

J. J. BERZELIUS

Masas atómicas:

los primeros valores

Joanna Maria **Ramos**
Antônio O. **Izolani**
Claudio A. **Téllez S.**

Jöns Jacob von Berzelius nació en Suecia en el año de 1779 en la ciudad de Väfversunda, una pequeña aldea del distrito de Linköping, capital de la provincia de Östergötland, y falleció en Estocolmo en 1848. Berzelius estudió medicina en la Universidad de Uppsala y fue químico de profesión. En su trayectoria académica observamos su actuación como profesor de medicina, farmacia y botánica en el Caroline Institute de Estocolmo. En su carrera como químico, en un período de diez años estudió alrededor de 2 mil compuestos.¹ Su primera experiencia profesional fue el análisis de minerales en aguas naturales.

Se cita en el *Gehlens Neus Journal der Chemie* en 1803, donde Berzelius tuvo como colaborador al científico Wilhelm Hisinger (1766-1852),² un rico propietario de minas y entusiasta mineralogista, con el cual realizaron experimentos en electroquímica (acción de la corriente galvánica de una pila voltaica primitiva), prácticas que pueden considerarse como las primeras en esa área; no obstante, a pesar de esos esfuerzos, el científico Humphry Davy tiene merecidamente el crédito por los primeros estudios en electroquímica, ya que Berzelius tomó como base los trabajos de Davy para proponer su teoría electroquímica.



© Dino Valls, *TEGMEN*. Óleo/lienzo/tabla, 175x61 cm., 2003.

Fue Berzelius quien contribuyó significativamente en el desarrollo de la teoría atómica, y se empeñó durante esos años en la determinación de las masas atómicas y moleculares de más de un millar de elementos y compuestos químicos. Creó un sistema moderno de símbolos químicos introduciendo el uso de letras como símbolos de los elementos. Fue pionero en el uso del oxígeno como referencia para la determinación de las masas atómicas, y consiguió informar las masas de alrededor de 43 elementos. Reconoció la existencia de isómeros en la química orgánica y describió el fenómeno de la catálisis, nombre que introdujo en el vocabulario de la química. Descubrió el cerio, el selenio, el torio, aisló el silicio, el zirconio y el titanio.

Estableció las fórmulas químicas de varias sustancias e introdujo los conceptos de isomería, metamería, polimería y alotropía. Fue fundador y dirigió hasta su muerte una revista en la cual publicaba sus trabajos y comentaba las investigaciones científicas de químicos contemporáneos. Mantuvo contacto epistolar con los químicos Claude-Louis Berthollet, Humphry Davy, Pierre-Louis Dulong, Justus von Liebig y otros. Berzelius inventó y perfeccionó varios instrumentos de laboratorio; introdujo el papel filtro, el desecador y tubos de goma para las conexiones de balones y retortas. A Berzelius se le considera el padre de la simbología química actual y uno de los fundadores de la química moderna.

Publicó más de 250 artículos científicos. La publicación de la hipótesis atómica por parte de John Dalton, tal como lo expone W. Ostwald, de acuerdo a la citación de G. Bugge,³ en el libro *Das Buch der Grossen Chemiker* (Berlín, 1929), ocurrió sólo hasta el año 1808 en Manchester. La determinación experimental de las masas atómicas comenzó con John Dalton (antiguamente, el término usado era peso atómico; en los días actuales, por vicio de lenguaje, algunos autores continúan usando tal denominación, siendo que el término correcto es masa atómica; el peso es una fuerza). Dalton reportó las masas atómicas para 20 átomos simples considerando como base unitaria al hidrógeno. Los valores de Dalton⁴ fueron aproximados, y para algunos átomos diferentes se atribuía un mismo valor. El carbono y el nitrógeno tenían una masa atómica igual a 5. Para el zinc y para el cobre el valor

era 56. Plata y platino tenían una masa atómica igual a 100. En 1814, W. N. Wollaston publicó en la revista *Annalen der Chemie* (*Ann. Chim.*)¹ una tabla de masas atómicas donde se corrigieron algunos de los errores de Dalton. Berzelius, conocedor del trabajo de Gay-Lussac sobre los volúmenes de los gases, sabía que dos volúmenes de hidrógeno se combinaban con uno de oxígeno, y realizó la extrapolación para la composición del agua. Berzelius escribió en 1845:

Me convencí por medio de nuevas experiencias, de que faltaba a los números de Dalton la exactitud necesaria para la aplicación práctica de su teoría. Reconocí entonces, para que la nueva luz iluminase la ciencia entera, que se debería determinar en primer lugar y con la mayor exactitud posible los “pesos atómicos” del mayor número de elementos, sobretudo de los más usuales, y simultáneamente descubrir las proporciones en las cuales los átomos se combinan entre sí.¹

Berzelius tenía por delante un enorme trabajo experimental. ¿Qué reacciones químicas usó Berzelius para la determinación de las masas atómicas? W. N. MacNevin,⁵ en su artículo publicado en la revista *Journal of Chemical Education* (abril de 1954), clasifica las reacciones usadas por Berzelius como se describe a continuación.

I. REDUCCIÓN DE ÓXIDOS

Los óxidos metálicos fueron reducidos con hidrógeno y se determinó la relación metal/óxido, con la cual la masa del metal se refirió a la masa del oxígeno.

Se usó también la reducción de los óxidos metálicos para establecer el cociente entre el oxígeno y el hidrógeno. Berzelius y Dulong usaron en 1820 la reducción incompleta del óxido de cobre con hidrógeno. La cantidad de oxígeno era igual a la pérdida de masa de la muestra de CuO. En la reacción química se formaba agua, la cual era recogida y pesada. En la media de tres experimentos, Berzelius y Dulong partieron de 100g de CuO, y después del calentamiento sobre corriente de hidrógeno encontraron una reducción de 20 gramos en la masa de la muestra. Colectada el agua en



© Dino Valls, *MELANCHOLIA*. Óleo/lienzo/tabla, 175x61 cm., 2003.

el proceso de reacción, verificaron que pesaba 22.495 gramos. Ya que la masa del oxígeno encontrada era 20.0 g, la masa de hidrógeno se obtenía mediante la sustracción: $22.495 \text{ g} - 20.0 \text{ g} = 2.495 \text{ g}$ de hidrógeno total. De esa forma el valor de masa unitaria para el hidrógeno es de 1,2475 g. Berzelius y Dulong informaron que la relación O/H era igual a 16.03 ± 0.057 , la que se obtuvo mediante el siguiente cálculo:

$$\frac{n^{\circ} \text{ at. O}}{n^{\circ} \text{ at. H}} = \frac{\text{masa O}}{\text{masa H}} \quad \frac{1 \text{ O}}{2 \text{ H}} = \frac{20}{2495} \quad \frac{\text{O}}{\text{H}} = 16,032$$

Cabe hacer notar que, en 1826, Berzelius revisó los valores de su tabla de masas atómicas (publicada en 1818) y usó para tales propósitos la ley de Dulong-Petit que vio la luz en 1819. Queda entonces claro que fue Berzelius quien demostró que la masa atómica del oxígeno era 16, dejando en evidencia que el valor de 8 propuesto por Dalton en 1802 estaba errado.

2. OXIDACIÓN DE METALES

Berzelius estudió el estaño (Sn), el antimonio (Sb), el telurio (Te) y el tungsteno (W). Los datos que obtuvo en la oxidación del tungsteno son interesantes: en un experimento, Berzelius verificó que 676 partes de la masa de W producían 846 partes del óxido WO_3 . Con esos valores, el cociente W/WO_3 fue igual a 0.79905. Por la reducción del WO_3 , la razón encontrada fue igual a 0.79644. A partir de esas dos observaciones se determinó el valor medio de la masa atómica del W resultando un valor igual a 189.324.

¿Cómo Berzelius encontró esos valores? Rehaciendo los cálculos bajo la suposición de que Berzelius tomó como base la masa atómica del oxígeno (=16), valor que provenía de mediciones anteriores, para las dos experiencias de Berzelius, tendríamos:

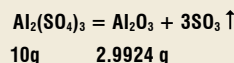
1ª. Medición	2ª. Medición
$W/\text{WO}_3 = W/(W + 30) = 0.79905$	$W/(W + 30) = 0.79644$
$W = 0.79905 (W + 30)$	$W = 0.79644 (W + 30)$
$W = 0.79905(W + 3 \times 16)$	$W = 0.79644(W + 3 \times 16)$
$W = 0.79905W + 38.3544$	$W = 0.79644W + 38.229$

$0.20095W = 38.3544$	$0.20356W = 38.229$
$W = 190.8654$	$W = 187.8027$
El valor medio deducido de las dos mediciones:	$W = 189.33$

3. DESCOMPOSICIÓN POR IGNICIÓN

A partir de este tipo de experimentos, Berzelius determinó las masas atómicas para algunos metales y el cloro. El valor medio para el cociente KCl/KClO_3 , después de cuatro mediciones fue de 0.60851. De ese valor se desprende que la masa del KCl es igual a 74.008

También utilizó la descomposición de sulfatos metálicos. Esquemáticamente, el experimento que con sulfato de aluminio Berzelius realizó fue:



El valor determinado para la masa atómica del Al fue de 27.30. Para tal determinación pensamos que Berzelius procedió de la siguiente manera:

$$2.9924 \times \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 10.0 \times \text{Al}_2\text{O}_3, \text{ dividiendo por 10 obtenemos:}$$

$$0.29924 \times \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = \text{Al}_2\text{O}_3, \text{ entonces:}$$

$$0.29924 \times [2\text{Al} + \text{S} + 12\text{O}] = 2\text{Al} + \text{O}$$

Sabiendo que la masa atómica del azufre es 32 (previamente determinada) y la del oxígeno es 16, sustituyendo esos valores en la relación que escribimos arriba obtenemos para Al el valor de 27.24 g.

4. PRECIPITACIONES GRAVIMÉTRICAS

Berzelius, en 1820, realizó los siguientes experimentos para la determinación del cociente AgCl/Ag :

1º: Disolvió 20 g de Ag en HNO_3 , precipitó con HCl, filtró y evaporó.

2º y 3º: La suspensión de AgCl se evaporó completamente y el sólido fue fundido y pesado sin transferencia.

Las razones encontradas fueron:

	1ª.	2ª.	3ª.	media
AgCl/Ag	1.32700	1.3278	1.32790	1.32757

A partir del valor medio se obtiene:

AgCl / Ag	=	1.32757
Ag + Cl	=	1.32757 Ag, de aquí:
Masa del Cl	=	0.32757 x masa de Ag
Masa de Ag	=	masa del Cl / 0.32757

Dentro del mismo grupo de reacciones por precipitación, Berzelius determinó la masa atómica del manganeso (Mn) a partir de la relación:

MnCl₂ / 2AgCl	=	0.43948
Mn + 2Cl	=	0.87895 (Ag + Cl)
Mn	=	0.87895 - 1.12105 Cl

Si tomamos que la masa de Ag es 107.87 g, y la del Cl igual a 35.453 g, sustituyendo obtendremos:

$$\text{Mn} = 55.067 \text{ g}$$

5. REACCIONES DE DESPLAZAMIENTO

Para la determinación de la masa atómica del yodo, Berzelius propuso la reacción:

2AgI + Cl₂ = 2AgCl + I₂ , de donde encontró el cociente:
AgI / AgCl = 1.63326 , o:
I = 0.63366 Ag + 1.6332601 , siendo la masa de
Ag = 107.87 g , obtenemos:
I = 126.26 g

6. REACCIONES DE ADICIÓN

En este grupo de reacciones, Berzelius, en el año 1826, determinó erradamente la masa atómica del calcio usando la relación: CaCl₂ / 2AgCl. Años después, a través de la reacción de adición:

CaO + SO₃ = CaSO₄ obtuvo el cociente:
SO₃ / CaO = 1.423998 , de donde determinó:
S + 3O = 1.423998 x (Ca + O) , con S = 32 g y O = 16 g , obtenemos:
Ca = 40.179 g
I = 126.26 g

7. REDUCCIÓN DE COMPLEJOS DE METALES NOBLES

Por reducción con H₂(g) de sales de complejos de metales nobles, obtuvo las siguientes masas atómicas:

	m.a. de Berzelius	m.a. en 1949	m.a. en 1970
Pt	19.10 (1828)	195.23	195.09
Os	198.94 (1828)	190.20	190.20
Ir	196.70 (1828)	191.10	192.20
Rh	104.30 (1828)	102.51	102.905
Pd	106.22 (1828)	106.70	106.40
Au	196.63 (1828)	19.20	196.96

8. REACCIONES MISCELÁNEAS

Berzelius usó mercurio (Hg) y fósforo (P) como agentes reductores en la determinación de la masa atómica del oro (Au).

CONCLUSIONES

Berzelius, en 1814, presentó su primera tabla de “pesos atómicos” conteniendo 43 elementos, y en el año de 1818 la extendió a 45 elementos con un anexo de la composición porcentual y del peso-fórmula de cerca de 2 mil compuestos.^{6,7,8} Berzelius se declaró contra el padrón de Dalton, el hidrógeno, por formar raramente compuestos inorgánicos, siendo que “el oxígeno reúne todas las ventajas en sí mismo; y por así decirlo es el centro alrededor del cual gira toda la química.” Berzelius, fue fuerte en sus críticas a Dalton y declaró:

Parece que este inminente científico partió en este trabajo, de poca experiencia; tal vez no procediese con suficiente precaución en la aplicación de la nueva hipótesis al sistema químico. Me pareció que se podría notar, algunas veces, en el pequeño número de los análisis dados por él, la intención del operador de conseguir un cierto resultado; y justamente de eso se debe tomar el mayor cuidado cuando se procuran pruebas a favor o contra una teoría anticipada.⁹



Berzelius perfeccionó el análisis gravimétrico, hecho que le permitió validar las leyes ponderales y corregir las masas atómicas de Dalton. Los valores de las masas atómicas dadas por Berzelius son próximos a los valores actuales. Por ejemplo, para el paladio (Pd), Berzelius informó el valor de 106.22 (su masa actual es de 106.42), que en aquella época no se conocían las técnicas de separación isotópica. El paladio con número de masa 106 tiene una masa isotópica de

105.94 y se encuentra en mayor porcentaje con un valor de 27.2% de abundancia relativa entre seis isótopos. Para el platino (Pt), informó el valor de 197.10 (su masa actual es de 195.078). Para este elemento se conocen cinco isótopos diferentes, y el que ostenta la mayor abundancia natural se encuentra en 33,7% con una masa isotópica de 195.039.

Más allá de este enorme trabajo científico, Berzelius estaba convencido de que cada proceso químico era de naturaleza eléctrica; que cada partícula pequeña de acuerdo con la naturaleza de la sustancia, estaría cargada positiva o negativamente en diferentes grados, y esas cargas se neutralizarían en la formación de los compuestos. Basado en estas propiedades, creyó poder reconocer la naturaleza eléctrica de cada constituyente simple, lo cual le permitiría clasificar ciertas series de compuestos: 1) electronegativos (ácidos); 2) electropositivos (bases) y 3) neutros.

El sistema electroquímico de Berzelius se denominó como sistema dual. Hizo también importantes contribuciones en la nomenclatura química y en el desarrollo de métodos analíticos.

AGRADECIMIENTOS

J. M. Ramos y C. Téllez agradecen al CNPq y CAPES (PNDP) el apoyo financiero.

R E F E R E N C I A S

- ¹ Rheinboldt, H. *Historia da balança e a vida de Berzelius*. Ed. Nova Stella. Ed. Edusp, São Paulo 1988.
- ² J. J. Berzelius and W. Hisinger. Im Neves allg. *J. Chem.* 1, 115-49 (1803) (reprinted in *Ann. Phys.* 27, 270-304 (1807).
- ³ Wilhelm Ostwald, en G. Bugge, *Das Buch der Grossen Chemiker* (Berlin, 1929), Vol. I, pp. 378-385.
- ⁴ Dalton, J. *A New System of Chemical Philosophy*, Manchester, (1808), Vol. 1, parte 1, pp. 211-220. (1808).
- ⁵ W. Marshall MacNevin, *J. Chem. Ed.*, 3(5) (1954) pp. 207-211.
- ⁶ H. F. Coward, *J. Chem. Ed.*, 4(1) (1927) pp. 22-37.
- ⁷ A. Hopwood, *J. Chem. Ed.*, 3(5) (1954) pp. 485-489.
- ⁸ R. Winderlich, *J. Chem. Ed.*, 6 (4) (1948) pp. 500-505.
- ⁹ Berzelius, J. J. *Lehrbuch der Chemie* (4a. Ed., 1836), Vol. 5, pp. 22-23.

Joanna Maria Ramos
IQ-Universidade Federal de Rio de Janeiro, Brasil
Antônio O. Izolani
Universidade Severino Sombra, Brasil
Claudio A. Téllez S.
Instituto de Química
Universidade Federal Fluminense, Brasil
tellez@vm.uff.br