

## Cannizzaro: químico, revolucionario y precursor de la tabla periódica\*

Pascual Román Polo

**Resumen:** El 10 de mayo de 1910 fallecía en Roma uno de los químicos europeos más geniales. Había nacido 83 años antes en Palermo, cuando formaba parte del Reino de las Dos Sicilias. Comenzó los estudios de medicina para continuar con los de química. Cambió la bata de laboratorio por el fusil y se enroló en el ejército revolucionario que liberó a su patria del yugo de los Borbones. Con escasos medios y grandes dificultades nos legó la reacción que lleva su nombre y fue el precursor de la tabla periódica al determinar con gran precisión los pesos atómicos de los elementos químicos conocidos. Fue el gran triunfador del Congreso de Karlsruhe en 1860.

**Palabras clave:** Cannizzaro, químico, revolucionario, tabla periódica, Congreso de Karlsruhe.

**Abstract:** On May 10, 1910, died in Rome one of the most brilliant European chemist. He was born 83 years earlier in Palermo, when it was part of the Kingdom of the Two Sicilies. He began his medical studies to continue with chemistry. He changed the laboratory coat by a gun and joined the revolutionary army that liberated their country from the Bourbons' yoke. With limited resources and great difficulties bequeathed the reaction that bears his name and was the forerunner of the periodic table to determine very accurately the atomic weights of the known chemical elements. He was the big winner of the Karlsruhe Congress in 1860.

**Keywords:** Cannizzaro, chemist, revolutionary, periodic table, Karlsruhe Congress.

### Introducción

En 2010, se conmemoran dos grandes acontecimientos en la historia de la química: el centenario del fallecimiento de Estanislao Cannizzaro (Roma, 1910) y el sesquicentenario del Congreso de Karlsruhe (1860).

El progreso de la ciencia suele producirse en los grandes centros de investigación, universidades de prestigio, empresas y centros tecnológicos. Sin embargo, a veces, científicos aislados y con escasos medios son capaces de producir importantes avances en la ciencia. Este es el caso de Estanislao Cannizzaro en los primeros años de su actividad investigadora. Por otra parte, los eventos científicos son escenarios apropiados para el contraste de nuevas ideas, que pueden originar avances sin precedentes, aunque en el momento de producirse pasen desapercibidos para la mayoría de los científicos. Tal es el caso del Primer Congreso Internacional de Químicos celebrado en la ciudad alemana de Karlsruhe en 1860. En general, los jóvenes científicos son más perspicaces en captar las nuevas ideas que los más expertos y tras hacerlas suyas realizan con ellas avances trascendentes en el desarrollo de la ciencia. Julio Lothar Meyer (1830–1895) y Dimitri Ivánovich Mendeléiev (1834–1907) son dos claros ejemplos de jóvenes químicos que supieron aprovechar las ideas avanzadas por Cannizzaro en Karlsruhe en el desarrollo de la tabla periódica de los elementos químicos.

En el presente trabajo se ampliarán éstas y otras ideas, a la vez que se rendirá un sentido homenaje de gratitud al químico italiano Estanislao Cannizzaro por su impagable legado

científico con ocasión de conmemorarse el centenario de su muerte. Asimismo, se establecerá la relación y trascendencia que tuvo el trabajo precursor llevado a cabo en el campo de la filosofía química para el avance y desarrollo posterior de la tabla periódica en el ámbito de las cuestiones abordadas en el Congreso de Karlsruhe.

### Cannizzaro: químico y revolucionario

Cannizzaro nació en un periodo de la historia de Europa muy especial. El 18 de junio de 1815, Napoleón Bonaparte fue derrotado en la batalla de Waterloo, pero unos días antes, el 9 de junio, en el Congreso de Viena, se reestructura el espacio geográfico de Italia, atendiendo fundamentalmente a los intereses de las familias dinásticas y las grandes potencias europeas, sin tener en cuenta los intereses del pueblo italiano. Los "Cuatro Grandes" (*Big Four*): Gran Bretaña, Rusia Francia y Austria decidieron el reparto de Europa tras la derrota napoleónica. Este año comienza un periodo de la unificación de Italia conocido como *Il Risorgimento* (1815–1870). Al final de este periodo los reyes de la casa de Saboya, reinante en el Piamonte-Cerdeña, reunifican la península itálica, al anexionar reinos, estados, ducados, regiones y ciudades, como Lombardía, Venecia, el Reino de las Dos Sicilias, el Ducado de Módena y Regio, el Gran Ducado de Toscana, el Ducado de Parma y los Estados Pontificios al Reino del Piamonte-Cerdeña. Este proceso requirió cincuenta y cinco años de guerras, penalidades y privaciones, que transcurre en el contexto cultural del romanticismo y el desarrollo de la ideología nacionalista, que pretende la identificación de nación y estado en un sentido centripeto.

La península itálica estaba dividida y la mayor parte de sus tierras estaban vinculadas a las dinastías "no italianas" como los Habsburgo y los Borbones. En este excitante periodo de la historia de Italia, tuvieron un papel destacado la casa de Saboya y personajes como el conde de Cavour (1810–1861), primer ministro de la casa reinante en el Piamonte-Cerdeña, Garibaldi (1807–1882), y Mazzini (1805–1872), entre otros.

\* Este artículo es una ampliación de la conferencia presentada por el autor en la XXXII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química (Oviedo, 13–18 de septiembre de 2009). Programa de la XXXII Reunión Bienal de la RSEQ, OG7–6, pág. 332, <http://bit.ly/9bq6zf>.



P. Román Polo

Departamento de Química Inorgánica,  
Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco,  
Apartado 664, 48080 Bilbao

C-e: [pascual.roman@ehu.es](mailto:pascual.roman@ehu.es)

Recibido: 16/02/2010. Aceptado: 07/04/2010.

La intervención de países como Francia y Austria retardó el proceso de reunificación, que, finalmente, culminó con la incorporación de los Estados Pontificios en 1870.

En este ambiente vino al mundo Estanislao Cannizzaro en el seno de una familia acomodada. En el momento de su nacimiento, Sicilia estaba gobernada por la casa de Borbón, reyes de Nápoles. El 13 de julio de 1826 nació en Palermo el hijo menor de Mariano Cannizzaro y Ana di Benedetto. La familia estaba compuesta por seis hermanas y cuatro hermanos. Su padre era magistrado y llegó a ser Director de la Policía de Palermo y, desde 1827, Presidente de la Gran Corte de los Condes de Sicilia. La familia paterna era originaria de Mesina y de una acrisolada fidelidad a los Borbones. Su madre descendía de una familia de nobles sicilianos. En la familia materna había un importante número de políticos liberales. De los cinco hermanos de su madre, dos murieron en la insurrección de 1860, luchando con las tropas de Garibaldi y un tercero en Mentana unos años más tarde (1867). Cannizzaro se posicionó del lado de su familia materna y fue un antimonárquico convencido.<sup>[1-3]</sup>

Realizó los estudios primarios en su casa y los continuó en la Escuela Normal y el Colegio Carolina Calasancio (1836-1841). Su padre falleció el 21 de marzo de 1836 a los 62 años de edad, cuando Estanislao tenía 9 años. En 1837, mueren dos de sus hermanos a causa de la epidemia de cólera y él mismo es atacado gravemente. Sale del colegio y regresa de nuevo tras la epidemia al final del año. Cursa humanidades, álgebra, geometría elemental, filosofía, lengua italiana y latina, lengua francesa, historia griega y romana, pero no estudia ciencias naturales. Obtiene la medalla de oro del colegio internado Carolina Calasancio por sus conocimientos de literatura latina e italiana y su pericia en aritmética, destacando sobre los demás alumnos de su clase.

En 1841, finaliza sus estudios primarios e ingresa en la Universidad de Palermo a los 15 años para cursar Medicina en la única facultad científica. Además, se podían cursar estudios superiores de Derecho y Teología. Durante sus estudios de Medicina conoce al fisiólogo Miguel Foderá (1792-1848) con quien va a seguir tres cursos de Fisiología, que van a ser determinantes en su formación, y con quien mantuvo una estrecha amistad, pero no concluye la carrera de Medicina. En el curso 1842-1843, estudia Química filosófica y farmacéutica con el profesor Felipe Casoria (1790-1861), que ejercerá una gran influencia en su futuro. En septiembre de 1845, participa en el 7º Congreso de Científicos Italianos, que se celebra en Nápoles. Cannizzaro presenta tres comunicaciones relacionadas con sus trabajos de fisiología, que suscitan el interés del físico Macedonio Melloni (1798-1854), quien le da algunos consejos útiles y, al mostrar gran interés por la química, lo recomienda al más ilustre de los químicos italianos de la época: Rafael Piria (1815-1865) para iniciarse en esta rama de la ciencia. Por esta época, Piria estaba tratando de formar una escuela italiana de química en torno a su cátedra de la Universidad de Pisa. Éste intuye la capacidad del joven Cannizzaro al que ofrece un puesto de preparador extraordinario en su laboratorio. Trabaja en la Universidad de Pisa al lado de Piria durante los cursos 1845-1846 y 1846-1847. Aquí completa su formación química y conoce a los que serán sus grandes amigos: César Bertagnini (1827-1857) y Sebastián de Luca (1820-1880), con quienes comparte sus ideales científicos y patrióticos. En el verano de 1847, regresa a Palermo para pasar las vacaciones con su familia. Su ca-

rrera de químico sufre una interrupción repentina. Estalla la revolución contra los Borbones y no duda en alistarse con los revolucionarios. Gran parte de los intelectuales sicilianos se habían posicionado contra los Borbones, a quienes acusaban de desgobierno, no respetar la Constitución de 1812 y considerar a Sicilia como una mera provincia del Reino de Nápoles. Sirve como oficial de artillería en Mesina. El 12 de enero de 1848 estalla la revolución en Palermo. Ese mismo mes los Borbones son expulsados de Palermo. Se establece el Estado autónomo de Sicilia. Cannizzaro es elegido diputado por Francavilla en el Parlamento siciliano desde el 5 de mayo hasta el 7 de septiembre de 1848. Ese mismo año el gobierno revolucionario lo envía a Taormina para reclutar nuevas fuerzas revolucionarias contra el avance de las tropas borbónicas. Cuando en marzo de 1849, se rompe el armisticio, fracasa la rebelión contra los Borbones. Cannizzaro está en la lista de los rebeldes y los proscritos por lo que debe huir a Marsella en la fragata *L'Indipendente* el 23 de abril de 1849.<sup>[1-5]</sup>

Tras pasar algunas semanas en esta ciudad meridional, llega a París en el mes de noviembre donde permanecerá hasta octubre de 1851. Gracias a una carta de presentación de Piria, se pone en contacto con Augusto Cahours (1813-1891), quien lo introduce en el laboratorio de Miguel Eugenio Chevreul (1786-1889) en el *Jardin des Plantes*. Retoma sus estudios de química bajo la dirección de Estanislao Clöz (1817-1883), preparador de Chevreul, con quien realiza su primera contribución en investigación química sobre la cianamida. Asiste a las clases de Edmundo Frémy (1814-1894) y Enrique Víctor Regnault (1810-1878) en el Colegio de Francia. En París, conoce a Juan Bautista Andrés Dumas (1800-1884), Faustino Malaguti (1802-1878) -italiano refugiado en Francia desde 1831-, Eugenio Melchor Péligot (1811-1890) y Carlos Adolfo Wurtz (1817-1884) y otros químicos notables. En 1851, publica su primer trabajo científico en química con Clöz y es reclamado desde Italia para incorporarse como profesor de Física, Química y Mecánica en el Colegio Nacional de Alejandría (Piamonte) donde permanece desde el 13 de noviembre de 1851 hasta finales de 1855. Aquí va a disponer de un ayudante y un laboratorio para las demostraciones experimentales de las lecciones y continúa sus investigaciones iniciadas en Francia. Mantiene intensos contactos científicos y patrióticos con Piria y Bertagnini.<sup>[3-6]</sup>

En 1853, durante su estancia en Alejandría, con gran escasez de medios materiales y personales, descubre la reacción que lleva su nombre mientras estudiaba el comportamiento del benzaldehído. Cuando éste reacciona con hidróxido de potasio se produce una reacción de oxidación-reducción que genera ácido benzoico y una sustancia que identifica como el alcohol bencílico. Se trata de la primera caracterización de un alcohol de la serie aromática. En 1854, Rafael Piria y Carlos Matteucci (1811-1868) fundan la revista *Il Nuovo Cimento*, que va a tener una gran importancia en la trayectoria científica de Cannizzaro. Al año siguiente, en el primer número de la revista aparece publicado el artículo de Cannizzaro *Sull'alcole bencílico* ("Sobre el alcohol bencílico").<sup>[7]</sup> Ese mismo año, el ministro de Instrucción Pública, Juan Lanza (1810-1882) concede a Cannizzaro la cátedra de Química de la Universidad de Génova. Piria es nombrado catedrático de la Universidad de Turín y Bertagnini de la de Pisa. Este movimiento "a tres bandas" acordado entre Piria y el ministro Lanza, se realizó a pesar de la oposición de

los conservadores y, de modo especial, de Ascanio Sobrero (1812–1888), químico italiano descubridor de la nitroglicerina. Esta situación va a hacer que Piria presione a sus discípulos en la obtención de resultados. Por otro lado, Cannizzaro se siente obligado por la comunidad científica italiana, que espera grandes logros de él.

## Un artículo seminal

Cannizzaro llega a la Universidad de Génova en el mes de octubre de 1855. En Génova no tiene ni laboratorios ni equipos para continuar su labor investigadora. Aquí permanece hasta finales de 1861. El propio Cannizzaro describe el laboratorio de química con estas palabras "*una cameraccia oscura e umida e neppure l'occorrente per le più elementari dimostrazioni sperimentali delle lezioni*" ("un cuarto oscuro y húmedo sin los mínimos medios para desarrollar las más elementales demostraciones experimentales de las lecciones").<sup>[1]</sup> En 1856, consigue un nuevo local, aunque su producción científica va a ser escasa hasta finales de 1857. El 24 de septiembre de este año se casa con la inglesa Enriqueta Whithers (1827–1892), hija de un pastor protestante y con la oposición de su familia, contraria a un matrimonio con una extranjera de confesión no católica. Otro hecho trascendente en la vida de Cannizzaro fue la muerte de su gran amigo Bertagnini, quien había sido su tutor en el laboratorio de Piria. Por el contrario, uno de los años más importantes en la vida de Estanislao es el de 1858, tanto desde el punto de vista personal y familiar como científico. El 18 de junio nace su primer hijo, Mariano. Es el 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*.<sup>[8]</sup> Este revolucionario artículo, fechado el 12 de marzo, aparece publicado en el número de mayo en forma de carta dirigida a su amigo Sebastián de Luca, editor de la revista y profesor de Química en Pisa, tras la prematura muerte de Bertagnini acaecida el 23 de diciembre de 1857.

En la Figura 1, se muestra la primera página del artículo. En él 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 trascendencia 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, sentaba sus bases apoyándose en la teoría atómica y despejaba 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.<sup>[9]</sup>

El comienzo del artículo deja perfectamente claras las ideas de su autor sobre la teoría atómica. "Creo que el progreso de

LETTERA DEL PROF. STANISLAO CANNIZZARO AL PROF. S. DE LUCA; SUNTO DI UN CORSO DI FILOSOFIA CHIMICA, FATTO NELLA R. UNIVERSITA' DI GENOVA.

Io credo che i progressi della scienza, fatti in questi ultimi anni, abbiano confermato l'ipotesi di Avogadro, di Ampère e di Dumas sulla simile costituzione dei corpi allo stato aeriforme, cioè che volumi eguali di essi, sieno semplici, sieno composti, contengono l'egual numero di molecole; non però l'egual numero di atomi, potendo le molecole dei varii corpi o quelle dello stesso corpo nei varii suoi stati, contenere un vario numero di atomi, sia della medesima natura, sia di natura diversa.

Per condurre i miei allievi al medesimo convincimento che io ho, gli ho voluto porre sulla medesima strada per la quale io ci son giunto, cioè per l'esame storico delle teorie chimiche.

Incominciò dunque nella prima lezione a dimostrare come dall'esame delle proprietà fisiche dei corpi aeriformi e dalla legge di Gay-Lussac, sui rapporti di volume tra i componenti ed i composti, scaturì quasi spontanea l'ipotesi sopra ricordata, che fu la prima volta annunziata d'Avogadro e poco dopo d'Ampère. Analizzando il pensiero di questi due fisici, dimostrai che nulla conteneva che fosse in contraddizione coi fatti noti, purchè si distinguessero, come essi fecero, le molecole dagli atomi; purchè non si scambiassero i criterii coi quali si comparano il numero ed i pesi delle prime, coi criterii che servono a dedurre i pesi dei secondi; purchè infine non si avesse fitto nella mente il pregiudizio che mentre le molecole dei corpi composti possono esser fatte da vario numero di atomi, quelle dei varii corpi semplici dovessero contenere o tutte un atomo, o per lo meno un egual numero di essi.

Nella seconda lezione mi propongo indagare le ragioni  
Vol. VII. 21

Figura 1. Primera página del artículo *Sunto di un corso di filosofia chimica*.

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".

Para calcular los pesos atómicos y relacionarlos con los pesos moleculares hace uso 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 las proporciones en las que se pueden combinar, dan siempre lugar a compuestos cuyos elementos, medidos en volumen, son siempre múltiplos uno de otro". También utiliza la hipótesis de Avogadro (1811) y de Ampère (1814), formuladas independientemente y que se enuncia de este modo: "En volúmenes iguales de todos los gases, medidos en las mismas condiciones de presión y temperatura, existe igual número de moléculas". Para determinar los pesos moleculares de los líquidos utiliza el 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)".

En la Figura 2, se muestra un boceto del químico italiano en 1858 realizado por Demetrio Salazzaro.



Figura 2. Boceto de Stanislao Cannizzaro en 1858 realizado por Demetrio Salazzaro.

Cannizzaro construye una tabla con 33 sustancias, algunas de las cuales son alótropas. Es la primera gran relación con pesos moleculares y atómicos parecidos a los que hoy conocemos. Establece la siguiente ley 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 Figura 3, se recogen algunos pesos moleculares de compuestos de carbono referidos al átomo de hidrógeno, los pesos atómicos y sus fórmulas. Obsérvese que el peso de las moléculas lo calcula a partir de los pesos atómicos del hidrógeno = 1; carbono = 12; oxígeno = 16 y azufre = 32. Hoy en día, puede parecer que estos valores son evidentes, sin embargo, en aquellos momentos los químicos de todo el mundo se hallaban divididos y cada escuela tomaba como peso atómico del carbono 6 ó 12. No fue hasta bien entrada la década de los años 1860 que los químicos adoptaron que el peso atómico del carbono fuera igual a 12.

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, 1891) 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".<sup>[10]</sup>

### Cannizzaro: el triunfador del Congreso de Karlsruhe

Otro año singular en la vida de Cannizzaro fue 1860. El 11 de mayo, Garibaldi, al frente de los *Mille*, se dirige a Palermo para conquistar Sicilia y Nápoles. En la primera expedición no se hallaba Cannizzaro. La causa era que el 20 de ese mes nace Ana, su segunda hija. Días más tarde, embarca en la segunda expedición (17 de junio) dirigida por el general Santiago Medici (1817–1882). En Palermo se encuentra con su madre y hermanas tras once años de separación a causa del

exilio, pero no participa en los combates. Ese mismo año su mentor y maestro Rafael Piria es nombrado ministro de Instrucción Pública del gobierno provisional de Nápoles. El 26 de octubre Garibaldi reconoce a Víctor Manuel II (1820–1878) como rey de Italia. Casi se ha logrado la reunificación del país, a excepción de los Estados Pontificios.

NOMI DEI COMPOSTI DI CARBONIO	PESI	PESI	FORMULE, facendo H=1;C=12 O=16;S=32
	delle molecole riferiti all'atomo d'idrogeno	dei componenti le molecole riferiti al peso dell'atomo d'idrogeno preso per unità.	
Ossido di carbonio	28	12 Carbonio 16 Ossigeno	CO
Acido carbonico . .	44	12 " 32 "	CO <sup>2</sup>
Solfuro di carbonio	76	12 " 64 Solfo	CS <sup>2</sup>
Gas delle paludi . .	16	12 " 4 Idrogeno	CH <sup>4</sup>
Eterene . . . . .	28	24 " 4 "	C <sup>2</sup> H <sup>4</sup>
Propilene . . . . .	42	36 " 6 "	C <sup>3</sup> H <sup>6</sup>
Etere . . . . .	74	48 " 10 Idrog. 16 Ossig.	C <sup>2</sup> H <sup>10</sup> O
ec. ec.		ec. ec.	

Figura 3. Pesos atómicos de compuestos de carbono. Cannizzaro adopta los pesos atómicos siguientes: H = 1; C = 12; O = 16; S = 32.

El otro gran acontecimiento fue el Primer Congreso Internacional de Químicos, también conocido con el nombre de Congreso de Karlsruhe que tuvo lugar entre el 3 y el 5 de septiembre de 1860 en la ciudad alemana de ese nombre y del que se conmemora en 2010 el sesquicentenario. Pero veamos cual era la situación de la química en la primera mitad del siglo XIX y las causas que llevaron a su convocatoria.

En los albores del siglo XIX, se habían establecido la *ley de la composición constante* (Dalton, 1803), la *ley de las proporciones múltiples* (Dalton, 1804), la *ley de las proporciones definidas* (Proust, 1808) y el propio John Dalton (1766–1844) había enunciado la teoría atómica de la materia en la primera parte de su libro *A New System of Chemical Philosophy* (Manchester, 1808). Más tarde, se desarrollarían otras leyes, hipótesis y principios que conducirían a la elaboración de otras teorías. Tras el descubrimiento de la primera pila eléctrica en 1800 por Alejandro Volta (1745–1827) y el enunciado de la teoría atómica, los avances en el conocimiento de nuevos elementos y compuestos químicos junto con el sistema de formulación química propuesto en los años 1813–1814 por Jöns Jacob Berzelius (1779–1848) 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. Sin embargo, en las décadas de los años cuarenta y cincuenta surgen dos conflictos de difícil solución: el protagonizado por los atomistas contra los equivalentistas y el mantenido por los seguidores de la teoría dualista contra los defensores de la teoría unitaria.

La teoría dualista o electroquímica de la combinación química fue establecida por Berzelius y se basaba en la unión de dos fuerzas eléctricas opuestas. Suponía que cada átomo, como si fuese un imán, poseía una carga positiva y una negativa, de ahí el carácter dual, salvo el oxígeno que sólo poseía carga negativa. Cuando la carga eléctrica del polo positivo superaba a la del negativo, el compuesto era electropositivo; en caso contrario, era electronegativo. La teoría unitaria fue formulada por Dumas para los compuestos orgánicos y consideraba la molécula como un todo, en el que existen partes que pueden ser sustituidas tanto por otras partes positivas

como negativas. Este hallazgo se oponía a la teoría dualista de Berzelius, ya que suponía que un elemento electropositivo como el hidrógeno, era equivalente al cloro o al bromo, inequívocamente electronegativos. Por ello, Dumas fue duramente reprendido por Berzelius. Sin embargo, Laurent y Gerhardt, discípulos de Dumas, continuaron desarrollando la teoría unitaria, lo que les llevó a un grave enfrentamiento con Berzelius y Dumas.

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 que 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, añadieron un nuevo problema en la química con su teoría unitaria.

Unos pocos científicos, como Marco Antonio Agustín Gaudin (1804–1880), un contable de la Oficina de Longitudes de París, se percató en 1833 del verdadero significado de la hipótesis de Avogadro, pero Gaudin, que estaba fuera de los círculos académicos e investigadores 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 Haüy para el tratamiento de la estructura 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.<sup>[6]</sup>

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 Dumas y Marcelino Pedro Eugenio Berthelot (1827–1907). En el lado de los atomistas se hallaban los químicos franceses Augusto Laurent (1807–1853) y Carlos Federico 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 financieras y administrativas en Estrasburgo.

Además, la situación se agravaba a la hora de expresar los compuestos. Baste recordar que Federico Augusto Kekulé (1829–1896) 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  $H_2O_2$ .<sup>[11]</sup>

Ante tan caótica situación, a finales de la década de 1850,

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 marzo de 1859, hizo partícipes de su idea a los profesores Carlos Weltzien (1813–1870), catedrático de Química en la Escuela Politécnica de Karlsruhe, y Adolfo Wurtz (1818–1884), catedrático de Química Orgánica de la Facultad de Medicina de París. A finales de marzo del año siguiente, se encontraban los tres 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 colaboración. La carta, fechada en Karlsruhe a 10 de julio de 1860, fue escrita en alemán, francés e inglés. 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.<sup>[12,13]</sup>

El Primer Congreso Internacional de Químicos, brindó a Cannizzaro la oportunidad de defender y difundir sus ideas entre la comunidad de químicos asistentes. De los cuarenta y cinco químicos invitados, que recibieron la citación para su divulgación entre sus colegas, tan solo asistieron veinte. A este congreso acudieron 127 participantes de once países europeos y México. Concurrieron químicos en representación de los siguientes doce países –entre paréntesis se indica el número de participantes–: Alemania (57), Francia (21), Gran Bretaña (18), Austria (7), Rusia (7), Suiza (6), Bélgica (3), Suecia (3), Italia (2), España (1), México (1) y Portugal (1). En aquella época Polonia formaba parte de Rusia y aparecen conjuntamente. Entre los participantes hay que destacar la presencia de dos jóvenes y entusiastas químicos: el alemán Julio Lothar Meyer y el ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev, que tenían 30 y 26 años, respectivamente.<sup>[12]</sup>

El congreso no logró sus objetivos de poner de acuerdo a los químicos participantes, pero sin duda alguna, el triunfador fue el italiano Estanislao Cannizzaro quien destacó por su ardor, claridad de ideas y brillantez en su exposición. Ángel 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 4, 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 pesar de estar escritas en italiano– a su regreso a Breslau 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".<sup>[12]</sup>



Figura 4. Portada del fascículo que contenía el "Sunto" distribuido por Pavesi entre los asistentes al congreso.

Las actas oficiales del Congreso de Karlsruhe fueron publicadas por Wurtz.<sup>[14,15]</sup> 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".

### Cannizzaro precursor de la tabla periódica

No fue menor la impresión que experimentó Mendeléiev durante el Congreso de Karlsruhe. El químico ruso se encontraba en Heidelberg becado por el gobierno ruso. El impacto que recibió Mendeléiev durante el Congreso de Karlsruhe, por la profundidad y la importancia de las cuestiones debatidas y la trascendencia del Congreso para el futuro desarrollo de la química, lo manifiesta el mismo Mendeléiev, quien hizo su resumen personal de lo visto y oído en el Congreso fechado el 7 de septiembre de 1860 en Heidelberg y dirigido a su maestro y mentor Alejandro Voskresenski:<sup>[16]</sup> "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, 6 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 hermoso 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".

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.<sup>[17]</sup>

El gran desarrollo de la química analítica, el avance en el conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los elementos y sus compuestos en los primeros años del siglo XIX, y la rápida expansión de la química en este periodo hicieron necesaria una clasificación del conocimiento acumulado. Cuando a principios del siglo XIX se tuvo un número importante de elementos químicos, comenzaron los primeros intentos por encontrar una clasificación razonable. Antes que Mendeléiev, al que se le considera el padre de la tabla periódica moderna, otros científicos trataron de ordenarlos. Desde finales del siglo XVIII hasta mediados del XIX, hay más de cincuenta tentativas de sistematización de los elementos químicos. Unos autores tomaban como base los pesos atómicos; algunos, los equivalentes; y otros, las valencias. Únicamente Mendeléiev tuvo en cuenta, a la vez, los pesos atómicos corregidos por Cannizzaro y las propiedades físicas y químicas de los elementos. 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".<sup>[17]</sup>

Meyer descubrió una estrecha correlación entre los elementos químicos y los 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. El 6 de marzo Nicolás Alejandro Menshutkin (1842–1907), secretario de la recién creada Sociedad Química Rusa, leyó el informe de Mendeléiev "Sobre las relaciones de las propiedades de los elementos y sus pesos atómicos" que se publicó en el *Diario de la Sociedad Química Rusa* (1869, año 1º, vol. II y III, pp 60–77). 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.

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 y tuviera que ser corregido con posterioridad. Hoy sabemos que en 1860, se conocían 59 elementos químicos. Cuando Mendeléiev formuló su primera versión de la tabla periódica en 1869 utilizó 63 elementos, algunos de ellos no eran elementos puros sino mezclas, otros eran poco fiables y los acompaña de un interrogante y unos pocos tenían valores que hubo que corregir más tarde. En cualquier caso, el artículo de Cannizzaro *Compendio de un curso de filosofía química* supuso un gran progreso no sólo en la química moderna, sino en la ciencia, en general, al ordenar 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.<sup>[10]</sup>

Cuando Tilden en 1912 resumió su trabajo en la Conferencia en Memoria de Cannizzaro ante la *Chemical Society* 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.<sup>[4]</sup>

## Cannizzaro en Palermo (1862–1871) y Roma (1872–1910)

A su regreso de Karlsruhe, Cannizzaro continuó en la Universidad de Génova. Después de rechazar las cátedras de Química Orgánica de las Universidades de Pisa, Florencia y Nápoles, aceptó la de la Universidad de Palermo para trabajar en favor del renacimiento cultural y político de Sicilia. En octubre de 1861, le fue concedida la cátedra de Química Orgánica e Inorgánica de la Universidad de Palermo a donde se trasladó con su esposa e hijos a comienzos de 1862, donde permanecería hasta finales de 1871. Durante estos años se ocupó de construir un gran laboratorio docente y de investigación convenientemente equipado; la edición de revistas científicas dedicadas a la publicación de artículos sobre química; y la realización de colaboraciones entre químicos, para el intercambio de experiencias y conocimientos.

En Palermo, encontró el laboratorio químico como lo había dejado cuando era estudiante en el periodo 1841–1845. Presionó a las autoridades competentes para dotarlo y reorganizarlo adecuadamente. Hasta 1863 no pudo disfrutar de un laboratorio y una escuela de prácticas de análisis que instaló en el piso más alto de la universidad. Gracias a sus excepcionales dotes de enseñante, Cannizzaro hizo de Palermo un centro de estudios químicos en Italia, que atrajo a jóvenes estudiantes extranjeros, entre los cuales hay que mencionar a: Alfredo José Nacquet (1834–1916) de Francia, Adolfo Lieben (1836–1914) de Austria, Guillermo Körner (1839–1925) de Alemania, y Manuel Paternò di Sessa (1847–1935) de Italia.<sup>[5]</sup>

El 25 de agosto de 1863 nace su hija Franca. El 18 de julio 1865 fallece Rafael Piria, al que se considera el padre de los químicos italianos. En octubre de ese año es nombrado Rector de la Universidad de Palermo, cargo del que dimite en 1868. El 20 de septiembre de 1870 se incorpora Roma al Reino de Italia, concluyendo su reunificación. Junto con cinco químicos italianos y el alemán Hugo Schiff (1834–1915) funda en el laboratorio de este último del Museo de Historia Natural de Florencia el 29 de septiembre la revista *Gazzetta Chimica Italiana*, de la que será su primer Director.

En 1871, obtiene la cátedra de Química de la Universidad de Roma, en la que permanece hasta su muerte. Inicia la construcción del Instituto de Química en Roma en el huerto del viejo convento de San Lorenzo de Panisperna. El 15 de noviembre es nombrado senador por sus méritos distinguidos a la patria (categoría XX), pero no por sus méritos científicos (categoría XVIII) lo que le supuso una gran contrariedad, ya que hubiera preferido que se le reconocieran los últimos sobre los primeros. Publica en *Gazzetta Chimica Italiana* un artículo dividido en seis partes sobre las aplicaciones de la teoría atómica en la química y la constitución de los compuestos.<sup>[2,3]</sup> La *Chemical Society* de Londres le distingue con la Medalla Faraday en 1872. Ese mismo año publica en la revista *Journal of Chemical Education* el artículo "Considerations on some Points of the Theoretic Teaching of Chemistry" ("Consideraciones sobre algunos puntos de la enseñanza teórica de la química") y en la *Gazzetta Chimica Italiana* "Sul limiti e sulla forma dell'insegnamento teorico Della chimica" ("Sobre los límites y sobre la forma de la enseñanza teórica de la química"). En el plano político, participa activamente en el Senado con sus propuestas por una mayor libertad para los estudiantes y presenta un informe sobre la ley del monopolio del tabaco en Francia. El 2 de junio de 1882 fallece en Caprera (Italia)

José Garibaldi. En 1888, alcanza junto con el senador Francisco Crispi, relator de la ley, un gran éxito político en el Senado al conseguir una profunda reforma del sistema sanitario. En 1891, la *Royal Society* de Londres lo distingue con la Medalla Copley por sus méritos científicos en el desarrollo de la teoría atómica química. La Academia de Ciencias de Francia le nombra socio extranjero en 1894. Dos años más tarde publica "Scritti intorno alla teoria molecolare ed atomica notazione chimica" ("Escritos en torno a la teoría molecular y notación química atómica"). En 1903, es elegido presidente de la Academia Nacional de la Ciencia, cargo que ostentará hasta su muerte. Fallece en Roma el 10 de mayo de 1910.

En el centenario de su nacimiento (1926), los restos de Cannizzaro fueron inhumados junto con los de su esposa en el claustro de la iglesia de Santo Domingo de Palermo donde se halla el Panteón de los hombres ilustres de Sicilia (Figura 5). En el monumento funerario dedicado a Cannizzaro, debajo de su busto en mármol blanco aparece su nombre "Stanislao Cannizzaro", y más abajo una hermosa joven llora desconsolada y en el pedestal se puede leer: "I chimici italiani / con devozione filiale / La città di Palermo / con orgoglio de madre / Nel centenario della nascita / MCMXXVI" ("Los químicos italianos / con devoción filial / La ciudad de Palermo / con orgullo de madre. En el centenario del nacimiento / MCMXXVI").



Figura 5. Mausoleo de Estanislao Cannizzaro en el Panteón de los hombres ilustres de Sicilia en Palermo.

### Agradecimientos

El autor quiere agradecer las atenciones recibidas por los profesores Francesco Giacalone y Roberto Zingales, durante su visita a la Universidad de Palermo en julio de 2009. Asimismo, agradece a Fr. Marcello di Tora O.P. del convento

de Santo Domingo de Palermo las facilidades ofrecidas para visitar la tumba y mausoleo de Estanislao Cannizzaro; y a la profesora Virginia Muto Foresi de la Universidad del País Vasco por la ayuda prestada en la revisión del libro "Compendio de un curso de filosofía química".

### Bibliografía

- [1] S. Cannizzaro, *Appunti autobiografici. En Scritti vari e lettere indite nel centenario della nascita*, Tipografia Leonardo da Vinci, Roma, **1926**, 3–10.
- [2] G. Paoloni, G. Tosti Croce, *Cannizzaro, la vita*. <http://bit.ly/db2TTR> y <http://bit.ly/atimZD>, visitadas el 12/02/2010.
- [3] R. Zingales, CNS – *La Chimica nella Scuola* **2008**, XXX(1), 44–48.
- [4] W. A. Tilden, *J. Chem. Soc.* **1912**, 101, 1667–1693.
- [5] R. Zingales, *Chem. Eur. J.* **2009**, 15, 7760–7773.
- [6] a) H. M. Leicester, "Stanislao Cannizzaro", en C. C. Gillespie (editor), *Dictionary of Scientific Biography*, Charles Scribner's Sons, Nueva York, **1981**, vol. 3, 45–49. b) H. M. Leicester, "Stanislao Cannizzaro", *Complete Dictionary of Scientific Biography*, Charles Scribner's Sons, **2008**, <http://bit.ly/bwKZQ0>, visitada el 12/02/2010.
- [7] S. Cannizzaro, *Il Nuovo Cimento* **1855**, 1, 84–99.
- [8] S. Cannizzaro, *Il Nuovo Cimento* **1858**, 7, 321–366.
- [9] S. Cannizzaro, "Lezione sulla teoria atomica fatta nella R. Università di Genova nell'anno 1858", *Liguria Medica* **1858**, 5–6.
- [10] E. Cannizzaro, "Compendio de un curso de filosofía química". Traducido, comentado y editado por P. Román, *Prensas Universitarias de Zaragoza*, Zaragoza, **2009**.
- [11] H. Hartley, *Notes Rec. R. Soc. London* **1966**, 21, 56–63.
- [12] C. de Milt, *J. Chem. Educ.* **1951**, 28, 421–425.
- [13] A. J. Ihde, *J. Chem. Educ.* **1961**, 38, 83–86.
- [14] R. Anschütz, "Karlsruhe Congress", en *August Kekulé*, Verlag Chemie, Berlin, **1929**. 2 vols. publicado como Apéndice VIII (vol. 1, pp. 671–688).
- [15] 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 12/02/2010.
- [16] 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.
- [17] P. Román, *Mendeléiev. El profeta del orden químico*, 2.<sup>a</sup> edición, Nivola libro y ediciones, Tres Cantos (Madrid), **2008**.



**XXVIII Reunión**  
del Grupo Especializado  
de Química Organometálica

7-10 de septiembre de 2010  
<http://www.uhu.es/geqohuelva/>

