

# RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE EQUILIBRIO ÁCIDO / BASE: UN NUEVO TIPO DE DIAGRAMA QUE COMBINA LOS MÉTODOS GRÁFICO Y ALGEBRAICO

Carmen R. Barrero <sup>1</sup> y Carlos A. Herme <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gabinete de Desarrollo de Metodologías de Enseñanza, FIUBA y

<sup>2</sup> LAFMACEL-INTECIN, Dep. de Qca., FIUBA. Paseo Colón 850, C1063EHA, C.A.B.A.

[carlosherme@gmail.com](mailto:carlosherme@gmail.com)

## Introducción

La psicología cognitiva asume la imagen mental como un constructo válido en el proceso de pensamiento [1]. Se ha identificado a las imágenes como un formato representacional decisivo en individuos con dotes excepcionales de memoria, y también de creatividad e imaginación [2].

Dentro de este marco, exponemos una alternativa para la enseñanza del equilibrio ácido/base. Se propone activar la formación de imágenes mentales con el objeto de facilitar la visualización de los diferentes trayectos de cálculo y la toma de decisiones, según las restricciones del caso.

En el estudio del equilibrio de electrolitos se cuenta con dos vías de resolución de problemas: i) el método gráfico, empleando diagramas de predominio,  $\log [x]$  vs pH, o similares y ii) la resolución algebraica, planteando las ecuaciones que representan el comportamiento del sistema químico y su posterior simplificación, de acuerdo a criterios que permitan decidir qué términos son desestimables.

En diversos textos que desarrollan este tema encontramos tanto detallados ejemplos del método gráfico [3,4], como precisas explicaciones de la resolución algebraica [5,6].

En este trabajo presentamos un nuevo tipo de diagrama, válido para cualquier sistema monoprótico, reuniendo las diferentes posibilidades de aproximación y exhibiéndolas como siete regiones en el plano  $\log C_{HA}$  vs  $pK_a$ .

## Métodos

En la enseñanza del equilibrio ácido/base en solución acuosa, uno de los primeros casos que suele analizarse es el del ácido monoprótico débil, regido por la *constante de disociación ácida*,  $K_a$ :

$$K_a = [H^+] [A^-] / [HA];$$

el *producto iónico del agua*:

$$K_w = [H^+] [OH^-];$$

el *balance de masas*:

$$C_{HA} = [A^-] + [HA]$$

y el *balance de cargas*:

$$[H^+] = [OH^-] + [A^-].$$

De este sistema no lineal de 4 ecuaciones y 4 incógnitas surge una expresión racional de 3<sup>er</sup> grado en  $[H^+]$ :

$$[H^+] = K_w / [H^+] + C_{HA} K_a / \{[H^+] + K_a\} \quad \text{(I)},$$

Para no resolver exactamente la cúbica existen distintos caminos. Uno es el método gráfico, basado en diagramas de predominio,  $\log [x]$  vs pH, o diagramas logarítmicos del par HA-A [4].

Otra vía es, mediante hipótesis de aproximación, la simplificación de la ecuación cúbica hasta convertirla en otra de menor grado. Para ello, cada vez que dos cantidades  $X$  e  $Y$  se sumen o se resten:  $X \pm Y$ , se conjetura que una de ellas será mucho menor que la otra:  $Y \ll X$  [6].

Así, será:  $X \gg Y$  cuando:  $X \geq q \cdot Y$ , empleándose usualmente:  $q = 100$  (1%). Si en la expresión sin aproximaciones (I) se propusiera que el ácido HA aporta una  $[H^+]$  despreciable frente a la suministrada por el  $H_2O$ , quedaría:

$$[H^+] = K_w / [H^+] \quad \text{(II)},$$

entonces  $[H^+]^2 = K_w$ . Luego:  $[H^+] = \sqrt{K_w} = 10^{-7}M$  y: pH = 7,00, como si fuera solvente puro.

Se puede dar el caso opuesto, o sea que los  $H^+$  del  $H_2O$  fuesen despreciables frente a los del HA:

$$[H^+] = C_{HA} K_a / \{[H^+] + K_a\} \quad \text{(III)}.$$

Pero la expresión (III) podría aproximarse todavía más. Si el ácido estuviese muy disociado sería:  $K_a \gg [H^+]$  obteniéndose:

$$[H^+] = C_{HA} K_a / K_a = C_{HA} \quad \text{(IV)},$$

como si HA fuera un ácido fuerte y: pH =  $-\log C_{HA}$ .

La alternativa opuesta sería optar por:  $[H^+] \gg K_a$ , deduciéndose:

$$[H^+] = C_{HA} K_a / [H^+] \quad \text{(V)}.$$

¿Qué ocurriría si efectuáramos las dos últimas aproximaciones directamente sobre (I)? Suponiendo:  $K_a \gg [H^+]$ , aparecería:

$$[H^+] = K_w / [H^+] + C_{HA} K_a / K_a = K_w / [H^+] + C_{HA} \quad \text{(VI)},$$

que es una cuadrática.

Sólo faltaría aplicar en (I) la simplificación:  $[H^+] \gg K_a$ :

$$[H^+] = K_w / [H^+] + C_{HA} K_a / [H^+] = \{K_w + C_{HA} K_a\} / [H^+] \quad (\text{VII}),$$

correspondiente a ácidos extremadamente débiles, no muy diluidos.

### Resultados

Se expresan las fronteras que delimitan las siete regiones donde son válidas las ecuaciones (I) a (VII) en función de  $\log C_{HA}$  y  $pK_a$ .

Como los límites asintóticos de varias de ellas coinciden, sólo se requiere considerar estas cuatro:

$$C_{HA} = 9,95 \times 10^{-10} + 10^{-16} / K_a$$

$$C_{HA} = 9,95 \times 10^{-7} + 10^{-12} / K_a$$

$$C_{HA} = 0,0101 K_a - 1,01 \times 10^{-12} / K_a$$

$$C_{HA} = 10100 K_a - 1,01 \times 10^{-14} / K_a$$

que se representan gráficamente como:  $\log C_{HA}$  vs  $pK_a$ .

Para usar el gráfico: se ubica el punto de coordenadas ( $pK_a$ ;  $\log C_{HA}$ ) según los datos, se ve en qué región se halla y se decide cuál de las siete ecuaciones deberá emplearse para calcular la  $[H^+]$  con una precisión del 1%.

### Conclusiones

Una importante ventaja de esta propuesta frente a los tratamientos tradicionales es que al gráfico se ingresa con variables que son independientes de la situación final de equilibrio del sistema ( $C_{HA}$  y  $K_a$ ), eximiendo al usuario de formular suposiciones. El criterio de desestimación de términos queda establecido cuantitativamente, permitiendo informar resultados con una precisión garantizada.

Además, el uso de este gráfico es totalmente compatible con el concepto generalizado de ácidos y bases, por lo que se podrá aplicar a la forma ácida de cualquier sustancia.

Finalmente, resaltaremos que las dos representaciones simbólicas del sistema confluyen y su interacción habilita en el estudiante un proceso cognitivo dinámico y flexible, a la vez que evidencia la íntima relación entre ambas.

### Referencias

- [1] De Vega, M.: Introducción a la Psicología Cognitiva. Alianza Psicología, 1984, ISBN 84-206-6503-7.
- [2] Holton, G.: On Trying to Understand Scientific Genius. *American Scholar* 41(1972).
- [3] Burriel Martí, F.: Química Analítica Cualitativa. Paraninfo, 15<sup>ta</sup> ed., 1994, ISBN 84-283-1253-2.
- [4] Aguilar Sanjuán, M.: Introducción a los Equilibrios Iónicos. Reverté, 2<sup>da</sup> ed., 1999, ISBN 84-291-7550-4.
- [5] Harris, D.: Análisis Químico Cuantitativo. Grupo Editorial Iberoamericana, 1992, ISBN 970-625-003-4.
- [6] Butler, J.N.: Ionic Equilibrium. A Mathematical Approach. Addison-Wesley, 1964, ISBN 0-201-00730-4.