles gramo disueltos en 100 gramos de solvente. Johann Frederik Eykman<sup>605</sup> demostró, mediante experimentos directos, que la ecuación de van't Hoff concuerda con los valores empíricos, mientras que la de Raoult, a menudo da resultados incorrectos.

Para el caso del ascenso ebulloscópico, Eykman encontró una fórmula similar en la que  $W$  representa el calor de vaporización de 1 gramo de solvente.

Estas ecuaciones fueron de ayuda invaluable para la determinación de masas molares de todas las sustancias que se pueden disolver en un solvente determinado del cual los puntos de fusión y de ebullición son temperaturas accesibles.

<sup>605</sup> Eykman, F. J., *Zeit. physikal Chem.*, 1889, 3, 203.

Como ejemplo de la validez de estas leyes en la tabla siguiente se reproducen los valores experimentales del descenso crioscópico del éter etílico determinado mediante soluciones de diversos solutos que se usaban a fines del siglo XIX<sup>606</sup>

Las desviaciones caen dentro del error experimental. Nótese que, a pesar de la simpleza del instrumental usado en esa época, el valor promedio concuerda con el aceptado hoy = 0,071 °C.

Cuando el solvente es agua, ácidos o alcohol, las sales dan valores altos. Esto se debe a su disociación electrolítica. En cambio, los ácidos disueltos en benceno, cloroformo y otros solventes orgánicos dan valores más bajos.

Soluto	M (g/mol)	ΔT (°C)
Percloroetano C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	237	0,071
Salicilato de metilo C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	152	0,071
Azocuminato de metilo C <sub>22</sub> H <sub>26</sub> O <sub>4</sub> N <sub>2</sub>	382	0,068
Ácido ciánico CNOH	43	0,070
Ácido benzoico C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	122	0,071
Ácido tricloroacético C <sub>2</sub> HO <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub>	163,5	0,071
Benzaldehido C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	106	0,072
Alcohol caprílico C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	130	0,073
Cianamida CN <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	42	0,074
Anilina C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	93	0,071
Dietilmercurio C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> Hg	258	0,068
Tricloruro de antimonio SbCl <sub>3</sub>	228,5	0,067

Si todas las sustancias enumeradas en la tabla anterior dan un valor similar para la constante crioscópica, esto significa que el efecto sobre la presión de vapor del solvente y, por lo tanto, sobre el descenso crioscópico y el ascenso ebulloscópico es independiente de la naturaleza del soluto sino que, más bien, depende del número de partículas disueltas. Las propiedades de una solución que son, prácticamente, independientes de las naturalezas de sus solutos pero que dependen del número de partículas disueltas se llaman *propiedades coligativas*, (del latín: *colligatus*, reunidos conjuntamente).

Si bien en todos los textos se dan como ejemplos de propiedades coligativas: el descenso relativo de la presión de vapor, el ascenso ebulloscópico, el descenso crioscópico y la presión osmótica, no podemos dejar de mencionar el volumen de los gases que se comportan idealmente. En efecto, la recíproca del principio de Avogadro puede enunciarse: “El mismo número de moléculas de gases distintos, medidos a la misma presión y temperatura, ocupan el mismo volumen”. O sea, el volumen que ocupa un número determinado de moléculas de gas que se comporta idealmente, a una presión y temperatura, es independiente de la naturaleza del gas. Sólo depende del número de moléculas.

## 18 – 10. Soluciones de electrolitos.

El estudio del comportamiento de las soluciones de electrolitos se remonta a principios del siglo XIX cuando investigadores de la talla de Humphry Davy, Michael Faraday o Jöns Jakob Berzelius realizaron trabajos pioneros con esas sustancias. En el último cuarto de ese siglo, el desarrollo de la Fisicoquímica y la construcción de nuevos aparatos potenciaron enormemente los estudios sobre el campo de la Química que llamamos “Electroquímica”. Entre los científicos que descollaron merece destacarse a Friedrich Kohlrausch, Svante Arrhenius, Jacobus Henricus van't Hoff, Johann Wilhelm Hittorf y Wilhelm Ostwald.

<sup>606</sup> Tomado de **Ahrrenius, S. (1907):** *Osmotic Pressure. General Laws for Dissolved Substances.* Longmans, Green & Co. London.

Si bien para una gran cantidad de sustancias disueltas la ley empírica de van't Hoff se cumple con muy buena aproximación, para el caso de los electrolitos las diferencias con los valores teóricos es tanto mayor cuanto menor es su concentración.

Cuando se produce la electrólisis de un electrolito los cationes y aniones se neutralizan en cantidades equivalentes en ambos electrodos. En 1853, Johann Wilhelm Hittorf<sup>607</sup> sostuvo que no siempre los iones se mueven con la misma velocidad bajo la acción de la F.E.M. aplicada. Esto se debe a que en muchos casos la carga que transporta cada ión es diferente a la que transporta el ión de carga opuesta. Por ejemplo, si se establece un campo eléctrico en una solución de electrolito en el que la relación de carga del catión al anión fuese de 1 a 3, para que se cumplan las leyes de la electrólisis de Faraday y se mantenga una circulación de corriente uniforme, los cationes se deben mover con mayor velocidad ya que por cada anión que se descarga en el ánodo se deben cargar 3 cationes en el cátodo. A partir de este caso —y de cualquier otro que se considere— se encuentra que el número total de iones descargados o cargados en cada electrodo en un intervalo de tiempo, depende de la velocidad que tenga cada especie iónica. O, en forma más general, el número de equivalentes electroquímicos que reaccionan en cada electrodo por la circulación de la corriente eléctrica en la unidad de tiempo es proporcional a la velocidad de la especie iónica que interactúa con cada electrodo. Hittorf llamó  $n_-$  al número de equivalentes electroquímicos del anión que interactúa en el ánodo y  $n_+$  al número de equivalentes electroquímicos del catión que interactúa en el cátodo

$$n_- = k u_- \text{ y } n_+ = k u_+$$

donde  $u_-$  y  $u_+$  son las velocidades del anión y del catión. El número total de equivalentes electroquímicos  $n_{total}$  será

$$n_{total} = k (u_- + u_+)$$

De las expresiones anteriores se deduce que la fracción de carga eléctrica que transportan los aniones en la unidad de tiempo será  $n_-/n_{total}$  y la fracción de carga eléctrica que transportan los cationes en el mismo intervalo será  $n_+/n_{total}$ . A cada fracción de la corriente total que transporta cada especie iónica Hittorf la llamó *número de transporte* y los representó mediante los símbolos  $t_-$  y  $t_+$ . Por lo tanto, el número de transporte del anión será

$$t_- = \frac{u_-}{u_+ + u_-} \text{ y } t_+ = \frac{u_+}{u_+ + u_-}$$

de modo que  $t_- + t_+ = 1$

Sobre la base de estos conceptos, Hittorf ideó un aparato para medir los números de transporte. El dispositivo constaba de dos compartimientos, anódico y catódico, separados por un “compartimiento intermedio” que tenía dos llaves de paso para permitir detener la migración de los iones y dosar las concentraciones en los 3 compartimientos. En el circuito intercaló un culombímetro conectado en serie de manera que a través de él circulase la misma corriente que a través de la solución de la que se quisieran determinar los números de trans-

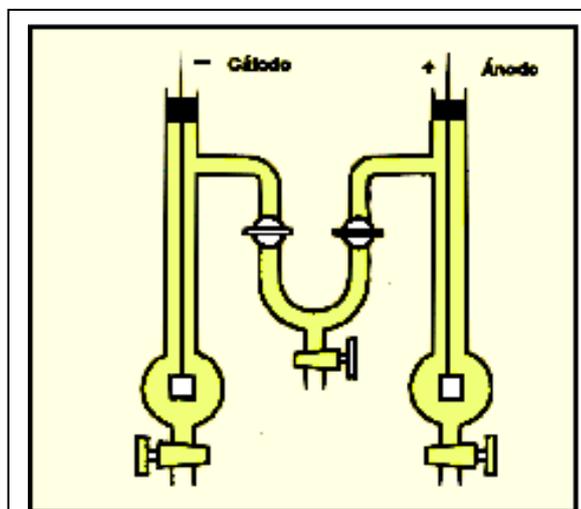


Figura 18.7 Tubo de Hittorf

<sup>607</sup> Todos los trabajos de Hittorf sobre migración de los iones durante la electrólisis fueron compilados y publicados por Ostwald (Ostwald Klassiker): *Ueber die Wanderungen der Ionen Während der Elektrolyse von Johann Wilhelm Hittorf* (1853 – 1859). Wilhelm Engelmann, Leipzig (1891).

porte. En el culombímetro ocurría la reacción  $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$ , de manera que midiendo la masa de cobre depositada se podía calcular el número total de equivalentes electroquímicos  $n_{\text{total}}$ . Los números de equivalentes de anión o catión se obtenían midiendo la variación de concentración de la solución en el respectivo compartimiento. Como la suma de ambos números de transporte debe ser la unidad, sólo debía estimarse uno de ellos.

Para las soluciones de electrolitos, Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch<sup>608</sup> propuso definir la llamada *conductancia equivalente*, que se representa mediante la letra griega lambda mayúscula ( $\Lambda$ )

$$\Lambda = 1000 \frac{\kappa}{c}$$

en la cual  $c$  es la concentración de la solución expresada en equivalentes - gramo por litro y  $\kappa$  es la conductancia específica.

La importancia de la conductancia equivalente radica en que es una medida de la capacidad de conducción de todos los iones producidos por un equivalente - gramo a una concentración dada.

El valor al cual tiende la conductancia de un electrolito cuando la solución es extremadamente diluida fue llamado por Kohlrausch *conductancia equivalente a dilución infinita*<sup>609</sup> y se representa mediante el símbolo  $\Lambda_0$ . Extrapolando los valores de las medidas de conductancias equivalentes en función de la raíz cuadrada de la concentración, Kohlrausch encontró que la conductividad a dilución infinita de una sal se puede expresar como la suma de dos términos: uno dependiente exclusivamente del catión y otro del anión. A esos términos los simbolizó con las letras  $\lambda_+$  y  $\lambda_-$  y los

llamó conductividades iónicas del catión y del anión. Kohlrausch demostró que estas conductividades iónicas dependen únicamente de la naturaleza de los iones y de la temperatura. Por lo tanto, a la misma temperatura, la conductividad equivalente a dilución infinita estará dada por la suma de las conductividades iónicas a dilución infinita. En símbolos:

$$\Lambda_0 = \lambda_+ + \lambda_-$$

Si la conductancia equivalente a dilución infinita es igual a la suma de las conductancias iónicas a dilución infinita, la conductancia iónica debe ser proporcional a la velocidad iónica, esto es  $\lambda_+ = k u_+$  y  $\lambda_- = k u_-$ . De este modo,  $\Lambda_0 = k (u_+ + u_-)$  y se pueden calcular los números de transporte mediante las fórmulas.

$$\frac{\lambda_+}{\Lambda_0} = \frac{u_+}{u_+ + u_-} \quad \text{y} \quad \frac{\lambda_-}{\Lambda_0} = \frac{u_-}{u_+ + u_-}$$

Los trabajos de Kohlrausch encontraron numerosas aplicaciones, tanto para los experimentos de Fisicoquímica como para las determinaciones analíticas de concentraciones de electrolitos o de los productos de solubilidad de sales poco solubles. Así, por ejemplo, ya en 1894 Kohlrausch obtuvo el

<sup>608</sup> Kohlrausch, F. W. G. Über das Leitungsvermögen der in Wasser gelösten Elektrolyte im Zusammenhang mit der Wanderung ihrer Bestandteile. *Göttingen Nachrichten*, 1876, 213 – 224.

<sup>609</sup> El nombre no es correcto pues a dilución infinita no se puede detectar la existencia de electrolito por lo que se considera que el solvente es puro.



Figura 18.8. W. Ostwald

valor numérico del producto iónico del agua a partir de medidas de conductividades encontrando que a 25° C,  $K_w = 1,01 \times 10^{-15}$ . El valor aceptado hoy en día es  $1,008 \times 10^{-14}$ .

## 18 – 11. Los trabajos de Ostwald

Wilhelm Ostwald (1853 – 1932) nació en Riga. Estudió Química en la Universidad Dorpat donde se recibió en 1875. Trabajó en el Instituto de Física como Asistente del Profesor Arthur von Oettingen y luego en el Laboratorio de Química de esa Universidad como asistente de Carl Schmidt. En 1881 fue nombrado Profesor de Química en el Politécnico de Riga y en 1888, Profesor de Fisicoquímica en la Universidad de Leipzig. Entre sus alumnos se contaron Svante Arrhenius, Jacobus Henricus van't Hoff, Walther Nernst, Johannes Wislicenus, y otros. A fines del siglo XIX la cátedra de Ostwald se convirtió en la Meca de los graduados que querían investigar en Fisicoquímica entre ellos Fritz Haber, quien se ofreció dos veces para trabajar con Ostwald.

El primer trabajo experimental de Ostwald<sup>610</sup> lo realizó bajo la tutoría de von Oettingen. Versó sobre la relación entre la ley de masas activas y las propiedades termodinámicas de las soluciones acuosas, lo que hizo que el tutor lo nombrara su asistente. Entre 1876 y 1880 se dedicó a tratar de cuantificar las afinidades de las sustancias<sup>611</sup>, dos de sus trabajos fueron temas de su maestría<sup>612</sup> y de su doctorado<sup>613</sup>. A partir de 1884 se dedicó a los estudios sobre electroquímica<sup>614</sup> que se complementaban con los de Arrhenius y van't Hoff. Poco después que Arrhenius anunciara la teoría de la disociación electrolítica, Ostwald encontró una expresión que vincula las concentraciones de equilibrio en las soluciones de electrolitos débiles con el grado de disociación y que se conoce como *ley de dilución de Ostwald*. Esta ley expresa la relación entre la constante de disociación y el grado de disociación de un electrolito débil. Para un electrolito débil del tipo AB, que se disocia según  $\text{AB} \rightleftharpoons \text{A}^- + \text{B}^+$  la constante de disociación se puede expresar

$$K_d = \frac{[\text{A}^-][\text{B}^+]}{[\text{AB}]} = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} c_0$$

donde  $\alpha$  es el grado de disociación y  $c_0$  la concentración total de electrolito. Expresada en términos de conductancias equivalentes, la ley de dilución de Ostwald toma la forma:

$$K_c = \frac{\Lambda_c^2}{(\Lambda_0 - \Lambda_c)\Lambda_0} c$$

En 1887, Ostwald fundó la revista *Zeitschrift für physikalische Chemie* que rápidamente se virtió en la publicación preferida en el campo de la fisicoquímica.

<sup>610</sup> Ostwald, W.: 1875, 'Über die chemische Massenwirkung des Wassers', *Journal für praktische Chemie*, **12**, 264- 270.

<sup>611</sup> Ostwald, W.: 1876-80, 'Volumchemische Studien', *Annalen der Physik*, Ergänzungsband **8** (1876), 154-168; neue Folge **2** (1877), 429-455, 671-672; *Journal für praktische Chemie*, **16** (1877), 385-423; **18** (1878), 328-371; **22** (1880), 305-322.

<sup>612</sup> Ostwald, W.: 1877, *Volumchemischen Studien über Affinität*, Magister Dissertation, Dorpat University [reprinted in *Ostwald's Klassiker*, no. 250, Leipzig, 1966]

<sup>613</sup> Ostwald, W.: 1878, *Volumchemische und Optisch-Chemische Studien*, Doctoral Dissertation, Dorpat University [reprinted in *Ostwald's Klassiker*, no. 250, Leipzig, 1966]

<sup>614</sup> Ostwald, W.: 1884-88, 'Elektrochemische Studien', *Journal für praktische Chemie*, **30** (1884), 225- 237; **31** (1885), 433-462; **32** (1885), 300-374; **33** (1886), 352-370; *Zeitschrift für physikalische Chemie*, **1** (1887), 75- 86; 97-109; **2** (1888), 840-851.

Luego de su retiro, se dedicó más a los aspectos filosóficos de la ciencia. Para ello fundó la revista *Annalen der Naturphilosophie*. En 1909, recibió el Premio Nobel de Química.

## 18 – 12. El teorema de Nernst

Walther Nernst (1864 – 1941) Estudió Física y Matemática en las Universidades de Zurich, Berlín, Graz y Würzburg donde se doctoró en 1887. En 1889, fue nombrado Profesor en la Universidad de Leipzig donde trabajó como asistente de Ostwald. Con él y con Arrhenius y van't Hoff formaron un grupo de investigadores pioneros en el campo de la Fisicoquímica. En 1894, le fue ofrecida la cátedra de Fisicoquímica en la Universidad de Göttingen y allí fundó el Instituto de Fisicoquímica y Electroquímica donde hizo extensas investigaciones sobre presión ca y Electroquímica. En 1905 publicó su famoso Teorema del calor.

En 1867 Berthelot había enunciado una “ley” (errónea) según la cual “*Todo cambio químico da lugar a la ción de aquellas sustancias que ocasionan la mayor ración de calor*”<sup>615</sup>. En 1854, Julius Thomsen había expresado una conclusión similar, por lo que trató de relacionar el calor de reacción con la afinidad. Sobre la base de estas ideas, tanto Thomsen como Berthelot, sostenían que la *afinidad química podía estimarse cuantitativamente a partir de mediciones del calor que un sistema intercambia con su entorno durante una transformación*.

Basándose sobre las concepciones de de Thomsen y Berthelot, Nernst se dedicó a la búsqueda de una relación matemática que vinculase calores de reacción con afinidades químicas.

En un proceso reversible e isobárico el calor  $Q_p$  que un sistema intercambia con su entorno mide la variación de una variable termodinámica de ese sistema llamada *entalpía* ( $H$ ), de modo que  $Q_p = \Delta H$ . La variación de entropía en un proceso reversible e isobárico está dada por

$$dS_p = \frac{dH_p}{T} = \frac{C_p dT}{T} = C_p d \ln T$$

La integración de esta expresión entre 0 K y  $T$  lleva a

$$S = S_0 + \int_0^T C_p d \ln T$$

Nernst pensó que si pudiera evaluar  $S_0$  quizás podría encontrar una expresión cuantitativa que exprese la afinidad en términos de variables termodinámicas.

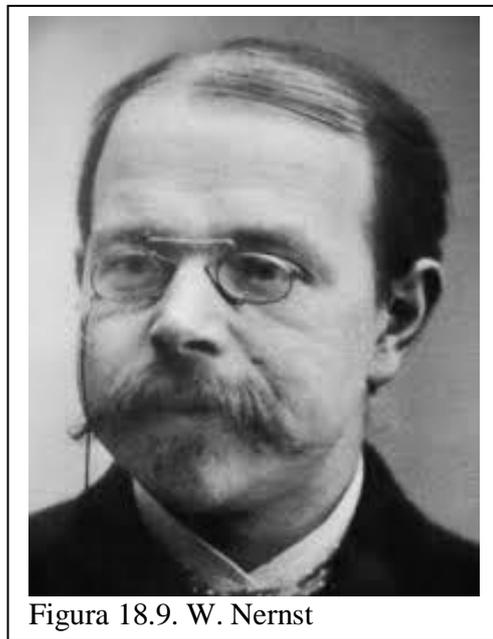


Figura 18.9. W. Nernst

<sup>615</sup> *Essai de mécanique chimique*, Paris, 1878.

Hermann von Helmholtz había propuesto una variable termodinámica, la energía libre<sup>616</sup> ( $A$ ),

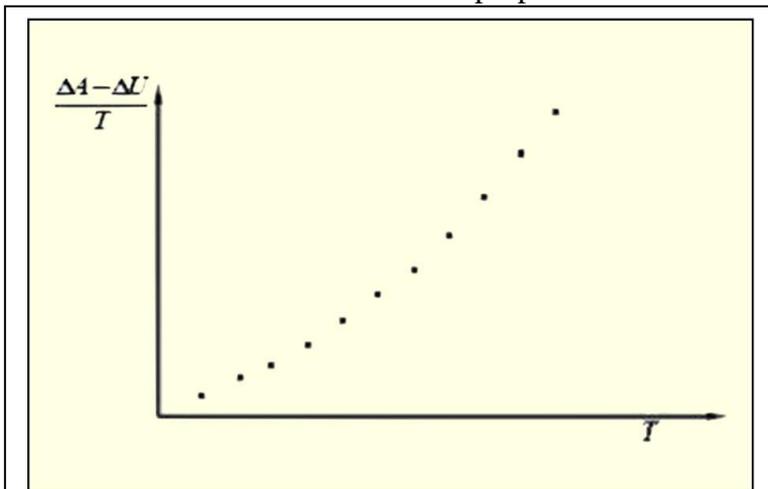


Figura 18.10. Representación de la variación de entropía, a temperatura constante, en función de  $T$

que vinculaba la energía interna y la entropía de un sistema en cualquier transformación:  $A = U - TS$ . y que la variación de la energía libre se puede calcular por el trabajo total, cambiado de signo, que puede realizar el ma de manera reversible y a temperatura constante.

A fines de 1905, Nernst se abocó al problema de calcular el valor de la entropía en el cero absoluto de un sistema<sup>617</sup>. A partir de los datos experimentales de capacidades caloríficas, Nernst calculó los valores de las variaciones de la función de Helmholtz

y de la energía interna en reacciones químicas isotérmicas a distintas temperaturas. Encontró que, cuanto más baja era la temperatura a la cual transcurría la reacción, tanto más se aproximaban los valores calculados de  $\Delta A$  y  $\Delta U$ . (Figura 18.10.) A partir de los datos experimentales, Nernst calculó los valores de las variaciones de la función de Helmholtz y de la entalpía en reacciones químicas isotérmicas a distintas temperaturas. Encontró que, cuanto más baja era la temperatura a la cual transcurría la reacción, tanto más se aproximaban los valores calculados de  $\Delta A$  y  $\Delta U$ .

Como a temperatura constante  $\Delta A = \Delta U - T\Delta S$ , y por la ecuación de Gibbs – Helmholtz

$$\Delta A = \left[ \frac{\partial(\Delta A)}{\partial T} \right]_v$$

$$\Delta A - \Delta U = \left[ \frac{\partial(\Delta A)}{\partial T} \right]_v$$

Nernst dedujo, de sus experimentos, que a medida que la temperatura se acercaba al cero absoluto  $T\Delta S$  tendería a cero. Luego analizó con qué velocidad la diferencia entre  $\Delta A$  y  $\Delta U$  tiende a cero, encontrando curvas como la se representa en la Figura 18.11. Esto es, a medida que  $T \rightarrow 0$ , el cociente  $(\Delta A - \Delta U)/T \rightarrow 0$ . Pero

$$\frac{\Delta A - \Delta U}{T} = \Delta S$$

De esta manera Nernst concluyó que cuando  $T \rightarrow 0$ ,  $\Delta S \rightarrow 0$ . Por lo que si la variación de la entropía de un cuerpo en el cero absoluto se anula, la entropía en el cero absoluto debería tener un valor constante independiente de la temperatura y de cualquier otro parámetro externo.

<sup>616</sup> Actualmente llamada *función de trabajo*.

<sup>617</sup> **Nernst, W. H.**: Ueber die Berechnung chemischer Gleichgewichte aus thermischen Messungen; *Nachr. Kgl. Ges. Wiss. Gött.*, 1906, No. 1, pp. 1 – 40.

### 18 – 13. El Tercer Principio de la Termodinámica.

Nernst también encontró que la variación de la capacidad calorífica a presión constante de una sustancia se aproxima asintóticamente a cero cuando la temperatura tiende a cero. Sobre esta base, en 1912 Max Planck fue más allá de la hipótesis de Nernst y supuso que el valor constante de la entropía en el cero absoluto es cero. Pero dado que al formarse una solución, aún en forma reversible, sin intercambio de calor ni trabajo con el entorno, hay un aumento de entropía — la llamada *entropía de mezcla* — el valor cero de la entropía en el cero absoluto debe restringirse a sustancias puras. A esa temperatura cualquier sustancia sería sólida y no sólo las impurezas sino también las imperfecciones en sus cristales actuarían como una *mezcla*, por lo que el requisito para suponer entropía cero es que los cristales de la sustancia pura sean perfectos.

Las suposiciones de Planck sobre los resultados experimentales de Nernst, dieron lugar a lo que se conoce enunciado de Nernst-Planck del Tercer Principio de la Termodinámica.<sup>618</sup>

*En el cero absoluto, la entropía de cualquier sustancia en un estado de pureza tal que sus cristales sean perfectos, es cero y la variación de su capacidad calorífica con la temperatura se aproxima asintóticamente a cero cuando la temperatura absoluta tiende a cero.*

En la década de 1920, el desarrollo de la Mecánica Cuántica permitió calcular, mediante la Termodinámica Estadística, las funciones de partición traslacional, rotacional, vibracional, electrónica y nuclear de diversos átomos y, a partir de sus valores, conocer los valores *absolutos* de entropías de muchas sustancias simples y compuestas. En esos años, el perfeccionamiento de las técnicas criogénicas — como la desimantación adiabática electrónica y la desimantación adiabática nuclear — permitieron alcanzar temperaturas muy próximas al cero absoluto y así corroborar el enunciado de Nernst – Planck. En 1928, William Francis Giauque y Richard Wiebe publicaron un trabajo en el que compararon las variaciones de entropía molar asociadas al proceso de llevar un mol de HCl desde el 0 K hasta 298,16 K y 1 bar (Figura 18.12) con el valor obtenido del espectro de esa sustancia en esas condiciones ( $44,66 \text{ cal} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) encontrando una excelente concordancia.

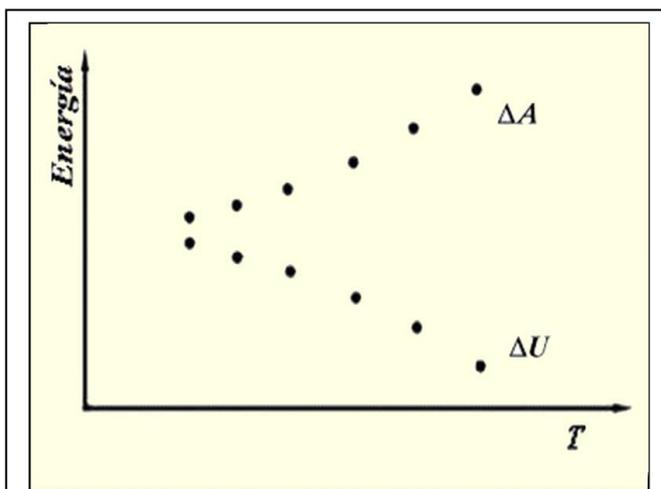


Figura 18.11. Valores de  $\Delta A_T$  y  $\Delta U_T$  para una determinada reacción a distintas temperaturas.

<sup>618</sup> En 1931, R. H. Fowler y E. A. Guggenheim, dieron un enunciado equivalente al de Nernst – Planck: “Es imposible, por idealizado que sea, cualquier procedimiento que pueda llevar a un sistema a un estado estable en el cero absoluto mediante un número finito de transformaciones”. Desde fines del siglo XX varios laboratorios criogénicos, como el de la Universidad Tecnológica de Helsinki, efectúan experimentos con sistemas a temperaturas absolutas negativas, pero esos estados son inestables.

Intervalo de temperaturas (K)	Método de determinación	Entropía (cal K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup> )
0 – 16	extrapolación	0,30
16 – 98,36	gráfico	7,06
98,36 (Transición cristalina)	calorimétrico $\Delta H_P = 284,3 \text{ cal/mol}$	2,89
98,36 – 158,91	gráfico	5,05
158,91 (Fusión)	calorimétrico $\Delta H_F = 476,0 \text{ cal/mol}$	3,00
158,91 – 188,07	gráfico	2,36
188,07 (vaporización)	calorimétrico $\Delta H_V = 3860 \text{ cal/mol}$	20,52
188,07 – 298,16	gráfico	3,36
Corrección por gas imperfecto		0,10
<b>Entropía del HCl a 298,16 K y 1 bar</b>		<b>44,64</b>

Figura 18.12. Entropía del HCl (g) a 25 °C y 1 bar. Giauque & Wiebe. *J. Am. Chem. Soc.* **51**, 101 (1928)

### Bibliografía:

**Arrhenius, S. (1907):** *Osmotic Pressure. General Laws for Dissolved Substances*, Longmans, Green & Co. London.

**Bartel, H. G. – Huebener, R.P., (2007):** *Walther Nernst: Pioneer of Physics, And of Chemistry*, World Scientific Publishing Company. New York.

**Bergmann, O. T., (1788):** “*Traité des Affinités Chymiques ou attractions Electives*” Buisson, Libraire, Paris,

**Guldberg, C. M., Waage, P., (1867):** *Études sur les affinités chimiques*, Brogger & Christie, Christiania.

**Hittorf, J.W., (1891):** *Ueber die Wanderungen der Ionen Während der Elektrolyse von Johann Wilhelm Hittorf (1853 – 1859)*. Wilhelm Engelmann Leipzig.

**Le Châtelier, H.L,** Recherches Expérimentales et Théoriques sur les Équilibres Chimiques, *Ann. Mines*, 13, 157-380, 1888.

**Le Châtelier, H.L, (1908):** *Leçons sur le carbone et les lois chimiques*, Dunod & Pinat, Paris.

**Nernst, W.F. (1904):** *Theoretical Chemistry from the Standpoint of Avogadro's Rule & Thermodynamics*, Macmillan & Co, London.

**Ostwald, W., (1980)** *Electrochemistry: History and theory = Elektrochemie: ihre Geschichte und Lehre*, Smithsonian Institution and the National Science Foundation. New York.

**Ostwald, W., (2009):** *Solutions*, BiblioBazar. New York.

**Pfeffer, W., (1877):** *Osmotische Untersuchungen*. Wilhelm Engelmann, Leipzig.

**Raoult, F. M.,** “Recherches sur la température de congélation des dissolutions” *Journal de Physique* **3** (1882) 16 – 17.

**Van't Hoff, J.H., (1884):** *Études de Dynamique chimique*, F. Muller & Co., Amsterdam.

**Willard Gibb, J., (1957):** *The collected works of J. Willard Gibbs*, Yale University Press, New Haven.



## ÍNDICE ALFABÉTICO

### A

A New System of Chemical Philosophy, 235, 236, 238, 243, 246  
 Abraham., 94, 108  
 Abu Alí ibn Sina, (ver Avicena) 105  
 Abu Bakr, 95, 103, 161, 311  
 aceites etéreos, 276  
 acetilo, 282, 297  
 acidimetría, 275  
 ácido cianhídrico, 268, 275  
 ácido ciánico, 257, 278  
 ácido fulmínico, 278  
 ácido oxi-muriático, 253  
 ácido paratartárico, 335, 336  
 ácido racémico, 335, 346  
 ácido sulfovínico, 297  
 actividad óptica, 335, 336, 337, 345  
 aerógenos, 322  
 afinidad de clase, 306  
 afinidad de grado, 306  
 África, 1, 45, 66, 95, 96, 113, 134, 139  
 Africanus, 40  
 Agrícola, 182, 278, 311  
 agua de cristalización, 260  
 aire desflogisticado, 215, 222  
 Aisha, 95  
 Alberto Magno, 114, 115, 116, 121, 142, 154, 163, 164  
 al-Bitrüjî, 116, 117  
 alcalimetría, 275  
 alcanfor, 82, 86, 101, 267, 276, 345  
 Alfonso, 109, 119  
 Alfonso X, 109  
 al-Haytham, 116, 118  
 Alhazen, 118  
 Allah, 94  
 Al-Mansour, 95  
 Ampère, 246, 247, 256, 262  
 Anaxágoras., 161  
 Anaxímenes, 11, 12, 16, 43, 102  
 Anticristo, 134, 135  
 Antimonio, 168  
 Antraceno, 334  
 Apollinopolis, 48, 49  
 Apolonio de Tyana, 99, 100

aqua vita, 136  
 areté, 5  
 Aretology, 194  
 Arfvedson, Johann, 252  
 argentometría, 275  
 argiropea, 28  
 Aristóteles, 5, 6, 8, 13, 16, 19, 22, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 66, 100, 102, 105, 109, 113, 116, 119, 121, 123, 124, 126, 131, 132, 133, 134, 136, 149, 151, 154, 156, 157, 158, 160, 179, 180, 187, 188, 193, 311  
 Arquelao, 43, 102, 161  
 Arrhenius, Svante, 361, 362, 363, 367, 369, 370, 374  
 asem, 60  
 ashmole, 123, 124, 140  
 Ashmolean, Museum, 52  
 Asia Menor, 37, 47, 66, 95, 96  
 asimetría, 336, 339, 340, 343, 346  
 Astrología, 50, 115, 117, 118, 131, 139, 141  
 Astronomía, 1, 50, 79, 109, 116, 117, 129, 131, 141  
 átomos físicos, 262  
 Austin, William, 225  
 Averroes, 114, 122, 132  
 Averroísmo, 114  
 Avicena, 105, 106, 110, 122, 124, 125, 126, 139, 154, 157, 161, 163, 164, 176, 178  
 Avogadro, 192, 245, 246, 247, 262, 265, 266, 292, 293, 308, 327, 365, 367, 374  
 axiomas, 30  
 azul de Prusia, 256, 275  
 azul de Thenard, 274

### B

Bagdad, 95, 98, 99, 103  
 Balard, Antoine-Jérôme, 254  
 Barmecidas, 99, 100  
 Basilea, 102, 127, 176  
 Basilius Valentinus, 183  
 Basso, Sebastien, 197  
 Bayen, Pierre, 214  
 Becher, Johann Joachim, 208, 209, 210, 211, 212, 213  
 Beddoes, Thomas, 250  
 Benzolfest, 327  
 Bergmann, Tobern Olof, 213, 224, 228, 258, 272, 302, 350, 374  
 Bernoulli, Daniel, 237, 247  
 Berthelot., Marcelin 351

- Berthollet, Claude Louis, 225, 229, 233, 236, 240, 247, 253, 258, 259, 272, 274, 350, 351  
 Berzelius, Jöns Jacob, 232, 235, 242, 244, 249, 252, 254, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 267, 270, 271, 272, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 286, 287, 288, 289, 291, 292, 296, 300, 302, 362, 367  
 Black, Joseph, 213, 214, 215, 218  
 Bladgen, Charles, 223  
 Bolos de Mendes 27, 34, 35, 36, 38, 39, 98  
 Bonaparte, Napoleón, 254, 255  
 Bonifacio VIII, 135, 137, 138  
 borneol, 276  
 Boyle, Robert, 43, 103, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 207, 216, 247, 268, 281  
 Braccolini, Poggio, 188  
 Braconnot, Henri, 273  
 Brunck, Heinrich, 326  
 Bunsen, Robert, 282
- C
- calcógenos, 321, 323  
 Califa, 95, 98, 99  
 calor de fusión, 366  
 calor latente de vaporización, 354, 355  
 Cannizzaro, Stanislao, 292, 293  
 Canon de Medicina, 105  
 Canónigo Lichtenfels, 176  
 caras hemiédricas, 335  
 Cassia auriculata, 97  
 Cátedra Fuller de Química, 263  
 Cavendish, Henri 177, 192, 213, 214, 219, 220, 221, 222, 223, 232, 242, 248, 275, 360  
 Celso, 175  
 Chancourtois, Alexandre E. B. de, 313  
 Chaptal, Jean-Antoine-Claude, 216, 274  
 Charles Martel, 95  
 Charleton, Walter, 193  
 Chevreul, Michel Eugène, 273, 274, 293  
 cianógeno, 251, 256, 269, 275, 293  
 Cicerón, 25  
 ciperus, 55  
 Círculo de Newcastle, 192  
 Clanny, William Reid, 255  
 Clapeyron, Paul E. B., 347, 354, 355  
 Claudio Ptolomeo, 98, 121  
 Clausius, Rudolph, 348, 354, 355, 358, 363  
 Clemente IV, 114, 117, 118  
 Coltropis gigantean, 97  
 compuestos aromáticos, 325, 327, 330, 331, 345  
 compuestos interhalogenados, 322  
 Conde Rumford, 250  
 conductancia equivalente, 368, 369  
 conductancia equivalente a dilución infinita, 368, 369  
 conductividades iónicas, 369  
 constante de equilibrio, 354, 355  
 Constantino, 25, 50, 65, 98, 113, 124  
 Córdova, 108  
 Creta, 95  
 crisopea, 28  
 Curtois, Bernard, 254
- D
- Dalton, John 229, 230, 231, 232, 235, 236, 237, 238, 240, 241, 242, 244, 246, 247, 248, 257, 261, 262, 270, 291, 303, 312  
 Damasco, 94, 96, 97, 98, 106, 107, 110  
 Davy, Humphry, 235, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 263, 266, 272, 275, 288, 357, 367  
 de Bath, Adelard, 118  
 de Gaufredi, Raymond, 114  
 de la Provostaye, Ferdinand Hervé, 335  
 De re metallica, 183, 311  
 de Vignière, Blaise, 268  
 de Vries, Hugo, 364, 365  
 Definiciones, 30  
 del alquitrán de hulla, 276, 330  
 Demócrito de Abdera, 17, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 81, 102, 187, 188  
 deotóxido de carbono, 303  
 depresión molecular, 361  
 Des Cartes, René 192, 195, 198, 199  
 Desains, Paul, 335  
 descenso crioscópico, 360, 361, 362, 363, 366, 367  
 Dewar, James, 326, 332, 333, 334  
 Diels, Otto, 6  
 Digges, Leonard, 118  
 Diocleciano, 57, 58, 97, 113  
 Diodoro, 25  
 Diógenes Laercio, 23, 25, 26, 28, 29, 103, 188, 189  
 Dioscórides, 37, 54, 57, 127, 154  
 Döbereiner, Johann Wolfgang, 271, 312  
 doble descomposición, 233, 253, 291  
 Doctor angelicus, 130  
 Doctor Mirabilis, 114  
 Doctor of Divinity, 114  
 Doctor Universalis, 121

Dresden, 97, 258, 272  
 Dulong, Pierre Louis, 262, 288  
 Dumas, Jean Baptiste André, 214, 271, 276, 277, 281, 282, 286, 287, 289, 290, 291, 292, 294, 296, 334  
 ecuación de van't Hoff, 354, 366  
 Edward III, 140  
 eje alternante de cuarto orden, 337  
 Ejlwán-e-Safa, 108  
 El Andalus, 98  
 El tipo agua, 296  
 El tipo amoníaco, 295  
 Empédocles, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 32, 102, 126, 311  
 enantiomería, 336  
 Epicuro, 24, 26, 188, 191, 193  
 Erlenmeyer, Emil, 327, 332, 334  
 Erman, Paul, 260  
 escala de combustión, 294  
 Esfera de Demócrito, 27  
 estrellas fijas, 10, 34, 98, 153, 199  
 Éter, 237, 277, 281, 290, 296  
 éter piroleñoso, 281

## F

familia de los gases nobles, 322  
 familia del carbono, 320, 323  
 familia del nitrógeno, 321  
 Faraday, Michael, 249, 254, 263, 264, 265, 266, 303, 330, 367  
 Felipe el Hermoso, 135  
 fermentación, 180, 278  
 Ficino, Marsilio, 188, 205  
 Fischer, Ernst Gottfried, 233  
 fisicoquímica, 288, 360, 370  
 Fittig, Fittig, 330, 333  
 Flogisto, 209, 212  
 flos aeris, 63  
 Flos Medicinæ Salerni, 138  
 fórmula del benceno, 331, 333  
 fórmulas de los cuatro volúmenes, 291  
 fórmulas de Odling, 298, 305  
 fórmulas de salchichas, 331  
 fórmulas gráficas de Joseph Wilbrand, 332  
 Fourcroy, 225, 259, 267, 274  
 Francis Bacon, 115, 192, 193, 194, 196, 207  
 Frigia, 61, 62  
 función de Helmholtz, 348, 372

## G

Gassendi, Pierre, 191, 192, 193, 195, 196, 240, 245  
 Gebel Rasas, 48

Geber, (ver Jabir), 99, 156, 268, 335  
 Geopónica, 25, 40  
 Geraldo de Cremona, 100  
 Gibbs, Josiah Williard, 347, 348, 349, 350, 356, 357, 358, 372, 374  
 Gibraltar, 95  
 Giddy, Davies, 249  
 Glaser, Karl, 326  
 Gmelin, Leopold, 279, 312, 313  
 Gobelins, 273  
 Graham, Thomas, 287, 288, 296  
 Grosseteste, Robert, 113, 118, 119  
 Guldberg, Cato Maximilian, 351, 354, 355, 363, 374  
 Guyton de Morveau, Louis-Bernard 214, 268

## H

Hales, Stephen, 215  
 halógenos, 295, 320, 322, 323  
 Harden, Arthur, 247, 248, 270  
 Harun al Raschid, 96, 99  
 Heliodoro, 43  
 hemisferios de Magdeburgo, 193  
 Henry, William, 235, 236, 248  
 Heráclito, 15, 16, 17, 20  
 Hermes Trismegisto, 27, 39, 42, 98, 100, 102, 107, 108, 126, 129, 142, 153, 164, 172  
 Hermes., 108  
 Heródoto, 25, 188  
 Hieroteo, 43  
 Higgins, William, 229, 230, 231, 234, 303, 363  
 Hittorf, Johann Wilhelm, 367, 368, 374  
 Hobbes, Thomas, 192, 193  
 Holmyard, Eric, J., 67, 75, 106, 108, 111, 140, 185, 225  
 Homberg, Wilhelm, 232, 301  
 Homero, 3, 4, 5, 7  
 Hooke, Robert, 187, 195, 217  
 Horstmann, August, 363  
 hueso de fiasimio, 64  
 Hume, David, 115  
 Huygens, Christiaan, 202, 203, 207

## I

Iatroquímica, 89, 177, 182, 185, 189, 311  
 Ibn Arfa Ras, 110  
 Ibn Gabirol, 119  
 ibn Umail, 110  
 Ikoptos, 48  
 Inocencio IV, 114, 116

Invisible College, 195  
 Ishaq al-Isra'ill, 119  
 Islam, 93, 94, 95, 96, 98, 103, 113, 114  
 isomería, 278, 325, 335  
 isomería óptica, 325, 335

## J

Jabal Tarik, 95  
 Jabir, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 108, 109,  
 110, 311, 335  
 Jaime I, 135, 139  
 Jaime II, 135  
 Jenófanes, 5, 6, 7, 17, 43  
 Junge, Joachim, 196, 202

## K

Kaaba, 94  
 Kekulé, Friedrich August, 291, 292, 293, 298,  
 305, 308, 325, 327, 328, 329, 330, 331, 332,  
 333, 336, 337, 345  
 Kekulé y la tetravalencia del carbono, 305  
 Khalid, 98, 110  
 khar sini, 101  
 Kirchhoff, Gustav, 283, 347  
 Kirwan, Richard, 218, 220, 222, 223, 224, 225,  
 232, 302  
 Klaproth, Martin Heinrich, 252  
 Kohlrausch, Friedrich, 362, 367, 368, 369  
 Kolbe, Hermann, 279, 331  
 Körner, Wilhelm, 326, 333, 334  
 Kufa, 99  
 Kunckel, Johann, 228

## L

La Mecca, 93, 94  
 La Place, Pierre Simon de, 223  
 La primitiva teoría de los radicales, 268  
 La teoría dualista, 258, 271  
 Ladenburg, Albert, 266, 284, 326, 333  
 Lagercrantz, Otto, 57, 58  
 Laurent, Auguste, 276, 286, 289, 290, 292, 296,  
 308, 334  
 Lavoisier, Antoine Laurent, 109, 202, 203, 204,  
 214, 215, 216, 217, 218, 219, 221, 222, 223,  
 224, 225, 227, 228, 230, 241, 247, 250, 252,  
 253, 255, 259, 266, 268, 269, 282, 284, 311  
 Le Bel, Joseph Achille, 336, 337, 339  
 Le Châtelier, Henri, 349, 355, 356, 357, 358,  
 359, 360, 374

Le Roi, Jean Baptiste, 223  
 Leibniz, Gottfried, 43, 202, 203, 207  
 Leiden, 27, 40, 41, 57, 58, 59, 61, 66, 182, 249  
 Leon XIII, 132  
 Leucipo de Abdera, 22, 23, 24, 102, 188  
 Ley de Henry, 236  
 ley de la atomicidad, 304  
 ley de la combinación en volumen, 261  
 ley de las masas activas, 350, 351, 352  
 Ley de las presiones parciales, 235, 236, 247  
 Ley de las proporciones recíprocas, 302  
 Ley del isomorfismo, 262  
 leyes de la electrólisis, 264, 367  
 Liceo, 16, 29, 116  
 Lippmann, Gabriel, 63, 64, 357  
 litargirio, 154  
 lithium., 252  
 Llull, Ramón, 139  
 Locke, John, 115  
 Lomonosov, Mijail, 247  
 Loschmidt, Josef, 327, 331, 332, 338  
 Lothar Meyer, 293, 308, 309, 314, 332  
 Lucrecio, 26, 188  
 luz polarizada planarmente, 335, 337

## M

Mahoma, 93, 94, 95, 113  
 Maimónides, 130  
 Mansfield, Charles, 330  
 Maquer, Pierre Joseph, 214  
 Maricourt, Pierre Pelerin de, 114  
 Mariotte, Edmé, 247  
 masa de combinación, 232, 264, 301, 303, 309,  
 312, 315, 325  
 Masci, Girolamo, 114  
 Maslamah, 108  
 Master of the Mint, 288  
 Materia Medica, 37, 57, 58  
 Mayow, John, 215, 217  
 Mecánica, 118, 349, 351, 358, 359, 373  
 medalla Copley, 314  
 Medinath al Nabi, 94  
 membrana semipermeable, 364  
 Mendelejeff, Dimitrim Ivanovich, 313, 314,  
 315, 316, 317, 319, 323  
 mercurius calcinatus per se, 215  
 método de Haber – Bosch, 359  
 metodología inductiva, 31, 202  
 Metopión., 54  
 mínima naturalia, 196  
 Misy, 59

Mitscherlich, Eilhard, 262, 294, 297, 330, 335  
 Moerbeke, William de, 130, 131  
 Moisés, 39, 54, 94, 153  
 Moissan, Henri, 254, 256, 356  
 Monge, Gaspard, 225  
 Monismo estructural, 20  
 motor inmóvil, 34  
 motus verticillaris, 212  
 Murray, John, 254, 302

## N

Napoleón, 254, 255  
 Needham, Joseph, 75  
 Nemorarius, Jordanus, 118  
 Nernst, 369, 370, 371, 372, 373, 374  
 Newlands, John Alexander Reina, 314, 315  
 Newton, Isaac, 199, 240, 247  
 Nous, 22  
 núcleos derivados, 289  
 núcleos fundamentales, 289  
 número de transporte, 368

## O

Odisea, 3, 4  
 Odling, William, 289, 292, 298, 305  
 Olimpíodoro, 26, 40, 41, 42, 43, 51  
 Omar, 95  
 Ombos, 48  
 Opera Omnia, 122, 133  
 Óptica, 116, 117, 118, 141  
 Opus Majus, 115, 117, 173  
 Opus minus, 117, 118, 173  
 Opus Tertium, 115, 120, 152, 173  
 Oropimente, 61  
 ortrino, 280  
 Ortus Medicinæ, 178  
 Ostanés, 25, 26  
 Ostwald, 244, 283, 293, 349, 362, 367, 369, 370, 374  
 otilo, 297, 298

## P

Palestina, 93, 95  
 papiro de Leiden, 57, 58, 61, 64  
 Papyrus Graecus Holmiensis, 57  
 Paracelso, 86, 89, 92, 175, 176, 177, 178, 179, 181, 183, 189, 190, 194, 198, 311  
 Parménides, 6, 17, 18, 19, 23, 25, 43, 172

Pasteur, Louis, 276, 278, 325, 335, 336, 337, 339  
 Patin, Guy, 185  
 Paufler, Peter, 97  
 Pearson, William, 225  
 Pedro el Lombardo, 131  
 Pedro III, 134  
 Pelletier, Pierre Joseph, 270  
 Penyafort, Raymond de, 131  
 Penzance, 249, 250  
 Pericles, 20, 21  
 período, 1, 7, 8, 46, 47, 65, 78, 80, 86, 87, 88, 89, 92, 122, 130, 212, 262, 278, 289, 296, 313, 319, 320, 323  
 peróxidos, 256, 275, 321  
 peso atómico, 240, 241, 262, 263, 280, 291, 293, 303, 304, 309, 312, 315, 325, 328  
 peso equivalente, 264, 301, 303, 304, 309  
 Petit, Alexis T., 262  
 Petrus Bonus, 130, 142  
 Petty, William, 192  
 Pfeffer, Wilhelm, 364, 365, 374  
 Picatrix, 109  
 Piedra filosofal, 159  
 Piridina, 334  
 Pitágoras, 12, 13, 14, 15, 18, 20, 25, 102, 103, 108, 136  
 Pitocles, 188  
 Planck, Max, 372, 373  
 Planisphaerium, 109  
 plano de simetría, 337, 339, 340, 341, 344, 345, 346  
 Platón, 17, 18, 25, 28, 30, 39, 66, 116, 121, 131, 136, 149  
 Plinio, 25, 27, 35, 42, 50, 58, 59, 60, 62, 63  
 Priestley, Joseph, 213, 214, 215, 216, 219, 220, 221, 222, 225  
 Primera Ley de Faraday, 264  
 Principios, 30, 234, 242, 248  
 prismo, 333  
 propiedades coligativas, 363, 367  
 protóxido de carbono, 303  
 Proust, Joseph Louis, 228, 229, 230, 236, 241, 248  
 Pseudo-Demócrito, 27, 34  
 Púrpura, 62

## Q

Química Animal, 267  
 Química Orgánica, 267, 268, 273, 278, 279, 282, 283, 286, 287, 290, 294, 325, 326, 333

Química Vegetal, 267, 280

## R

radical etilo, 281  
 radical metilo, 276, 281, 308  
 Llull, Ramón, 139  
 Raoult, François Marie, 354, 355, 360, 361, 363, 366, 374  
 Razi, 103, 104, 105, 110, 129, 161, 311  
 Regnault, Victor, 263, 281, 290, 351  
 Revolución Química, 253  
 Richter, Jeremiah Benjamin, 232, 233, 240, 248, 302, 303  
 Rodas, 95  
 Roscoe, Henry Enfield, 247, 248, 270, 282, 283  
 Royal Institution, 237, 250, 263, 338, 350  
 Royal Society, 187, 193, 195, 222, 223, 225, 236, 249, 251, 253, 255, 263, 303, 314, 332, 350, 357, 360  
 rubias alizari, 62  
 Ruska, Julius, 103, 108  
 Rutbat al-Hakim, 109

## S

Salah-al- Dyn-Yusuf, (ver Saladino), 96  
 Salzburg, 176  
 San Agustín, 119, 132  
 sangre de dragón, 64  
 sangre de Hephaistos, 64  
 sangre de la paloma, 64  
 sangre de la serpiente, 64  
 sangre de Vesta, 64  
 Santo Tomás, 31, 116, 121, 122, 131, 132, 133, 134, 146, 151, 152, 157, 163  
 Scheele, Carl, W., 213, 214, 215, 216, 253, 257, 268, 273, 275, 335  
 Scott Couper, Archibald y la tetravalencia del carbono, 305.  
 Segunda Ley de Faraday, 265  
 Selenita, 36  
 semilla de Hércules, 64  
 semilla del león, 64  
 Séneca, 26  
 Sennert, Daniel, 194, 196, 197, 198  
 Ser absoluto, 17  
 Serapeum, 41, 66, 98  
 series homólogas, 294  
 Sertürner, Friedrich Wilhelm A., 270  
 Shams al Daula, 105  
 Sicilia, 18, 95

Simplicio, 18, 24  
 Simplicius, 131  
 Sinesio, 26, 27, 28, 40, 41, 42  
 síntesis de la urea, 279  
 Siria, 35, 40, 62, 66, 93, 95  
 Sócrates, 5, 23, 30, 31, 66, 102, 129, 133  
 Soluciones de electrolitos, 367  
 Sophé el egipcio, 35  
 Sorbonne, 276  
 Spa, 180  
 Stahl, Georg, Ernest, 180, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 221, 223, 224  
 Cannizzaro, Stanislao, 292, 293  
 Stephenson, George, 255  
 Strabo, 25  
 Strassbourg., 176  
 Summa theologica, 131, 132  
 Syntagma Philosophiae Epicuri, 191

## T

Tabla corta, 317, 318, 319  
 Tabla de Mendelejeff, 315, 317  
 Tabla esmeralda, 100, 107  
 Tabla extendida, 319  
 Tabula Chemica, 110  
 Tabula Smaragdina, 107  
 Tachenius, Otto, 191, 273  
 Tales de Mileto, 1, 9  
 Taylor, Philip, 281  
 Telesio, Bernardino, 188, 194  
 Tempier, Stephen, 114, 132  
 tensión interfacial, 348  
 Teofrasto, 16, 29, 39, 43, 124, 268  
 Teorema de Carnot, 357  
 Teoría antiflogística, 217  
 teoría corpuscular, 261  
 teoría de la equivalencia electrolítica, 303  
 Teoría de los residuos de Gerhardt, 290  
 Teoría de los tipos de Dumas, 290  
 Teoría de los tipos de Gerhardt, 299  
 Teoría del calórico, 217  
 Teoría Unitaria, 286  
 Tercer Principio de la Termodinámica, 372, 373  
 Tetragrámaton, 135  
 tetravalencia del carbono, 305, 325, 326, 327, 329, 331  
 Thenard, Louis Jacques, 240, 253, 255, 256, 257, 258, 270, 274, 275, 276, 356  
 Theos, 5  
 Thomsen, Julius, 363, 371

Thomson, Thomas, 185, 234, 237, 240, 242,  
248, 255, 261, 267, 278, 288  
Tillet, Mathieu, 213  
Timeo, 38, 66, 131  
Tollens, Bernhard Christian G., 330, 333  
Tomás de Aquino, 115, 122, 130, 131, 132, 133  
Torricelli, Evangelista 191, 193, 196  
Trasilo de Alejandría, 25  
Traube, Moritz, 364  
Turba Philosophorum, 102, 103, 169  
Urbano VIII, 187

W

Yathrib, 94

Z

Zinin, Nikolai Nicolaievich, 330  
Zósimo, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 98

## V

valencia, 264, 265, 304, 308, 309, 315, 317,  
319, 320, 321, 322, 325, 327, 328  
Valencia, 134, 139  
van Helmont, Johann Baptiste, 178, 179, 180,  
181, 190, 191, 194, 202, 218  
Vandermonde, Alexandre-Theophile, 223  
Vauquelin, Louis Nicolas, 252, 267, 273, 274  
Venel, Gabriel-François, 214  
Vignon, Jean, 185  
Villanova, Arnaldo, 116, 118, 134, 169  
vitalismo, 279  
Volta, Alessandro, 254  
von Baeyer, Alfred, 326  
von Guericke, Otto, 193  
von Hofmann, August Wilhelm 277, 294, 307,  
310, 331  
von Humboldt, Alexander, 242, 275, 276  
von Liebig Justus, 271, 273, 278, 279, 280, 281,  
282, 287, 288, 289, 290, 291, 294, 295, 296,  
297, 325, 326

## W

Waage, Peter, 351, 354, 355, 374  
Wadi Fawakhir, 49  
Warltire, John, 219, 221  
Watt, James, 219, 250  
Wedgewood, Thomas, 250  
Wentzel, Carl Friedrich, 302  
Wichelhaus, Hermann, 326  
Williamson, Alexander William, 291, 296, 297,  
298, 304, 325  
Wöhler, Friedrich Wöhler, 256, 257, 267, 271,  
278, 279, 280, 281, 282  
Wollaston, William Hyde, 235, 242, 303  
Wren, Christopher, 198  
Wurtz, Charles-Adolphe, 276, 292, 295, 328,  
342

---

Katz, Miguel

Temas de historia de la química / Miguel Katz. - 1a ed .  
- Buenos Aires : Asociación Química Argentina, 2016.  
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online  
ISBN 978-987-99428-5-7

1. Alquimia. 2. Teorías Científicas. I. Título.  
CDD 540

En *Temas de Historia de la Química*, el autor nos ofrece una ajustada síntesis de los aspectos más relevantes de la historia de esta ciencia desde la Antigüedad hasta principios del siglo XX. El contenido está basado en los cursos de esta disciplina que ha dictado en la Universidad de Buenos Aires y en otras instituciones educativas. Para ello, ha recurrido a fuentes inobjetables, como los textos originales de muchos de los alquimistas y químicos citados, así como las obras de historiadores internacionalmente reconocidos como Marcelin Berthelot, Eric Holmyard, James R. Partington, Julius Ruska, Albert Ladenburg y otros. En la obra se han incluido varias traducciones al idioma español de trabajos importantes de la especialidad.

Miguel Katz, además de Profesor en Química y Licenciado en Enseñanza de la Química, es Doctor en Epistemología e Historia de la Ciencia. A lo largo de su extensa carrera, ha sido docente de Historia de la Ciencia en varias universidades argentinas, así como en el Instituto Superior del Profesorado "Dr. J. V. González" donde alterna su pasión por esta disciplina con el dictado de cursos de Mecánica Cuántica y Termodinámica. Ha sido Consultor del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en temas de su especialidad y ha escrito innumerables trabajos sobre distintos aspectos de la Química.



ISBN 978-987-99428-5-7

