

EL SESQUICENTENARIO DEL PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL DE QUÍMICOS

Pascual Román Polo¹

Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Ciencia y Tecnología,
Universidad del País Vasco, Apartado 664, 48080 Bilbao. Correo electrónico:
pascual.roman@ehu.es

RESUMEN

En 2010 se conmemora el sesquicentenario del Primer Congreso Internacional de Químicos (3–5 de septiembre de 1860) celebrado en la ciudad alemana de *Karlsruhe*. Ante el caos en que se hallaba sumida la Química, los más eminentes químicos europeos de la época fueron invitados para tratar de despejar el intrincado camino que impedía el progreso de la Química. Convocado por *Kekulé*, *Weltzien* y *Wurtz*, se llegó a importantes conclusiones –aunque no fueron inicialmente aceptadas por todos los participantes–, que permitieron el avance de la Química y de las demás ciencias relacionadas con ella. El gran triunfador del Congreso fue el químico italiano *Stanislao Cannizzaro*.

Palabras clave: Congreso, internacional, químicos, *Congreso de Karlsruhe*, *Cannizzaro*

ABSTRACT

In 2010 marks the sesquicentennial of the First International Congress of Chemists (3–5 September 1860) held at the German city of *Karlsruhe*. Given the chaos that was plunged the Chemistry, the most eminent European chemists of the era were invited to try to solve the intricate road that blocked the progress of Chemistry. Convened by *Kekulé*, *Weltzien* and *Wurtz*, they obtained important conclusions –although they were initially not accepted by all participants–, which allowed the improvement of Chemistry and other sciences related to it. The big winner of the Congress was the Italian chemist *Stanislao Cannizzaro*.

Keywords: Congress, international, chemists, *Karlsruhe Congress*, *Cannizzaro*.

INTRODUCCIÓN

En 2010, se conmemora uno de los mayores acontecimientos científicos en la historia de la química: el sesquicentenario del Primer Congreso Internacional de Químicos, conocido también como Congreso de Karlsruhe por haberse celebrado en esta ciudad del sudoeste de Alemania. Fue el primer congreso internacional de científicos que se convocó con la importante misión de poner orden en el caos al que habían llegado los químicos de la época. Este evento científico no solo permitió dilucidar trascendentes cuestiones que confundían a los químicos de las diferentes escuelas, sino que puso orden en esta ciencia para poder avanzar en menos de una década en la formulación de la moderna tabla periódica de los elementos químicos. Resultó de vital importancia la aportación de jóvenes químicos, algunos de ellos alejados de las grandes escuelas, que enfocaron las cuestiones que habían detenido el

¹ Artículo publicado en los *Anales de Química*, **2010**, *106(3)*, 231 – 239, y ha sido autorizada su publicación en la Revista Iberoamericana de Polímeros por el autor.

progreso de la química de una forma distinta e innovadora.

De entre los químicos que participaron en el *Congreso de Karlsruhe* destacaron: *Friedrich August Kekulé* (1829–1896), *Carl Weltzien* (1813–1870) y *Charles Adolphe Wurtz* (1817–1884), por tener la genial idea de su convocatoria y el enfoque de los problemas a estudiar y resolver; *Stanislao Cannizzaro* (1826–1910), el gran triunfador del congreso, por sus aportaciones, y la elocuencia y el entusiasmo con que las defendió; *Julius Lothar Meyer* (1830–1895) y *Dimitri Ivánovich Mendeléiev* (1834–1907), dos jóvenes químicos que hicieron fructificar las ideas sembradas por *Cannizzaro* en *Karlsruhe* para desarrollar la moderna tabla periódica de los elementos químicos. Obsérvese que *Kekulé*, *Cannizzaro*, *Meyer* y *Mendeléiev* tenían entre 26 y 34 años cuando se celebró el *Congreso de Karlsruhe*.

Además, el *Congreso de Karlsruhe* permitió el progreso sin precedentes de la Química Orgánica en la segunda mitad del siglo XIX y fue el germen donde se fraguó la Asociación Internacional de Sociedades Químicas (*París*, 1911), que, ocho años más tarde, daría paso a la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC en sus siglas inglesas).

En el presente trabajo se revisan los antecedentes del Primer Congreso Internacional de Químicos, su convocatoria y desarrollo, y los frutos que se obtuvieron como consecuencia de las soluciones encontradas a las cuestiones abordadas en el *Congreso de Karlsruhe*. También se revisan las aportaciones del insigne químico italiano *Cannizzaro*, de quien se conmemora el centenario de su fallecimiento (*Roma*, 1910).

El nacimiento de la Química como ciencia moderna: el descubrimiento del oxígeno.

El nacimiento de la Química como ciencia moderna está vinculado a la búsqueda y aislamiento de los elementos químicos. Está fuera de toda duda que el descubrimiento del oxígeno es el punto de arranque de la Química como una ciencia independiente. Sin embargo, no es fácil precisar a quien se le debe atribuir este hallazgo fundamental. En la genial obra de teatro *Oxygen. A play in 2 acts* [1], *Carl Djerassi* y *Roald Hoffmann* plantean el problema de tratar de conocer al verdadero descubridor del oxígeno con el fin de otorgarle el Primer Premio Nobel Retrospectivo con ocasión de celebrarse en 2001 el centenario de la concesión de los primeros premios Nobel. La obra ha sido traducida al español por el Fondo de Cultura Económica de *México* [2] y fue interpretada por siete actores que representan a once personajes.

El oxígeno fue descubierto por vez primera por el químico y farmacéutico sueco *Carl Wilhelm Scheele* (1742–1786) en 1772 cuando calentó el óxido de mercurio(II), dióxido de manganeso, carbonato de plata, nitrato de potasio y varios nitratos de metales pesados [3–5]. *Scheele* llamó a este gas “aire de fuego” porque era el único conocido que mantenía las combustiones. Escribió un informe de su descubrimiento en un manuscrito titulado *Treatise on Air and Fire* que fue enviado a su editor en 1775. Sin embargo, este documento no fue publicado hasta 1777. Mientras tanto, el

químico y clérigo británico *Joseph Priestley* (1733–1804), el 1 de agosto de 1774, realizó un ingenioso experimento cuando dirigió la luz del sol sobre el óxido de mercurio(II) dentro de un tubo de vidrio, que liberó un gas al que denominó “aire desflogistizado” [3]. Observó que en presencia de dicho gas, las velas ardían con luz más brillante y un ratón se volvía más activo y vivía más tiempo cuando respiraba este gas. Él mismo notó que se sentía muy “ligero y cómodo”. *Priestley* publicó sus resultados en 1775 en un artículo titulado “*An Account of Further Discoveries in Air*” que incluyó en el segundo volumen de su libro *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* [6]. Generalmente, se atribuye la prioridad del descubrimiento del oxígeno a *Priestley* porque fue el primero en publicar sus hallazgos.

El renombrado químico francés *Antoine-Laurent de Lavoisier* (1743–1794), a quien se considera el padre de la química moderna, también reivindicó el descubrimiento del oxígeno para él. Sin embargo, es bien conocido que, en octubre de 1774, *Priestley* visitó a *Lavoisier* en París y le describió su experimento y cómo se liberaba una nueva sustancia gaseosa. Por su parte, en septiembre de 1774, *Scheele* envió una carta a *Lavoisier* que describía el descubrimiento de una sustancia desconocida, aunque *Lavoisier* negó haberla recibido. Lo cierto es que se halló una copia de dicha carta en las pertenencias de *Scheele* tras su muerte [4].

Está fuera de duda que tanto *Scheele* como *Priestley* se adelantaron en el tiempo a *Lavoisier* en el aislamiento del oxígeno. Sin embargo, fue éste último quien llegó a penetrar en la verdadera naturaleza del nuevo elemento químico. Aquel mismo año de 1774 utilizó los experimentos de *Priestley* y *Scheele* junto con otros nuevos para explicar de forma correcta y cuantitativa el fenómeno de la oxidación y el funcionamiento de la combustión y la respiración. Sus experimentos sobre la combustión fueron publicados en 1777 en su obra *Sur la combustion en général*. Estos trabajos realizados entre 1774 y 1780 condujeron al descrédito de la teoría del flogisto y probaron que la sustancia aislada por *Scheele* y *Priestley* era un nuevo elemento químico. *Lavoisier* dio al nuevo elemento el nombre de oxígeno (del griego *oxys*, ácido y *genēs*, engendrador), es decir, que engendra los ácidos, porque creía que entraba en la constitución de todos ellos. Hoy sabemos que este nombre es erróneo, porque existen ácidos que no contienen oxígeno —el elemento que mejor se corresponde con la creencia de *Lavoisier* es el hidrógeno—, sin embargo, a pesar del error, se mantiene el nombre dado por *Lavoisier*. La palabra *oxygen* comenzó a utilizarse en la Gran Bretaña en 1788 [7].

Ni *Priestley* ni *Scheele* se dieron cuenta de la verdadera importancia de su descubrimiento. El que se percató fue *Lavoisier*. Algunos autores [8], piensan que es más trascendente la comprensión que el propio hallazgo de las nuevas sustancias. Este es el caso del descubrimiento del oxígeno. Otros autores [1,2], indican que, a veces se entremezclan lo político con lo social y lo científico. En

el asunto que nos ocupa, Priestley era un progresista desde el punto de vista político y social, tanto es así que sus ideas lo obligaron a abandonar la *Gran Bretaña* por defender la Revolución francesa, por lo que tuvo que huir, primero a *Londres* y más tarde a *Estados Unidos* cuando una turba enfurecida quemó su iglesia y su casa. Desde el punto de vista científico era un conservador que se alineó con los defensores de la teoría del flogisto, al igual que le ocurrió a *Scheele*, discípulo y amigo de *Torbern Olof Bergman* (1735–1784), acérrimo defensor de esta teoría por la que se enfrentó enconadamente a *Lavoisier*. Por el contrario, el químico francés era un conservador político y social –tanto es así que sus ideas y posición económica le costaron la vida–, pero un progresista desde el punto de vista científico.

La Revolución Química tuvo lugar tras el aislamiento del oxígeno y la comprensión de su importancia para explicar los fenómenos de la combustión, la respiración y la oxidación, que acabaría con la teoría del flogisto que también trataba de explicarlos. Además, *Lavoisier* se ocupó de la nomenclatura de los elementos químicos y sus compuestos en colaboración con otros insignes químicos franceses [9–10]. (Figura 1). Por otra parte, nos legó el primer tratado de química moderna [11], (Figura 2) que publicó el mismo año en el que se producía la toma de la *Bastilla*, detonante de la Revolución francesa. En este libro se halla una de las primeras relaciones de los elementos químicos conocidos, en el que aparece una clasificación de 33 sustancias bajo el epígrafe de “*Tableau de substances simples*” (Figura 3). En ella se distinguen cuatro tipos de sustancias simples: 1) las que pertenecen a los tres reinos y se les puede considerar como los elementos de los cuerpos; 2) las no metálicas, oxidables y acidificables; 3) las metálicas, oxidables y acidificables; y 4) las salificables y terrosas. La tabla tiene una doble columna donde aparecen los nombres nuevos de las sustancias simples y los correspondientes nombres antiguos.

De la teoría atómica química de Dalton hasta el caos de la Química

En 1800, cuando expiraba el siglo XVIII se conocían 30 elementos químicos, pero se desconocían sus pesos atómicos. Aquel mismo año el físico italiano *Alessandro Volta* (1745–1827) inventa la pila eléctrica, que en su honor también se la conoce como pila Volta. Este invento tendría una aplicación inmediata en el descubrimiento de nuevos elementos químicos. Dos químicos destacaron en esta tarea: *Humpry Davy* (1778–1829) y *Jöns Jacob Berzelius* (1779–1848). A *Davy* se le atribuye el aislamiento de seis nuevos elementos: sodio (1807), potasio (1807), boro (1808), magnesio (1808), calcio (1808) y bario (1808), mientras que a *Berzelius* se le reconoce el descubrimiento de cuatro: cerio (1803), selenio (1817), silicio (1824) y torio (1828). Es decir, ellos dos solos fueron capaces de incrementar el número de elementos conocidos a comienzos del siglo XIX en más de un tercio de los conocidos en 1800.

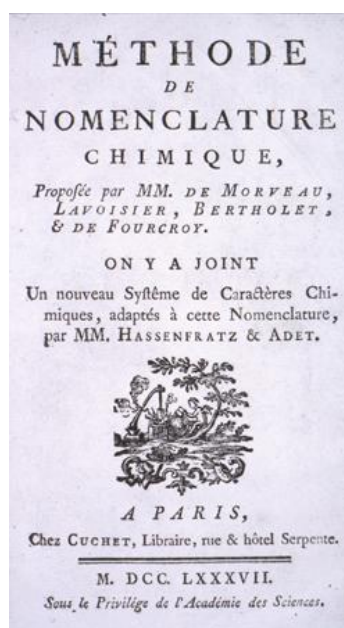


Figura 1. Portada del *Méthode de nomenclature chimique* (1787).

Es importante destacar este hecho porque la aplicación de nuevas técnicas jugó un papel determinante en el avance de la Química en los albores del siglo XIX. En esta época la química acababa de ser considerada como una ciencia exacta y se habían establecido las principales leyes estequiométricas. *John Dalton* (1766–1844) había enunciado la teoría atómica de la materia en 1803 que, más tarde, recogió en la primera parte de su libro *A New System of Chemical Philosophy* (Manchester, 1808). Después, se desarrollarían otras leyes, hipótesis y principios que conducirían a la elaboración de otras teorías. *Amedeo Avogadro* (1776–1856) publica en 1811 el artículo *Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons*. En 1814, André-Marie Ampère (1775–1836) formula la hipótesis de *Avogadro* de manera independiente. Esta hipótesis dice: “*Volúmenes iguales de distintas sustancias gaseosas, medidos en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de partículas*“. En 1815 y 1816, el químico, físico y teólogo inglés *William Prout* (1785–1850) publicó dos artículos en los que recogía las observaciones de que los pesos atómicos de los elementos conocidos hasta el momento eran múltiplos del peso atómico del hidrógeno. Estableció de forma anónima la hipótesis que lleva su nombre, en la que el peso atómico de cualquier elemento es un número entero múltiplo del peso atómico del hidrógeno y que los átomos de los demás elementos eran en realidad agrupaciones de varios átomos de hidrógeno.

Tras el descubrimiento de la primera pila eléctrica y el enunciado de la teoría atómica química, los avances en el descubrimiento y conocimiento de nuevos elementos y compuestos

químicos, junto con el sistema de formulación química propuesto en los años 1813–1814 por *Berzelius* al utilizar las letras iniciales de los nombres latinos de los elementos, hizo que la química experimentara un desarrollo extraordinario en el primer tercio del siglo XIX.

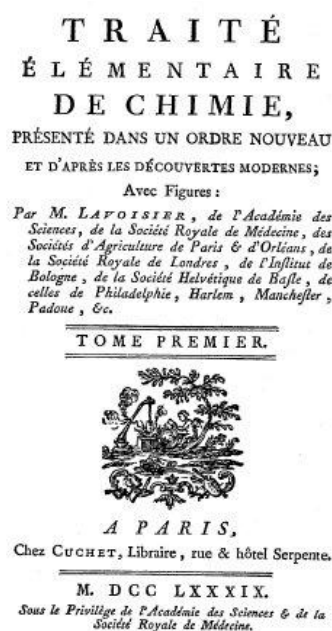


Figura 2. Portada del *Traité élémentaire de chimie* (1789).

Sin embargo, en las décadas de los años cuarenta y cincuenta surgen dos conflictos de difícil solución: el protagonizado por atomistas contra los equivalentistas y el mantenido por los seguidores de la teoría dualista contra los defensores de la teoría unitaria.

En 1813, *William Hyde Wollaston* (1766–1828) había propuesto el uso de los pesos equivalentes como las unidades fundamentales de la química. Los pesos equivalentes resultaron muy atractivos para muchos químicos, ya que parecía podían determinarse experimentalmente sin recurrir a ninguna teoría. La confusión aumentó debido a que no se podían normalizar muchas fórmulas empleadas para representar los compuestos químicos. Los símbolos barrados o átomos con dobles pesos atómicos llegaron a tener significados diferentes para distintos químicos. Cuando *Laurent* y *Gerhardt* intentaron en la década de 1840 recuperar la hipótesis de *Avogadro*, fueron demasiado lejos y presentaron una nueva confusión en la química con el desarrollo de la teoría unitaria.

Sólo unos pocos científicos se percataron del verdadero significado de la hipótesis de *Avogadro*, como *Marc Antoine Auguste Gaudin* (1804–1880), un contable de la Oficina de Longitudes de *París*, quien en 1833 se dio cuenta de su importancia, pero éste, que estaba fuera de los círculos académicos, no tuvo influencia alguna. Supo reconciliar la ley de *Gay-Lussac* de los volúmenes de combinación con la hipótesis de *Avogadro* y aprovechó las ideas de *Ampère* y *René*

Just Haüy (1743–1822) para el tratamiento de las estructuras molecular y cristalina de la materia. Años más tarde (1867), fue reconocido por la Academia de Ciencias de *París* con el Premio *Trémont*. En 1873, publicó el libro *L'architecture du monde des atomes* (“La arquitectura del mundo de los átomos”), que después de cuarenta años sin cambiar sus ideas originales estaba obsoleto.

Entre las polémicas más duras y crueles que se recuerda en la historia de la ciencia se halla la que enfrentó a atomistas y equivalentistas. Estos últimos negaban la existencia de los átomos y las moléculas, que eran defendidos a ultranza por los atomistas, basándose en que nadie los había podido observar. Dos equivalentistas de gran peso científico, político y social fueron los químicos franceses *Jean-Baptiste Dumas* (1800–1884) y *Marcellin Pierre Eugène Berthelot* (1827–1907). En el lado de los atomistas se hallaban los químicos franceses *August Laurent* (1807–1853) y *Charles Frédéric Gerhardt* (1816–1856), que se defendían de la hostilidad de sus poderosos compatriotas. Baste recordar que *Dumas* fue ministro de Agricultura y Comercio de *Napoleón III* de 1850 a 1851 y vicepresidente del Consejo imperial de instrucción pública. *Berthelot* fue ministro de Instrucción Pública en 1886 y ministro de Asuntos Exteriores en 1895. Mientras que *Laurent* murió tuberculoso y *Gerhardt* pasó grandes penalidades económicas y administrativas en *Estrasburgo*, ambos murieron muy jóvenes. En la Tabla 1, se muestra resumida la situación de la química en el periodo 1800–1860.

PARTIE II. DES SUBSTANCES SIMPLES. 135

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	NOMS NOUVEAUX.	NOMS ANCIENS CORRESPONDANTS.
	Lumière.....	Lumière.
	Calorique.....	Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné.
Substances simples qui appartiennent aux trois règnes, et qu'on peut regarder comme les éléments des corps.	Oxygène.....	Feu. Matière du feu et de la chaleur. Air déphlogistiqué. Air empyrémat. Air vital.
	Azote.....	Base de l'air vital. Gas phlogistiqué. Méfisque. Base de la mofette. Gas inflammable. Base du gaz inflammable.
Substances simples, non métalliques, oxydables et acifiables.	Hydrogène.....	Hydrogène.
	Soufre.....	Soufre.
	Phosphore.....	Phosphore.
	Carbone.....	Charbon pur.
	Radical muriatique.....	Inconnu.
Substances simples, métalliques, oxydables et acifiables.	Radical fluorique.....	Inconnu.
	Radical boracique.....	Inconnu.
	Antimoine.....	Antimoine.
	Argent.....	Argent.
	Arsenic.....	Arsenic.
	Bismuth.....	Bismuth.
	Cobalt.....	Cobalt.
	Cuivre.....	Cuivre.
	Étain.....	Étain.
	Fer.....	Fer.
Substances simples, salifiables, terreuses.	Manganèse.....	Manganèse.
	Mercur.....	Mercur.
	Molybdène.....	Molybdène.
	Nickel.....	Nickel.
	Or.....	Or.
	Platine.....	Platine.
	Plomb.....	Plomb.
	Tungstène.....	Tungstène.
	Zinc.....	Zinc.
	Chaux.....	Terre calcaire, chaux.
Magnésie.....	Magnésie, base de sel d'Epsom.	
Baryte.....	Baryte, terre pesante.	
Alumine.....	Argile, terre de falun, base de falun.	
Silice.....	Terre siliceuse, terre vitrifiable.	

Figura 3. Tabla de sustancias simples de Lavoisier (1789).

La teoría dualista fue introducida por *Berzelius* en la década de los años 1830 quien suponía que los átomos y sus compuestos estaban formados por una parte positiva y otra negativa. Esta teoría

permitía comprender los fenómenos electroquímicos. La teoría unitaria o de la sustitución, propuesta por *Dumas*, fue desarrollada por su discípulo *Laurent* y el alumno de éste: *Gerhardt*, en oposición a la teoría dualista. *Dumas* fue uno de los primeros químicos en estudiar los fenómenos de la sustitución en los compuestos orgánicos y uno de los pioneros de la teoría atómica [12].

Tabla 1. Situación de la Química en el periodo 1800–1860.

- 1800 ● *Volta* descubre la pila eléctrica
- Se conocen 30 elementos químicos
- Segunda ley de *Gay-Lussac* ($P/T = k$)
- 1801 ● Ley de las presiones parciales de *Dalton*
- 1802 ● Primera ley de *Gay-Lussac* ($V/T = k$)
- 1803 ● Ley de las proporciones múltiples de *Dalton*
- 1803–1808 ● *Dalton* enuncia y desarrolla la teoría atómica química. Adopta el peso atómico del hidrógeno como referencia ($H = 1$). Introduce la primera tabla de pesos atómicos
- 1803–1828 ● *Berzelius* descubre 4 elementos químicos
- 1807–1808 ● *Davy* aísla 6 elementos químicos
- 1808 ● Ley de las proporciones definidas o de las proporciones constantes de *Proust*
 - Ley de las de los volúmenes de combinación de los gases de *Gay-Lussac* ($PV/T = k$)
- 1809 ● *Haüy* relaciona el análisis químico con la estructura cristalina
- 1811 ● *Avogadro* publica su hipótesis
- 1813–1814 ● *Berzelius* introduce un sistema de formulación química basado en los símbolos de los elementos y superíndices
- 1813 ● *Wollaston* propone el uso de los pesos equivalentes
- 1814 ● *Ampère* establece la hipótesis de *Avogadro* de manera independiente
- 1814–26 ● *Berzelius* adopta el peso atómico del oxígeno como referencia ($O = 16,00$)
- 1815–16 ● *Prout* publica su hipótesis
- 1819 ● *Dulong* y *Petit* establecen su ley
 - *Mitscherlich* descubre el isomorfismo
- 1826 ● *Dumas* propone el método para determinar los pesos moleculares de los líquidos

1827 • *Berzelius* introduce el concepto de isomería

1830's • *Berzelius* desarrolla la teoría dualista

- Se toma como referencia el sistema de pesos atómicos de *Berzelius*

- *Dumas* introduce la teoría unitaria

1840's • Conflicto atomismo-equivalentismo

- *Gerhardt* corrige los pesos atómicos de *Berzelius*

- *Gerhardt* junto con *Laurent* desarrollan la teoría unitaria y la de los tipos

1850 • Se conocen 58 elementos químicos

1850's • Enfrentamientos entre los defensores de la teoría dualista y los de la teoría unitaria

1850–60 • La química llega al caos. Es una torre de *Babel*. Los químicos no son capaces de entenderse

1858 • *Cannizzaro* publica su afamado artículo *Sunto di un corso di filosofia chimica*

1859 • Kekulé contacta con *Wetzelien* y *Wurtz* para convocar un congreso de químicos europeos

- Se conocen 59 elementos químicos

1860 • Se celebra el Congreso de *Karlsruhe* (3–5 de septiembre)

El descubrimiento del ácido tricloroacético a partir del ácido acético por *Dumas* y la sustitución de algunos átomos de hidrógeno por cloro llevada a cabo en el alcohol etílico por *Laurent*, que enfurecieron a *Berzelius* porque echaban por tierra su teoría dualista, le sirvieron de gran ayuda a *Gerhardt* para formular su nueva teoría de los tipos. Ante la irritación de *Berzelius*, *Dumas* se retractó cobardemente de sus ideas sobre la teoría unitaria y no reconoció el trabajo de su discípulo *Laurent*, con quien terminó enemistándose. *Berzelius* y otros ilustres químicos eran incapaces de reconciliar la sustitución de un elemento electropositivo por otro electronegativo. Sin embargo, estos avances científicos dieron a *Gerhardt* la idea de desarrollar la teoría de los tipos –una gran mejora de la teoría unitaria– al observar que estos compuestos orgánicos y otros similares se podían obtener de los compuestos hidrogenados de los que derivaban.

Cannizzaro encuentra la luz

Cannizzaro se incorpora a la Universidad de Génova en octubre de 1855 donde permanece hasta finales de 1861. En *Génova* no tiene ni laboratorios ni equipos para continuar su labor investigadora [13]. En 1856, consigue un nuevo local, aunque su producción científica va a ser escasa hasta finales de 1857. Uno de los años más importantes en su vida es el de 1858, año en que publica su artículo seminal *Sunto di un corso di filosofia chimica, fatto nella Regia Università di Genova* (“Compendio de un curso

de filosofía química, realizado en la Real Universidad de Génova”) en *Il Nuovo Cimento*.^[14] Este revolucionario artículo, fechado el 12 de marzo, aparece publicado en el número de mayo en forma de carta dirigida a su amigo Sebastiano de Luca (1820–1880), editor de la revista y profesor de Química en Pisa. En el artículo se recogen los primeros ocho capítulos del curso que imparte a sus alumnos. Más tarde, aparece publicado en forma de opúsculo junto con una nota del propio Cannizzaro titulada *Sulle condensazioni di vapore* (“Sobre la condensación del vapor”) que va a tener una gran importancia para la difusión de sus ideas en el Congreso de Karlsruhe.

La trascendencia de este artículo radica en que clarificaba el concepto de peso atómico, relacionándolo correctamente con el peso molecular y sentaba las bases a través de la teoría atómica, despejando la incertidumbre que imperaba en la época en la definición de los conceptos fundamentales de la química. Con este trabajo Cannizzaro abre una nueva ruta, con bases experimentales, alejadas de suposiciones conceptuales, y utilizando un lenguaje sencillo y fácil de entender. En el mismo año de 1858, publica *Lezione sulla teoria atomica* (“Lección sobre la teoría atómica”) en la revista italiana “*Liguria medica*” en la que profundiza en los mismos temas del “Sunto”, detallándola e ilustrándola con distintos ejemplos, poniendo de manifiesto su fe en su trabajo y en el progreso de la ciencia”.^[15]

El comienzo del artículo deja perfectamente claras las ideas de su autor sobre la teoría atómica. “Creo que el progreso de la ciencia, realizado en estos últimos años, ha confirmado la hipótesis de Avogadro, de Ampère y de Dumas sobre la constitución semejante de las sustancias en estado aeriforme; es decir, que volúmenes iguales de estas sustancias, bien sean simples o compuestas, contienen un número igual de moléculas, pero no un número igual de átomos, puesto que las moléculas de las diversas sustancias, o las de la misma sustancia en sus diferentes estados, pueden contener un número distinto de átomos, tanto si son de la misma como de distinta naturaleza”.^[16]

Para calcular los pesos atómicos y relacionarlos con los pesos moleculares hace uso de la hipótesis de Avogadro (1811) y de Ampère (1814), de la ley de Gay-Lussac (1810–1882) sobre los volúmenes de combinación de los gases enunciada en 1808 y que formula así: “los gases en cualesquiera que sean la proporciones en las que se pueden combinar, dan siempre lugar a compuestos cuyos elementos, medidos en volumen, son siempre múltiplos uno de otro”. Para determinar los pesos moleculares de los líquidos recurre al método de Dumas (1826). Con este método, Dumas demostró que el peso molecular de algunos compuestos orgánicos era directamente proporcional a su densidad de vapor. Por último, para calcular el peso atómico de los elementos sólidos emplea la ley de Dulong y Petit (1819). Esta ley establece que “el producto del calor específico de cualquier elemento sólido por su peso atómico es prácticamente constante e igual a 6,3 (expresado en cal/°C at-g)”.

Cannizzaro construye una tabla con 33 sustancias algunas de las cuales son alótropos y determina el peso atómico de 31 elementos químicos distintos. Es la primera gran relación con pesos moleculares

y atómicos parecidos a los que hoy conocemos. Establece la *ley de los átomos* en la que introduce el concepto de átomo: “las diferentes cantidades del mismo elemento contenido en distintas moléculas son todas ellas múltiplos enteros de una misma cantidad, que, siendo entera siempre, debe llamarse por esta razón átomo”. En la Tabla 2, se recogen los pesos atómicos de los elementos calculados por Cannizzaro y recogidos en su artículo “Sunto” comparados con los actuales de la IUPAC.

Es de justicia destacar la importancia del “Sunto” ya que fue traducido, entre otros idiomas, al alemán por *Lothar Meyer* en *Ostwald's Klassiker der Exalten Wissenschaften*, nº 90 (*Leipzig*, Verlag Engelmann, 1891) con el título “Abriss eines Lehrganges der Theoretischen Chemie vorgetragen an der K. Universität Genua vor Prof. S. Cannizzaro Herausgegeben von Lothar Meyer” y al inglés en *Alembic Club Reprints*, nº 18 (*Edimburgo*, 1911) con el título “*Sketch of a course of chemical philosophy*”. En el centenario de su publicación, fue traducido al español, comentado, reproducido y editado por *Román* bajo el título “Compendio de un curso de filosofía química” [17].

El Congreso de Karlsruhe. El caos se había apoderado de la Química en las postrimerías de la década de 1850. La situación era tan caótica, que bien se podía asemejar a la bíblica torre de Babel. Los químicos hablaban distintos lenguajes a la hora de nombrar los compuestos, formulaban el mismo compuesto de manera diversa y había graves enfrentamientos personales entre los representantes de las diferentes escuelas, a veces, incluso, entre los de la misma escuela. Además, la situación llegaba a alcanzar cotas inimaginables a la hora de expresar los compuestos. Baste recordar que *Kekulé* denunció en 1858 que el ácido acético se podía formular de 19 maneras diferentes, y lo que era peor, todo químico orgánico debería tener sus propias fórmulas para sentirse más importante. Por otro lado, el agua se podía representar con cuatro fórmulas diferentes: H_2O , HO , HO , y H_2O_2 [18]. Ante tan anárquica situación, el químico alemán *Kekulé*, catedrático de Química en la *Universidad de Gante*, consideró oportuno celebrar un congreso internacional de químicos dedicado a la definición de los conceptos químicos de átomo, molécula, equivalente, atomicidad, basicidad, las fórmulas químicas, y la uniformidad de la notación y nomenclatura químicas. En el otoño de 1859, hizo partícipes de su idea a los profesores *Carl Weltzien*, catedrático de Química en la *Escuela Politécnica de Karlsruhe*, y *Charles Adolphe Wurtz*, catedrático de Química Orgánica de la *Facultad de Medicina de París*. *Wurtz* fue un gran defensor de la teoría atómica, que junto con sus ideas sobre las estructuras de los compuestos químicos le enfrentaron a *Marcellin Berthelot* y *Etienne Henri Sainte-Claire Deville* (1817–1884).

A finales de marzo de 1860, se encontraban *Kekulé*, *Weltzien* y *Wurtz* en *París* para definir las etapas siguientes y poner en marcha el plan de trabajo. Se elaboró una comunicación que fue

enviada a los 45 químicos más importantes de Europa solicitando su participación y colaboración. Estos fueron: *Babo, Balard, Beketoff, Boussingault, Brodie, Bunsen, Bussy, Cahours, Cannizzaro, Deville, Dumas, Engelhardt, Erdmann, Fehling, Frankland, Frémy, Fritzsche, Hlasiwetz, Hofmann, Kekulé, Kopp, Liebig, Malaguti, Marignac, Mitscherlich, Odling, Pasteur, Payen, Pebal, Peligot, Pelouze, Piria, Regnault, Roscoe, Schoetter, Socoloff, Staedler, Stas, Strecker, Weltzien, Will, Williamson, Wöhler, Wurtz y Zinin* [19,20].

De los cuarenta y cinco químicos invitados, sólo asistieron los veinte siguientes: *Babo, Boussingault, Bunsen, Cannizzaro, Dumas, Erdmann, Fehling, Hlasiwetz, Kekulé, Kopp, Marignac, Odling, Pebal, Roscoe, Stas, Strecker, Weltzien, Will, Wurtz y Zinin*. Según de *Milt* [19], parece que los químicos estadounidenses no fueron invitados. De haberlo sido, algunos de ellos, a pesar de la premura de la convocatoria hubieran asistido, como *Oliver Wolcott Gibbs* (1822–1908) y *Thomas Sterry Hunt* (1826–1892), ya que estaban muy interesados en el desarrollo de la teoría unitaria y de la nueva teoría de los tipos de *Gerhardt*.

La carta fue escrita en alemán, francés e inglés. La versión alemana está fechada en *Karlsruhe* el 10 de julio de 1860, mientras que la versión inglesa está datada con fecha del 1 de julio. El verdadero objetivo del Congreso, tal como se exponía en la carta, era: “*La definición de importantes conceptos químicos, tales como los expresados por las palabras átomo, molécula, equivalente, atomicidad, basicidad, etc.; discusión de los equivalentes verdaderos de los cuerpos y sus fórmulas; la institución de una notación uniforme y una nomenclatura racional*”. Parecía que los temas a debatir durante el congreso estaban hechos a la medida de las ideas sostenidas por *Cannizzaro* en su publicación de 1858 [17].

El Primer Congreso Internacional de Químicos, brindó a *Cannizzaro* la oportunidad de defender y difundir sus ideas entre la comunidad de químicos asistentes. A este congreso acudieron 127 participantes de once países europeos y *México*.

Tabla 2. Relación de los 31 pesos atómicos establecidos por *Cannizzaro* (1858) comparados con los de la IUPAC (2007).

Elemento	<i>Cannizzaro</i> ^a	IUPAC ^b
Hidrógeno, H	1	1,0079
Oxígeno, O	16	15,999
Azufre, S	32	32,065
Fósforo, Ph	31	30,974
Cloro, Cl	35,5	35,453
Bromo, Br	80	79,904
Yodo, I	127	126,90

Nitrógeno, Az	14	14,007
Arsénico, As	75	74,922
Mercurio, Hg	200	200,59
Hierro, Fe	56	55,045
Carbono, C	12	12,011
Boro, Bo	11	10,811
Estaño, Sn	117,6	118,71
Titanio, Ti	56	47,867
Silicio, Si	28	28,086
Circonio, Zr	89	91,224
Aluminio, Al	27	26,982
Cromo, Cr	53	51,996
Cobre, Cu	63	63,546
Oro, Au	196,32	196,97
Cinc, Zn	66	65,409
Plomo, Pb	207	207,2
Manganeso, Mn	55	54,938
Platino, Pt	197	195,08
Calcio, Ca	40	40,078
Magnesio, Mg	24	24,305
Bario, Ba	137	137,33
Plata, Ag	108	107,87
Potasio, K	39	39,098
Sodio, Na	23	22,990

^a *Sunto di un corso di filosofia chimica (1858).*

^b *Pure Appl. Chem.* **2007**, *81*, 2131–2156.

Nota. Se han subrayado cuatro elementos que muestran diferencias en sus símbolos o en su peso atómico químicos en representación de los siguientes doce países –entre paréntesis se indica el número de participantes– (Tabla 3). Entre ellos hay que destacar la presencia de dos jóvenes y entusiastas químicos: el alemán *Julius Lothar Meyer* y el ruso *Dimitri Ivánovich Mendeléiev*, que tenían 30 y 26 años, respectivamente [12]. La edad media de 89 de los 127 participantes era de treinta y nueve años. El químico de mayor edad asistente al Congreso de *Karlsruhe* fue el químico británico *Charles Giles Bridle Daubeny* (1795–1867), que tenía 65 años, y los más jóvenes el alemán *Frederich Konrad Beilstein* (1838–1906) y el escocés *Alexander Crum Brown* (1838–1922) que tenían 22 años [19].

El congreso no logró sus objetivos de poner de acuerdo a los químicos participantes, pero sin duda alguna, el triunfador fue el italiano *Stanislao Cannizzaro* (Figura 4) quien destacó por su ardor, claridad de ideas y brillantez en su exposición. *Angelo Pavesi* (1830–1896), profesor de química en la

Universidad de Pavía y amigo de *Cannizzaro*, distribuyó al final del congreso entre los participantes algunas copias del artículo de *Cannizzaro* “*Sunto di un corso di filosofia chimica*” publicado en forma de fascículo en *Pisa* dos años antes. En la Figura 5, se presenta la portada del fascículo distribuido por *Pavesi* entre los asistentes al congreso.

En su artículo *Cannizzaro* exponía con total claridad las ideas que había defendido tan apasionadamente sobre la teoría atómica, basadas en la adopción de la hipótesis de *Avogadro* y *Ampère* y en aceptar el sistema de pesos atómicos de *Gerhardt* y corregidos por él mismo. Sus ideas fueron entendidas tras una detenida lectura por *Lothar Meyer* a su regreso a *Breslau* (en la actualidad, *Wroclaw*) quien lo manifestó de este modo: “*Yo también recibí un ejemplar que metí en mi bolsillo con el objeto de leerlo luego. Lo leí repetidas veces en el viaje de regreso y también en casa y me sorprendió la claridad del pequeño folleto y lo acertado de la solución que en él se daba a la mayor parte de las cuestiones discutidas. Sentí como si las escamas cayeran de mis ojos y las dudas desaparecieran y fueron reemplazadas por una sensación de pacífica seguridad*” [12].

Las actas oficiales del *Congreso de Karlsruhe* fueron publicadas por *Wurtz* [21,22]. El Congreso permitió el conocimiento mutuo de científicos que trabajaban en Química y a este hecho se refería *Meyer* de este modo: “*Para nosotros, que nos iniciábamos en la docencia, el encuentro con tantos respetados colegas representó un aliciente tan grande que hizo que aquellos tres días de Karlsruhe fueran para nosotros inolvidables*”.

Tabla 3. Países participantes (12) y representantes (127) en el *Congreso de Karlsruhe*.

Alemania (57)

Babo, Baeyer, Becker, Beilstein, Bibra, Boeckmann, Braun, Bunsen, Carius, Erdmann, Erlenmeyer, Fehling, Finck, Finckh, Frankland, Fresenius, Geiger, Gorup-Besanez, Grimm, Guckelberger, Gundelach, Hallwachs, Heeren, Heintz, Hirzel, Hoffmann, Kassermann, Keller, Klemm, Knop, Kopp, Kuhn, Landolt, Lehmann, Ludwig, Mendius, Meyer, Mühlhäuser, Muller, Naumann, Nessler, Neubauer, Petersen, Quinke, Scherer, Schiel, Schmidt, Schneyder, Schroeder, Schwarzenbach, Seubert, Strecker, Streng, Weltzien, Will, Winkler y Zwenger.

Austria (7)

Folwarezny, Hlasiwetz, Lang, Lieben, Pebal, Wertheim y Schneider.

Bélgica (3)

Donny, Kekulé y Stas.

España (1)

Torres Muñoz de Luna.

Francia (21)

Béchamp, Boussingault, Dumas, Friedel, Gautier, Grandeau, Jacquemin, Kestner, Le Canu, Nicklès, Oppermann, Persoz, Reichauer, Riche, Scheurer- Kestner, Schlagdenhaussen, Schneider, Schützenberger, Thénard, Verdét y Wurtz.

Gran Bretaña (17)

Abel, Anderson, Apjohn, Crum Brown, Daubeny, Duppa, Foster, Gladstone, Griffeth, Guthrie, Müller, Noad, Normandy, Odling, Roscoë, Schickendantz y Wanklyn.

Italia (2)

Cannizzaro y Pavesi.

México (1)

Posselt.

Portugal (1)

J. Augusto Simões-Carvalho.

Rusia (7)

Borodin, Mendeléiev, Lesinski, Natanson, Sawitsch, Schischkoff y Zinin,

Suecia (4)

Bahr, Berlin, Blomstrand y Gilbert.

Suiza (6)

Bischoff, Brunner, Marignac, Planta, Schiff y Wislicenus.

Nota. En aquella época *Polonia* formaba parte de *Rusia* y sus participantes aparecen conjuntamente.

Además de su contribución al desarrollo de la teoría atómica y molecular, el *Congreso de Karlsruhe* representa el primer congreso internacional de química para abordar grandes problemas por los químicos a escala supranacional. Fue el modelo a imitar en los años venideros para que los químicos pudieran resolver los problemas a nivel internacional cuando no podían solucionarse a nivel local. Nuevas dificultades obligaron a convocar nuevos congresos internacionales. Así, en 1889, surgió el grave problema de nombrar los compuestos químicos orgánicos por lo que fue preciso convocar en *París* el Congreso Internacional de Químicos aquel mismo año [20].

Se constituyó una comisión interina, que elevó un informe al Congreso Internacional de Químicos celebrado en *Ginebra* en 1892, que fue aprobado por cerca de cuarenta químicos que asistieron. Estos crearon la base del sistema de nomenclatura de química orgánica de *Ginebra*. El Congreso Internacional de Químicos continuó reuniéndose con regularidad hasta la I Guerra Mundial. Después de la guerra, era necesaria una organización internacional de químicos reconocida que hiciera posible el rápido progreso de la Química en las últimas décadas. En 1911, nace en *París* la Asociación Internacional de Sociedades Químicas, que daría paso en 1919 a la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC en sus siglas inglesas).

En 2000, *Román* [24] realizó una interesante revisión de los personajes que contribuyeron al desarrollo del *Congreso de Karlsruhe* con sus ideas o su participación. Recientemente, *Cid* [25] enfatizó

la importancia de este congreso con ocasión de la celebración del 140 aniversario de la publicación de la tabla periódica y el 90 aniversario de la creación de la IUPAC.

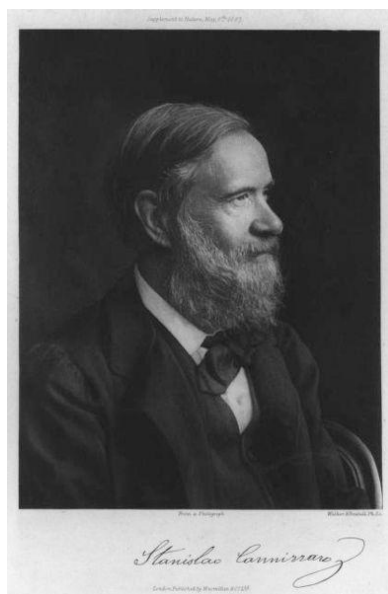


Figura 4. Stanislao Cannizzaro (1826–1910).

Cannizzaro y la tabla periódica. Mendeléiev también recibió un gran impacto durante el Congreso de Karlsruhe. El químico ruso se encontraba en Heidelberg becado por el gobierno de su país. La trascendencia del Congreso para el futuro desarrollo de la química, lo manifiesta el mismo Mendeléiev, quien hizo su resumen personal del Congreso fechado el 7 de septiembre



Figura 5. Portada del fascículo que contenía el “Sunto” distribuido por Pavesi entre los asistentes al congreso de 1860 en

Heidelberg y dirigido a su maestro y mentor Alexander Voskresenski (1809–1880) [16]: “La tercera sesión, 5 de septiembre, se dedicó al problema de los pesos atómicos, principalmente del carbono: si se acepta el nuevo peso de 12 o permanece el anterior de 6, hasta que sea empleado por casi todos. Tras un largo debate, en su última sesión, 5 de septiembre, J. Dumas hizo una brillante disertación proponiendo usar el nuevo peso atómico sólo en química orgánica y dejar el viejo para la inorgánica. Contra esto Cannizzaro habló apasionadamente, mostrando que todos deberían usar el mismo nuevo peso atómico. No hubo votación sobre esta cuestión, pero la gran mayoría se puso del lado de Cannizzaro”.

Mendeléiev en uno de sus escritos dejó un breve resumen sobre el impacto que produjo el Congreso de Karlsruhe en el mundo científico: “En 1860, químicos de todas partes del mundo se reunieron en Karlsruhe, si no para unificar sus concepciones acerca de los átomos, al menos para entenderse sobre su representación definitiva. Muchos de los que entonces asistieron al Congreso se acordarán probablemente de cómo fueron vanas las esperanzas de llegar a un acuerdo, y cómo entonces los partidarios de la teoría unitaria, tan brillantemente representada por Cannizzaro, ganaron terreno..... A pesar de que no se llegara a un acuerdo, los fines de la reunión fueron alcanzados, pues en pocos años se reconoció que las ideas de Cannizzaro eran las únicas que podían resistir a la crítica, y que representaban el átomo como la porción más pequeña de un elemento que entra en la molécula de sus compuestos” [16].

Desde que se dieron a conocer en 1860 los pesos atómicos determinados por Cannizzaro, muchos fueron los científicos que vieron en ellos la posibilidad de buscar una ordenación que permitiera su organización. Entre las más de cincuenta propuestas de clasificación periódica se pueden destacar las realizadas por Döbereiner, Newlands, de Chancourtois, Dumas, Strecker, Lenssen, Pettenhofer, Odling, Meyer y Mendeléiev. La clave estaba en los pesos atómicos propuestos por Cannizzaro en Karlsruhe. En menos de una década, todos ellos colaboraron para llegar a la propuesta de la tabla periódica moderna de los elementos químicos.

El químico alemán Meyer fue uno de los primeros en adoptar el sistema de Cannizzaro y divulgarlo entre los químicos alemanes al incorporarlo en su libro *Die modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Statik* (“Las modernas teorías de la química y su importancia para la química estática”) en 1864, contribuyendo de este modo a la difusión de las

nuevas ideas desarrolladas por *Cannizzaro* sobre la teoría atómica. El sistema propuesto por *Cannizzaro* presentaba para los químicos las siguientes ventajas: 1) un único peso atómico para cada elemento químico; 2) las fórmulas de las sustancias simples tienen sentido y se pueden determinar con exactitud al dividir su peso molecular por el peso atómico del elemento y se obtiene la atomicidad de la sustancia simple. De igual modo, los polímeros tienen fórmulas diferentes a las de los correspondientes monómeros; y 3) los pesos atómicos y sus fórmulas derivadas están de acuerdo con la ley de *Dulong y Petit* y el isomorfismo [12].

La influencia que ejerció el Congreso de *Karlsruhe* y las ideas de *Cannizzaro* en el desarrollo de la ley periódica fueron reconocidas por *Mendeléiev* cuando escribió: “*Considero como una etapa decisiva en el desarrollo de mi pensamiento sobre la ley periódica, el año 1860, el del Congreso de Químicos de Karlsruhe, en el que participé, y las ideas expresadas en este congreso por el químico italiano S. Cannizzaro. Le tengo por mi verdadero precursor, pues los pesos atómicos establecidos por él me han dado un punto de apoyo indispensable. He observado que los cambios de los pesos atómicos que él proponía aportaban una nueva armonía a las agrupaciones de Dumas, y desde entonces tuve la intuición de una posible periodicidad de las propiedades de los elementos siguiendo el orden creciente de los pesos atómicos. Me detuve, sin embargo, por la inexactitud de los pesos atómicos adoptados en la época; una sola cosa estaba clara: que había que trabajar en esa dirección*” [12]. *Mendeléiev* mantuvo una estrecha relación durante el congreso con *Dumas*, *Cannizzaro* y *Wurtz*, al que ya había conocido en *París* [16].

Meyer halló una interesante correlación entre los volúmenes de los elementos químicos y sus pesos atómicos en 1864, pero no la publicó hasta 1870, mientras que *Mendeléiev* utilizó su *ley periódica* de los pesos atómicos y la puso en limpio el día 1 de marzo de 1869, según el calendario gregoriano, y la mandó a la imprenta. Además, las conclusiones de *Meyer* eran más inciertas y no sabía como justificar las anomalías de su tabla: los elementos que no seguían el orden establecido, los que no encajaban en el grupo que aparentemente les correspondía y la presencia de huecos de difícil explicación. No supo rebatir las críticas entre los hechos y su clasificación periódica; *Mendeléiev* por el contrario, pasó al ataque, ya que estaba dispuesto a defender su *ley periódica* hasta sus últimas consecuencias [12].

En 1912, *Tilden* resumió su trabajo en la Conferencia en Memoria de *Cannizzaro* ante la *Chemical Society* y concluyó: “Hay, de hecho, una única ciencia química y un único conjunto de pesos atómicos”. Era la mejor forma de reconocer al químico italiano su aportación por haber conseguido que los verdaderos pesos atómicos permitieran a *Meyer* y *Mendeléiev* formular la ley periódica a finales de la década de los años 1860 [26].

Tanto Meyer como Mendeléiev utilizaron los pesos atómicos adoptados por Cannizzaro, lo que significaba trabajar con los datos más fiables de la época, a pesar de que alguno de ellos fuera inexacto – como era el caso del peso atómico del titanio– y tuviera que ser corregido con posterioridad. Hoy sabemos que en 1860, se conocían 59 elementos químicos. En cualquier caso, las ideas expresadas por Cannizzaro en su artículo *Sunto di un corso di filosofia chimica* y defendidas con tanto ardor, claridad y brillantez en *Karlsruhe*, supuso un gran progreso no sólo en la química moderna, sino en la ciencia, en general, al poner orden en el caos reinante y establecer con claridad los conceptos de átomo, molécula, atomicidad, basicidad, peso atómico y peso molecular, que permitieron avanzar en el desarrollo de la tabla periódica de los elementos químicos y las pautas que orientaron el futuro de esta ciencia en los años venideros [12,17].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Djerassi, R. Hoffmann, *Oxygen. A play in 2 acts*, Wiley-VCH, Weinheim, **2001**
- [2] C. Djerassi, R. Hoffmann, *Oxígeno. Obra en 2 actos*, Fondo Cultura Económica, México, **2003**.
- [3] G. A. Cook, C. M. Lauer, *Oxygen*. En C. A. Hampel *The Encyclopedia of the Chemical Elements*, Reinhold Book Corporation, New York, **1968**, pp. 499–512.
- [4] J. Emsley, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, Oxford University Press, Oxford, England, UK, **2001**, pp. 297–304.
- [5] P. H. Raven, R. F. Evert, S. E. Eichhorn, *Biology of Plants, 7th Edition*. W. H., Freeman and Company Publishers. New York, **2005**, pp. 115–127.
- [6] J. Priestley, *Phil. Trans.* **1775**, 65, 384–394.
- [7] *Oxygen*, Merriam-Webster Online Dictionary, <http://bit.ly/b6UB7j> visitada el 22/03/2010.
- [8] P. Cintas, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**, 43, 5888–5894
- [9] G. de Morveau, A. L. Lavoisier, C.-L. Bertholet, A. de Fourcroy, *Méthode de nomenclature chimique*, Chez Cuchet, París, **1787**.
- [10] J. R. Bertomeu Sánchez, A. García Belmar, *La revolución química. Entre la historia y la memoria*, Universidad de Valencia, Servicio de Publicaciones, Valencia, **2006**.
- [11] A.-L. Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*, Chez Cuchet, París, **1789**.
- [12] P. Román Polo, *Mendeléiev: el profeta del orden químico*, 2ª edición, Nivola libros y ediciones, S. L., Madrid, **2008**.
- [13] S. Cannizzaro, “Appunti autobiografici”. En *Scritti vari e lettere indite nel centenario della nascita*, Tipografia Leonardo da Vinci, Roma, **1926**, 3–10.
- [14] S. Cannizzaro, *Il Nuovo Cimento* **1858**, 7, 321–366.
- [15] S. Cannizzaro, “Lezione sulla teoria atomica fatta nella R. Università di Genova nell’anno 1858”, *Liguria Medica* **1858**, 5–6.
- [16] P. Román Polo, *An. Quím.* **2010**, 106(2), 137–144.

- [17] E. Cannizzaro, “Compendio de un curso de filosofía química”. Traducido, comentado y editado por P. Román Polo, Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, **2009**.
- [18] H. Hartley, *Notes Rec. R. Soc. London* **1966**, *21*, 56–63.]
- [19] C. de Milt, *J. Chem. Educ.* **1951**, *28*, 421–425.
- [20] A. J. Ihde, *J. Chem. Educ.* **1961**, *38*, 83–86.
- [21] R. Anschütz, “Karlsruhe Congress”, en *August Kekulé*, Verlag Chemie, Berlin, **1929**. 2 vols. publicado como Apéndice VIII (vol. 1, pp. 671–688).
- [22] C. Giunta, *Selected classic papers*. “Karlsruhe Congress, 1860, account written by Charles-Adolphe Wurtz. The first international chemistry congress debates the reality and terminology of atoms and equivalents” <http://bit.ly/9KrG9x>, visitada el 18/02/2010.
- [23] D. I. Mendeleev, “Carta a Voskresenski”, En *Dmitrii Ivanovich Mendeleev, his Life and Works*, M. I. Mladentsev, V. E. Tischenko, U.S.S.R. Academy of Sciences, **1938**, vol. 1, 250–258.
- [24] P. Román Polo, *An. Quím.* 2ª época, **2000**, *4*, 45–53.
- [25] R. Cid Manzano, *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien.* **2009**, *6(3)*, 396–407.
- [26] W. A. Tilden, *J. Chem. Soc.* **1912**, *101*, 1667–1693.