

La evolución histórica de la química y su utilidad didáctica

Luis Moreno Martínez

Resumen: La enseñanza de los conceptos, principios y leyes fundamentales de la química desde una perspectiva histórica constituye una potente herramienta para el aprendizaje significativo de dicha ciencia en las aulas de nuestros centros escolares. En este artículo llevaremos a cabo una revisión del papel de la historia en la enseñanza de la química, lo que nos obligará a considerar la evolución de la química desde los comienzos de la humanidad.

Palabras clave: Historia de la química, historia de la ciencia, didáctica de la química, libros de texto.

Abstract: The teaching of the concepts, principles and laws of chemistry from a historical perspective is a powerful tool for learning chemistry at Secondary Education. In this paper, I will review the role of history in the teaching of chemistry. Therefore, I will consider the evolution of chemistry from the beginning of our time.

Keywords: History of chemistry, history of science, chemical education, textbooks.

INTRODUCCIÓN

El estado actual de las ciencias, así como su estructura y modalidades están condicionados por su desarrollo histórico [...]. La química no constituye una excepción a esta regla. De ahí que cuando se desea profundizar en el conocimiento del maravilloso mundo de los conceptos y leyes de esta ciencia, uno de los mejores métodos es el histórico, pues así aprendemos cómo se han desarrollado y formado esas leyes y conceptos que nos han legado los grandes maestros y los trabajadores humildes, a veces anónimos, con sus tanteos y rectificaciones, sus errores y sus aciertos. Sólo así llegaremos a captar la esencia íntima de los conceptos y leyes que se manejan y aplican todos los días.

Este fragmento del prólogo de la obra de R. Lespieau,^[1] *La molécule chimique*, nos permite introducir algunas de las preguntas clave a la hora de analizar la importancia y la utilidad de la historia de la química como herramienta en su enseñanza: ¿Ha de estar presente la historia en la enseñanza de la química? ¿cómo está presente la historia de la química en los libros de texto? ¿quiénes han sido los grandes maestros y trabajadores humildes de la historia

de la química? A estas y otras preguntas trataremos de responder en el presente artículo centrado en la enseñanza de la química en los niveles de Educación Secundaria Obligatoria (ESO)^[2] y Bachillerato.^[3]

LA HISTORIA EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

Desde tercer curso de ESO hasta segundo curso de Bachillerato, los contenidos de las distintas materias de química (Física y Química en tercer y cuarto curso de ESO y primer curso de Bachillerato y Química en segundo curso de Bachillerato) hacen alusión directa a la evolución histórica de algunos de los conceptos de la química al menos en cuatro áreas:

- Estructura atómica: evolución histórica de los modelos atómicos desde J. J. Thomson al modelo mecano-cuántico actual.
- Sistema Periódico: evolución histórica de los distintos intentos de clasificación de los elementos químicos.
- Reactividad química: leyes fundamentales de las combinaciones química o la evolución histórica de las teorías ácido-base.
- Química del carbono: fin de la teoría del vitalismo y los comienzos de la química orgánica.

En particular, para la materia de Física y Química en primer curso de Bachillerato en la Comunidad de Madrid^[4] se establece que el alumno debe conocer y comprender los conceptos, leyes, teorías y modelos más importantes de la física y la química, así como las estrategias empleadas



Facultad de Formación de Profesorado y Educación
Universidad Autónoma
28049 Madrid
C-e: luis.morenomartinez@predoc.uam.es

L. Moreno Martínez Recibido: 30/08/2015. Aceptado: 30/09/2015.

das en su construcción a fin de lograr una visión global del desarrollo de estas ramas de la ciencia y su papel social. Sin embargo, a la luz del currículo oficial, vemos que no todos los contenidos de la materia en el área de Química incluyen aspectos históricos. La presencia de algunos episodios de la historia de la química en la enseñanza preuniversitaria y la ausencia de otros da lugar a una contextualización incompleta de esta ciencia al no existir nexos de conexión entre ellos. Esto, unido a las imprecisiones históricas en las que se suelen enmarcar algunos conceptos de la química escolar, puede dar lugar a una visión distorsionada de su evolución histórica. Esta visión descontextualizada de la química generará en el alumno una visión de la ciencia como un conjunto de conocimientos absoluto, cerrado y estático al mismo tiempo que sitúa a esta ciencia natural lejos de la actividad humana y de su evolución, deshumanizándola e incluso alejándola de lo que la sociedad considera como cultura.^[5]

La contextualización histórica de la química contribuye a una percepción de esta ciencia más allá de formalismos matemáticos, mejorando la imagen que nuestros estudiantes tienen de ella, constituyendo un importante elemento motivador para su estudio. La humanización de la química, en tanto que el alumno es capaz de apreciar su evolución y el papel de sus protagonistas, acercará al alumno a esta ciencia, algo especialmente significativo en Educación Secundaria. Este elemento motivador es fundamental no sólo para potenciar que el aprendizaje suceda, sino también como elemento de supervivencia de la química del siglo XXI como disciplina científica.^[6] Las vocaciones científicas pueden nacer o morir en las aulas de nuestros colegios e institutos y una alfabetización química correctamente contextualizada, si bien no es el único factor (pues la enseñanza de las ciencias presenta actualmente otros muchos retos que superar, constituyendo un reto fascinante para docentes e investigadores en educación), ayudará a reforzar la primera opción.^[7]

Al mismo tiempo, la inclusión de la perspectiva histórica en la enseñanza de la química contribuye a erradicar la visión del saber parcelado, dividido en las distintas áreas en las que tradicionalmente se ha dividido el conocimiento, en una época en la que la interdisciplinariedad se erige como un aspecto fundamental para el desempeño de cualquier actividad académica y profesional. Tal y como se recoge en el prefacio de la obra *Por la alquimia a la química*, de John Read (1884-1963), químico e historiador de la Ciencia:

Probablemente serán más los ojos científicos que los humanísticos los que harán ver el mundo a nuestros nietos, pero no lo comprenderán –y en ello están hoy de acuerdo hasta los mismos científicos–, a menos que conozcan algo del prolongado esfuerzo histórico que ha dado lugar a su aspecto actual y sean capaces de comprender la propia ciencia como un proceso temporal, hecho que los humanistas están acostumbrados a considerar.^[8]

Desde el punto de vista eminentemente didáctico, el método histórico para el aprendizaje de la química del que se habla en la obra de Lespieau constituye un cambio conceptual en la enseñanza de esta ciencia.^[9] Al introducir la historia en la enseñanza de la química, el alumno es capaz de comprender el proceso de construcción del conocimiento científico, contribuyendo a generar en él una visión relativa, abierta y dinámica del mismo. Por otro lado, incluir el marco histórico en la enseñanza de la química lleva a establecer un paralelismo entre el desarrollo de los conceptos, principios y leyes de la química y el proceso de enseñanza-aprendizaje, pues el alumno recorrerá en su aprendizaje etapas similares a las que recorrieron los protagonistas de la historia de la química. Así, la insatisfacción con las ideas previas dará lugar a un proceso de andamiaje hacia un aprendizaje significativo basado en nuevas ideas útiles al alumno.

A la hora de introducir la historia en la enseñanza de la química desde una perspectiva constructivista existe una amplia metodología basada en los trabajos de Gilbert y Watts^[10,11,12] de finales del siglo pasado que consideran la evolución de los conceptos científicos partiendo de la jerarquización de errores conceptuales (método “paso a paso”), mediante nuevas experiencias que conduzcan al cambio conceptual (método evolutivo) o al igual que en la actividad científica, presentando ideas nuevas que han de ser evaluadas (método de la “catástrofe”). Asimismo, desde el punto de vista historiográfico, se han planteado diferentes visiones de interés para el estudio de la ciencia desde una perspectiva histórica, desde una visión de la evolución del conocimiento científico en la que se consideran aquellas contribuciones que demostraron ser válidas con el tiempo (visión whig) a una visión en la que tanto aciertos como fallos son incorporados (visión antiwhig). También es posible tanto considerar un problema científico concreto y su evolución a lo largo de la historia (visión vertical), como analizar un período de tiempo determinado y considerar distintos hechos del mismo (visión horizontal), ya sea únicamente científicos (visión interna), sociales (visión externa) o una combinación de ambos (visión intrínseca). Dado que la Historia no es una narración, sino una construcción, las distintas historiografías no son necesariamente excluyentes, sino que pueden ser complementarias e incluso combinarse entre sí, lo cual lleva a un profundo debate más allá de la incorporación de la historia a la enseñanza de la ciencia: un debate sobre la propia naturaleza de la historia de la ciencia^[13] y sobre la importancia de conciliar la visión de la evolución histórica de la química recogida en la mayoría de libros de texto y de divulgación con los resultados de las investigaciones historiográficas. Así, la historia de la química y su incorporación a la enseñanza revelará la química como una construcción humana que evoluciona para conocer la composición, la estructura y las transformaciones de la materia; que acompaña al ser humano en su día a día y que constituye, junto con el resto de disciplinas científicas, uno de los máximos exponentes de la razón humana: la ciencia, una gran obra colectiva de la historia de la humanidad.^[14]



Figura 1. *El alquimista*, óleo de David Teniers (1610-1690). En esta obra, conservada en el Museo Nacional del Prado de Madrid, podemos observar a un alquimista avivando el fuego. La alquimia constituye una de las etapas de la historia de la química en la que surgieron numerosos instrumentos y técnicas de laboratorio, muchos de los cuales siguen siendo utilizados hoy día

LA EVOLUCIÓN DE LA QUÍMICA

Si queremos utilizar la historia de la química en su enseñanza se hace fundamental un conocimiento histórico de la misma, imprescindible por contextualizar la materia de química. ¿Cuándo podemos comenzar a hablar de química? ¿cuáles fueron sus comienzos? ¿cuál ha sido su evolución histórica? ¿qué protagonistas cabe destacar? Aunque sería inabarcable en un solo artículo incluir todos los protagonistas y sucesos de la historia de la química, haremos un rápido recorrido por el pasado de esta ciencia que constituye un posible hilo conductor para su enseñanza.

La mayoría de autores distinguen cinco grandes etapas en la historia de la química:^[15]

- Tecnología química primitiva.
- Alquimia.
- Iatroquímica y docimasia.
- La transición. Del “quimista” al químico.
- Química científica o ciencia química.

En su célebre *Breve Historia de la Química*, Isaac Asimov (1920-1992) considera el “descubrimiento” del fuego (el momento en el que el hombre es capaz de producir el fuego, imitando a la naturaleza) como el inicio de la Tecnología química primitiva. El ser humano prehistórico, sin ser

consciente, acaba de llevar a cabo una reacción química que arrojará luz y calor durante las oscuras y frías noches de los comienzos de la humanidad.^[16] La química acompañará al ser humano en su vida diaria con los primeros pigmentos que hicieron nacer el arte (carbonatos, óxidos de hierro, hollín...), con las primeras cerámicas y vidrios y con los primeros tintes como el púrpura de Tiro, que desde tiempos fenicios asociará este color a la realeza. Tras el dominio de la piedra (Paleolítico y Neolítico), los metales hicieron su aparición en la historia de la humanidad en la llamada Edad de los Metales desde el Calcolítico, donde el cobre reemplazó al sílex en las puntas de flechas y lanzas, a la Edad de Hierro, elemento químico clave en la victoria de los dorios, equipados con armas de este metal, frente a los pueblos micénicos, con armas de bronce, a finales del II milenio a.C.^[17] Los metales marcarán no sólo nuestra historia, también nuestro presente pues en cada día de la semana, asociados a cuerpos celestes y deidades, subyacen los llamados “Siete metales de la Antigüedad”: lunes (Luna, Ag), martes (Marte, Fe), miércoles (Mercurio, Hg), jueves (Júpiter, Sn), viernes (Venus, Cu), sábado (Saturno, Pb) y domingo (Sol, Au).

En la Protohistoria del Próximo Oriente encontramos más casos de prácticas químicas documentadas por los sumerólogos, como algunas recetas farmacológicas del siglo XXI a.C. encontradas en Nippur.^[18] En otra de las grandes civilizaciones de la Edad Antigua, Egipto, encontramos incluso uno de los posibles orígenes del término “química”, según algunos estudios, originario de “alquimia” que a su vez procede de la contracción del artículo “al” del árabe con el término *khemeia*, que derivaría de *Khem*, nombre dado por los antiguos egipcios a su tierra (*khemeia* sería “el arte egipcio”) o bien de *khumos*, jugo de planta (*khemeia* sería entonces “el arte de extraer jugos”).^[19]

La alquimia supone el inicio de una nueva etapa en la historia de la química y la fusión del pensamiento griego clásico, el misticismo oriental y la práctica egipcia, distinguiéndose tres etapas bien diferenciadas: alquimia helénica (siglos III a.C.-III d.C.), alquimia árabe (siglos VII-XI d.C.) y alquimia cristiana (siglos XII-XV d.C.). La alquimia, conocida como arte hermético en honor a su deidad, Hermes Trimegisto, hace honor al significado actual del término “hermético” pues celosos de su intimidad, los alquimistas trabajan ocultos en sus laboratorios, encriptando sus notas y dificultando que otros pudieran adelantarles en el sueño dorado: en la búsqueda del oro.^[20] Si bien es cierto, hoy sabemos que la transmutación de elementos químicos en oro no es posible mediante las técnicas empleadas por los alquimistas, la alquimia proporcionará sustancias (venenos como el acetato de plomo o el arsénico, disolventes como su *aqua fortis*, hoy ácido nítrico, o el agua ardiente, álcalis, etc), utensilios (alambiques, hornos, retortas...) y técnicas (destilación, el “baño María”...) que serán de interés a los futuros químicos. Fue, en palabras del químico alemán Justus von Liebig (1803-1873), “la química de los tiempos medievales”, sin menosprecio alguno a la importancia que los trabajos de autores medievales tendrán en la posterior Revolución científica.^[8] Revolución que en el

caso de la química se hará esperar... No obstante, aún hoy, cada 15 de noviembre, los químicos vuelven la vista a su pasado alquímico en el día de su patrón: Alberto Magno (1199-1280), alquimista descubridor del arsénico nombrado *Doctor Ecclesiae* por Pio XI en 1931.^[21]

Tras siglos enmarcados en la teoría aristotélica de los elementos con la búsqueda de la piedra filosofal que permitiese la transmutación de metales y del *elixir vitae*; una de las doctrinas alquímicas que había comenzado a extenderse durante los últimos tiempos del arte hermético, la doctrina del mercurio-azufre *sóficos* (para diferenciarlo de los elementos químicos del mismo nombre), será ampliada por un personaje clave en la historia de la química precientífica: Paracelso (1493-1541). A los principios de combustibilidad (azufre *sófico*) y fusibilidad (mercurio *sófico*), Paracelso añadió un tercer principio ligado a la no volatilidad e incombustibilidad: la sal, dando lugar a la doctrina del "Tria Prima". Paracelso aplicará estos tres principios a la medicina, tratando de relacionarlos con enfermedades. Así, un exceso de mercurio provocaba parálisis, un exceso de azufre, fiebre y un exceso de sal, diarrea. A esta nueva etapa de la química en la que los conceptos alquímicos se aplican a la medicina se la denomina iatroquímica (del griego *iatros*, médico), la cual será contemporánea al uso de técnicas alquímicas para el estudio de minerales y metales: la docimasia, del griego *dokimasia* (probar, ensayar), cuyo principal representante fue Georg Bauer (1497-1555), más conocido como Agrícola. Su obra *De Re Metallica*, publicada en 1556, será considerada una de las obras maestras de las técnicas metalúrgicas, siendo utilizada como libro de texto hasta el siglo XVIII.

El siglo XV marcará un punto de inflexión en el pensamiento. La invención de la imprenta de tipos móviles por Johann Gutenberg (1400-1468) alrededor de 1450 permitirá recuperar obras antaño olvidadas. Al mismo tiempo, los nuevos descubrimientos geográficos harán al hombre consciente de las limitaciones del pensamiento aristotélico que tanta influencia había tenido en la cultura y la religión. En el siglo XVI, la publicación de *De Revolutionibus Orbium Caelestium* (1543) por el astrónomo Nicolás Copérnico (1473-1543) y *De Corporis Humani Fabrica Septem* de Andreas Vesalius (1514-1564), médico de la corte de Felipe II, marcará una nueva etapa y conducirá al nacimiento de las ciencias naturales, transición que en el caso de la química se suele enmarcar en la figura del científico británico Robert Boyle (1627-1691), autor de *The Sceptical Chymist* (1661) y considerado habitualmente como uno de los últimos alquimistas.

Algunos autores traducen el término "chymist" como "quimista" por ser anterior al término moderno "chemist" (químico). Además, en lengua inglesa, antes de utilizarse la palabra "chemistry", será utilizado el vocablo "chymistry" como podemos ver en numerosas obras del siglo XVII como *A compleat Body of Chymistry* de Nicolás le Fèvre (1615-1669), traducido a lengua inglesa en 1661 y publicado inicialmente en francés en 1660, como *Traité de la Chymie* o *The Compleat Chymist* (1667) de Christophle Glaser (1615-1670/1678), también publicado originalmente en francés como *Traité de la Chymie* (1663). En este punto

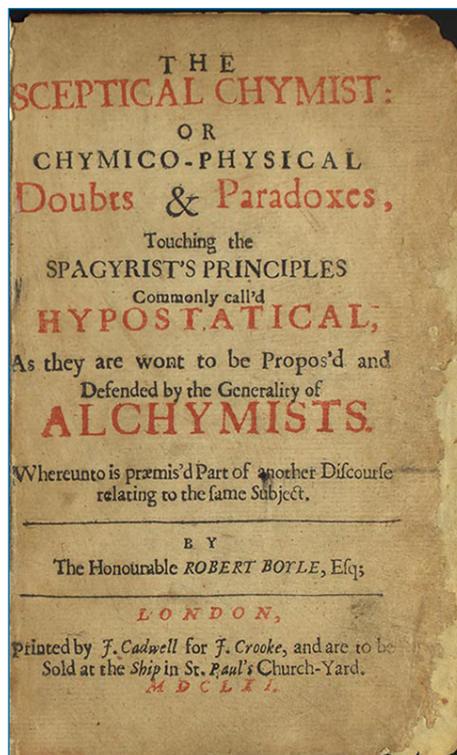


Figura 2. *The sceptical Chymist*, por Robert Boyle (1661), uno de los fundadores de la Royal Society de Londres y miembro del primer consejo

cabe destacar el *Cours de Chymie* (1675) de Nicolás Lemery (1645-1715), obra que gozó de una gran popularidad siendo traducida a numerosos idiomas como el inglés, el castellano, el italiano o el alemán, entre otros. En este texto, además de principios aristotélicos y paracelistas, el análisis químico comienza a tener un papel relevante y algunos procesos químicos serán interpretados desde un punto de vista corpuscular y mecanicista.

Gracias a la imprenta, obras como *De Rerum Natura* de Lucrecio (99-55 a.C.) y *Pneumática* de Herón (10-70 d.C.) contribuirán al renacer del atomismo, poco recordado desde los tiempos de Leucipo (siglo V a.C.) y Demócrito (460-370 a.C.), aunque de algún modo latente en los trabajos de autores de la Edad Media (y compatible con ellos) en los llamados *minima naturalia*.^[22] Esto, unido a la nueva noción de elemento recogida por Boyle y a los trabajos del filósofo Francis Bacon (1561-1626), entre otros, contribuirá a gestar el marco conceptual necesario para el futuro despertar de la química científica en un contexto en el que la comunicación científica aumentará por la creación de las sociedades científicas, como la Royal Society de Londres, fundada en 1660, y la Academia de Ciencias de París, fundada en 1666.^[23] Precisamente, esta última tendrá un papel clave para la química en el siglo XVIII.

Poco a poco, los químicos serán capaces de comprender el comportamiento de aquellos espíritus de los tratados de alquimia. La química neumática se desarrollará con figuras como Stephen Hales (1677-1761), inventor de la cuba hidroneumática; Joseph Black (1728-1799), descubridor del aire fijo (CO₂), gas que ya había sido estudiado (aunque

no obtenido de forma pura) por el médico Jean Baptiste van Helmont (1577-1644) quien lo llamó “gas silvestre”; Henry Cavendish (1731-1810), descubridor del aire inflamable (H_2); Daniel Rutherford (1749-1819), descubridor del aire flogisticado (N_2); Joseph Priestley (1733-1804), descubridor del aire desflogisticado (O_2) a la par que Carl W. Scheele (1742-1786). Relacionados con los gases, fenómenos como la combustión o la calcinación de los metales fueron explicados de acuerdo a la denominada teoría del flogisto, expuesta por Stahl (1660-1734) en su obra *Zymotechnia Fundamental* (1697) y originaria de Becher (1635-1682), publicada en su texto *Physicae Subterranae* (1669), en la que asociaba su *terra pinguis* (llamado flogisto por Stahl, del griego *phlogistos*, combustible o inflamable) al azufre de la doctrina iatroquímica del “Tria Prima”.

De acuerdo a las ideas de Stahl, un combustible liberaba flogisto cuando ardía. Sin embargo, esta teoría no podía explicar por qué la masa aumentaba en la calcinación de los metales o por qué un volumen de aire confinado se contrae en vez de expandirse cuando un combustible arde en su seno. Esta teoría será superada en la llamada Revolución química, cuyo protagonista más destacado fue el químico francés Antonie-Laurent Lavoisier (1743-1794) sin olvidar a su brillante esposa Marie Anne P. Paulze (1758-1836), frecuentemente olvidada.^[24] Haciendo de la balanza y la experimentación la base de sus investigaciones, Lavoisier asignará al oxígeno un papel clave tanto en la combustión como en la calcinación de los metales (no se perdía flogisto, ¡se ganaba oxígeno!). Sus trabajos sobre la combustión y otros aspectos de la química (como la composición de los ácidos), así como su célebre *Traité Élémentaire de Chimie*, publicado en el despertar de la Revolución Francesa (1789), constituyen un importante episodio de la historia de la química. Con Lavoisier y otros químicos de la época nacerá también un nuevo sistema de nomenclatura química que ayudará a propagar la nueva química, que aún tendrá que convivir un tiempo con las viejas teorías.

En este marco se establecerán las leyes fundamentales de la química, tanto ponderales -ley de Lavoisier de conservación de la masa, 1785; ley de Proust (1754-1826) de las proporciones definidas, 1799; ley de Dalton de las proporciones múltiples, 1803 y ley de Richter (1762-1807) de las proporciones recíprocas o equivalentes, 1792- como volumétricas -ley de Gay-Lussac (1778-1850) de los volúmenes de combinación, 1808; hipótesis de Avogadro (1776-1856), 1811-. Nace así la estequiometría que desde Lavoisier evolucionará hasta el siglo xx con la introducción del mol como unidad de cantidad de sustancia por la XIV Conferencia General de Pesas y Medidas de 1971, facilitando notablemente los cálculos químicos y permitiendo relacionar directamente la escala macroscópica (medida de masa) con la escala atómico-molecular, gracias a la constante de Avogadro-Loschmidt (1865). Los químicos necesitaban pues conocer los pesos atómicos (¿o masas atómicas?^[25]) de los elementos químicos...

En los tiempos de John Dalton (1766-1844), se determinarán los pesos atómicos de los distintos elementos (33 en época de Lavoisier, incluyendo la luz, el calórico o compuestos como la cal, CaO o la magnesia, MgO). En

su obra *A new system of Chemical Philosophy* (1808), Dalton presenta valores de pesos atómicos para varios elementos al mismo tiempo que introduce una teoría capaz de explicar las leyes ponderales de la química: la teoría atómica.^[26] Sus pesos atómicos, que daban el valor de 1 al hidrógeno, serán superados años más tarde por los trabajos del químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), quien también introducirá una nueva forma de representar a los elementos químicos. Los símbolos químicos de Berzelius nos acompañarán hasta nuestros días, no así los valores de las masas atómicas que cambiarán hasta el siglo xx, existiendo incluso dos escalas, la escala química, que otorgaba al oxígeno una masa de 16 unidades de masa atómica (u), y la escala física, que asignaba 16 u a la masa del isótopo 16 del oxígeno (^{16}O), el más abundante; ambas relacionadas entre sí mediante el factor de Mecke-Childs (1,00028) durante 30 años hasta que, reunida la IUPAC en Montreal en 1961, se adoptó una nueva escala de masas atómicas tomando como referencia el isótopo de carbono 12, siendo la escala vigente actualmente.^[27]

¿Y qué ocurrió con el atomismo? Aunque 1808 suele ser mitificado como el comienzo del atomismo en química, lo cierto es que habían existido referencias a los átomos en un contexto mecanicista (aunque con distintas características y apreciaciones) con anterioridad a Dalton. Boyle, influido por los trabajos de Francis Bacon y Pierre Gassendi (1592-1655), había recuperado el atomismo^[28] e incluso Isaac Newton (1643-1727) publicará en 1692 *De natura acidorum* en el que se habla de fuerzas (afinidades) entre partículas.^[29] Pese al tiempo transcurrido e incluso con los grandes descubrimientos de finales del siglo xix como los rayos catódicos, la radiactividad natural o los rayos X, en la Exposición Universal de St. Louis de 1904, el químico Wilhelm Ostwald (1853-1932), Premio Nobel de Química en 1909 por sus trabajos en catálisis y equilibrio químico, expresaba públicamente sus dudas sobre la realidad de los átomos, pese a sí admitir la existencia de iones, término acuñado por el científico británico Michael Faraday (1791-1867) años antes, a propuesta de una carta de William Whewell (1794-1866) en 1834 en la que además se introducían los términos “ánodo” y “cátodo”.^[30] La figura de Faraday nos obliga a retroceder en el tiempo hasta 1833, año en el que el descubridor del benceno enunció las leyes de la electrolisis, cuyo estudio cualitativo ya habían realizado Berzeleius y el químico inglés Humphry Davy (1778-1829) a comienzos del siglo xix.^[31] La electrolisis, además de constituir un gran avance en la química de los procesos de oxidación-reducción, supuso la posibilidad de descomponer compuestos en sus elementos constituyentes contribuyendo al descubrimiento de nuevos elementos químicos, al mismo tiempo que se revelaba al ser humano la naturaleza eléctrica de la materia, tal y como anticipó Hermann von Helmholtz (1821-1894) en la Faraday Lecture de 1881. El empleo de la electrolisis, unido a los trabajos de los espectroscopistas como Robert Bunsen (1811-1899) y Gustav Kirchhoff (1824-1887), aumentará significativamente el número de elementos químicos conocidos en la época, siendo necesario poner orden.

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
H = 1		Ni = 58,7	Zn = 65,2	Cd = 112	
	Be = 9,4	Mg = 24	? = 68	U = 116	Au = 197?
	B = 11	Al = 27,4	? = 70	Sn = 118	
	C = 12	Si = 28	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	N = 14	P = 31	S = 32	Se = 79,4	
	O = 16	S = 32	Br = 80	J = 127	
	F = 19	Cl = 35,5	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
Li = 7	Na = 23	K = 39	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		Ca = 40	? = 45	Ce = 92	
		?Er = 56	?Yt = 60	La = 94	
		?In = 75,6	Th = 118?	Di = 95	

Figura 3. Primera versión de la tabla periódica de Mendeléiev publicada en 1869. En 1871 cambiará las filas por columnas, adoptando una forma más parecida a la actual

Será el químico ruso Dimitri Ivanovich Mendeléiev (1834-1907) quien el 17 de febrero de 1869 esbozará en el dorso de una invitación a una fábrica de quesos el icono por excelencia de la química: la tabla periódica.^[32] En palabras del astrónomo estadounidense Harlow Shapley (1885-1972): “la compilación de conocimientos más compacta y significativa que haya elaborado hasta ahora el hombre”.

Referente a la tabla periódica, Robert Hicks señala:

La tabla periódica funciona como un almacén de la historia de la química, un molde para la evolución actual y una base para el futuro de las ciencias químicas.^[33]

Precisamente, la tabla periódica puede ser el punto final para nuestro recorrido por la historia de la química. Tal y como apuntaba Hicks, basta contemplarla para suscitar el porqué de su forma (¿qué otros intentos de clasificación existieron? ¿todos fueron tablas?), lo cual nos llevará a las figuras de Johann W. Döbereiner (1780-1849), Alexandre Émile Beguyer de Chancourtois (1820-1886), John A.R. Newlands (1837-1898), Julius Lothar Meyer (1830-1895), Friedrich Adolf Paneth (1887-1958), Alfred Werner (1866-1919), William Odling (1829-1921) o Glenn T. Seaborg (1912-1999), entre otros muchos científicos. Para poder recorrer la tabla periódica será fundamental el número atómico, lo cual nos lleva a los trabajos de Henry Moseley (1887-1915) y al estudio de la estructura atómica, desde un modelo atómico macizo como el de J. J. Thomson (1856-1940) hasta un átomo prácticamente hueco, como en los modelos de Ernest Rutherford (1871-1937), Niels Bohr (1885-1962), Arnold Sommerfeld (1868-1951) o el actual modelo mecanocuántico del átomo. También es imprescindible hacer alusión a la configuración electrónica, clave para comprender la química de los elementos y su posición en la tabla periódica. Wolfgang Pauli (1900-1958), Therald Moeller (1913-1997) o Charles Rugeley Bury (1890-1968) hacen su aparición para explicar cómo los electrones determinan las propiedades químicas de los elementos, algunas de las cuales varían de forma regular en la tabla periódica, magnífica ocasión para hablar de electronegatividad y, por tanto, de Linus Pauling (1910-1994).

Altivos en la última de las columnas, los gases nobles reclaman nuestra atención. Gozando de su gran inercia química, los gases nobles y su estabilidad conducen inevitablemente a los trabajos de Albrecht Kossel (1853-1921), Gilbert Newton Lewis (1875-1946) e Irving Langmuir (1881-1957), entre otros científicos. Presentado el enlace químico, en el que Linus Pauling y su célebre *The Nature of Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals* (1939) se hacen imprescindibles, las fuerzas intermoleculares también harán acto de presencia con figuras como Johannes van der Waals (1837-1923), Peter Debye (1884-1966), Fritz London (1900-1954), Wendell M. Latimer (1893-1955) o Worth H. Rodebush (1887-1959). Del átomo a la molécula por el enlace y de la ruptura y formación de estos, a las reacciones químicas, fenómenos cotidianos, esencia de la química, en los que la energía intercambiada y su espontaneidad (termodinámica química), su velocidad (cinética química) o su reversibilidad (equilibrio químico), introducen un sinfín de protagonistas cuyos trabajos hicieron crecer la química que hoy aprendemos y enseñamos de modo que, en palabras del propio Linus Pauling:

Todo persona que elige la química como profesión, no por ello establece un límite reducido a las actividades de su vida. Todavía se le abren muchos caminos: puede convertirse en profesor [...]; puede ser investigador [...]; puede ayudar a controlar los grandes procesos industriales [...]. Aún cuando elija otra profesión distinta de la química puede encontrar aplicación a sus conocimientos químicos.

Si volvemos a la tabla periódica, de todos los elementos químicos, uno de ellos llamará nuestra atención por ser fundamental para la vida en nuestro planeta: el carbono. La química del carbono o química orgánica nos obliga a viajar a tiempos de Berzelius y su fuerza vital a la que los trabajos de Friedrich Wöhler (1800-1882) –“Puedo obtener urea sin necesidad del riñón animal”– y Hermann Kolbe (1818-1884), entre otros, pusieron fin, dando lugar al nacimiento de la Teoría Estructural de la química orgánica a la que contribuyeron una larga lista de químicos.^[34] Ni el mismísimo Friedrich A. Kekulé (1829-1896) hubiera imaginado en sus mejores sueños el desarrollo que esta rama de la química alcanzaría en el siglo XXI. Ninguno de los químicos asistentes al Congreso de Karlsruhe aquel mes de septiembre de 1860 (químicos que aún tenían serias dudas sobre las fórmulas químicas de los compuestos químicos como el agua, que por aquel entonces se formulaba como OH) hubiesen llegado a pensar que la química alcanzaría en poco más de 150 años un nivel de desarrollo tan asombroso. 155 años en los que se pasó de una selva a un jardín que hoy los químicos siguen abonando y podando. La historia de la química se escribe cada día con los trabajos de los químicos en sus laboratorios (¿debemos estar atentos a sus avances!) y quizá, alguno de nuestros alumnos la escriba algún día.

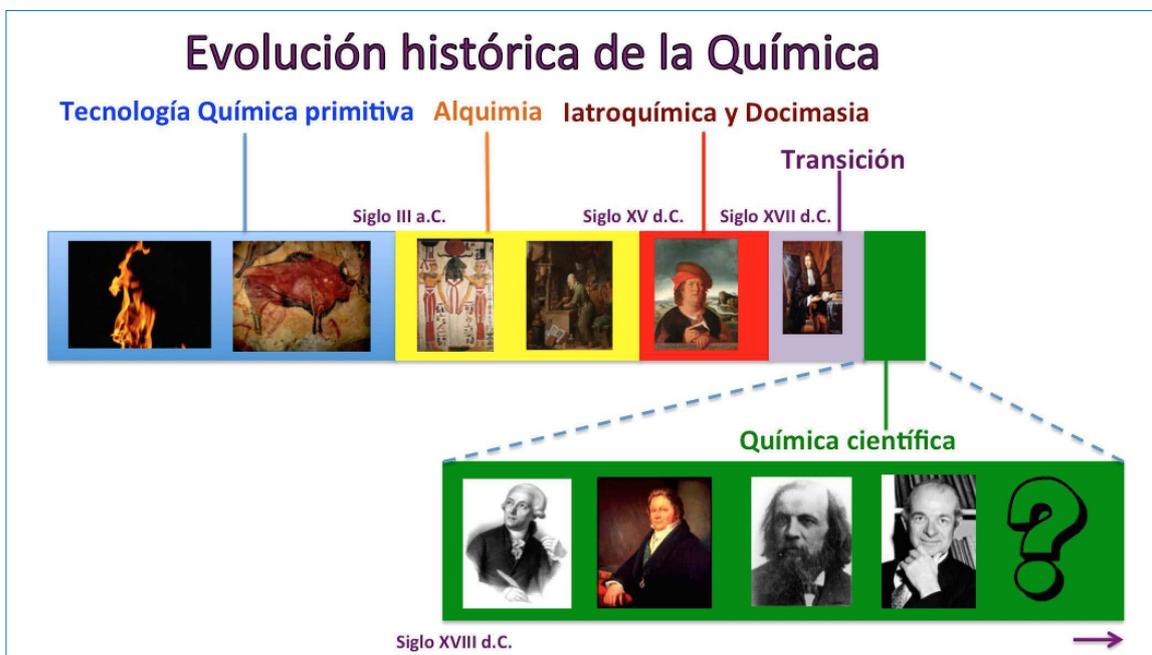


Figura 4. La evolución de la química desde los comienzos de la humanidad hasta nuestros días

A PIE DE AULA

Como acabamos de ver, la química es una obra colectiva a la que han contribuido muchos científicos, no sólo químicos (pues la historia de la química no puede entenderse separada de la de la física y de otras ciencias, encontrando en la incorporación de la historia de la ciencia al aula una forma de fomentar la interdisciplinariedad entre las distintas materias), a lo largo de su historia. Si bien es cierto, algunos científicos han escrito su nombre en los libros de química actuales de forma indeleble. ¿Cuáles son los protagonistas de la química que aprenden nuestros alumnos?

Desde su primer contacto con Física y Química en tercer curso de ESO hasta primer curso de Bachillerato, la química está protagonizada por Boyle, Mariotte, Avogadro, Gay-Lussac, Dalton, Lavoisier, Proust (leyes fundamentales de la química); J. J. Thomson, Rutherford, Bohr, Sommerfeld, Schrödinger, Pauli, Hund, Moeller, Bunsen, Kirchoff (estructura atómica); Newlands, Chancourtois, Meyer, Mendeléiev, Moseley, Pauling (sistema periódico y propiedades periódicas); Lewis (enlace químico), Berzelius, Whöler o Kolbe (química del carbono), entre otros. En segundo curso de Bachillerato, la historia de la química amplía su reparto con personajes como Rydberg, Heisemberg, De Broglie, Schrödinger, Born, Madelung, Hess, Guldberg, Waage, Haber, Boss, Le Châtelier, Braun, Liebig, Davy, Arrhenius, Brönsted, Lowry, Daniell, Faraday, Markovnikov o Sayzev.

De todos los protagonistas, Lavoisier suele ser mitificado como el padre de la química científica, haciendo de la balanza el instrumento fundamental del químico y dando a la química una de sus leyes fundamentales: la ley de conservación de la masa.^[35] Sin embargo, llama la atención el papel poco destacado que suele tener Linus Pauling en los

libros de texto de química españoles (no así en materiales didácticos de países americanos de habla hispana).^[36] En la mayoría de ellos se le presenta asociado al concepto de electronegatividad, cuya escala sigue utilizándose y, no en todos, como un químico que realizó grandes aportaciones al enlace químico. Si seguimos examinando los libros de texto de ESO y Bachillerato e incluso de enseñanzas universitarias, es frecuente encontrar ciertas imprecisiones históricas. Una de ellas la encontramos en el caso de la síntesis de la urea de Wöhler, que suele presentarse como el golpe definitivo a la teoría del vitalismo cuando en realidad supuso el inicio del fin de esta teoría. También es común encontrar referencias a Latimer y Rodebush como los primeros en hablar de enlaces de hidrógeno en 1920, cuando lo cierto es que Vinmill y Moore ya hacen referencia a esta interacción en 1912.^[37,38,39]

Otra de las conclusiones a las que podemos llegar si examinamos los libros de texto de ESO y Bachillerato, es la ausencia generalizada de referencias a las contribuciones de los químicos españoles a la historia de la química. Si volvemos de nuevo la mirada a la tabla periódica, el platino (1748), el wolframio (1783) y el vanadio (1801) constituyen una magnífica oportunidad en el aula para hablar de Antonio de Ulloa (1716-1795), los hermanos riojanos Juan José (1754-1796) y Fausto (1755-1833) Delhuyar y de Andrés Manuel del Río (1764-1849), figuras de la química española por el descubrimiento de los elementos químicos anteriores, respectivamente.^[40] El caso de wolframio (¿o tungsteno?^[41]) constituye un tema que puede suscitar interés en nuestros alumnos, siendo una buena oportunidad para debatir en clase la prioridad en los descubrimientos científicos. Otra figura de la química española ausente en los libros de texto pero de gran interés para nuestra ciencia y nuestra cultura es la de Enrique Moles (1883-1953), químico inorgánico que determinó con gran precisión los pe-

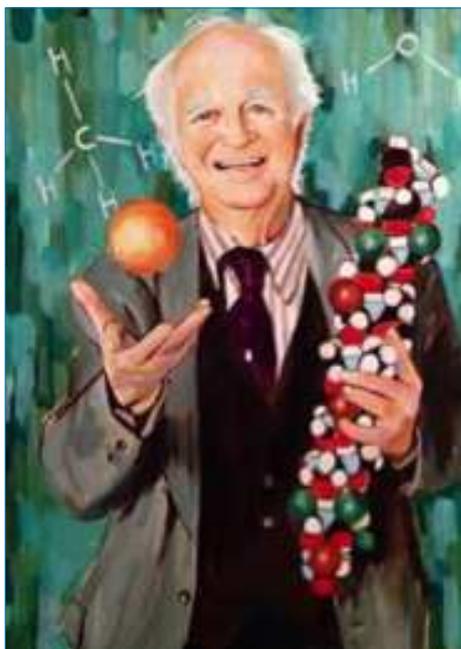


Figura 5. Linus Pauling (1901-1994), ganador del Premio Nobel de Química de 1954 y de la Paz de 1962, es uno de los grandes químicos del siglo XX, cuyos aciertos y equivocaciones constituyen un gran capítulo de la historia de la química

atos atómicos de varios elementos, siendo sus valores aceptados por la Comisión Internacional de Pesos Atómicos, de la que llegó a ser secretario. Un químico con una carrera brillante a la que la Guerra Civil puso fin.^[42] La correspondencia entre Sommerfeld y Miguel Catalán (1894-1957)^[43] o la figura de Blas Cabrera (1878-1945), a quien el propio Albert Einstein (1879-1955) y Marie Curie (1867-1934) propusieron como candidato para ingresar en el Comité Internacional de las Conferencias Solvay en 1928, tampoco deberían pasarse por alto. Cabe también preguntarse por la ausencia generalizada de la alquimia en los textos escolares. Por el contrario, mencionar la piedra filosofal o al célebre alquimista Nicolas Flamel (1330-1418) surte un efecto inmediato en el alumnado que se muestra atento y receptivo. ¿Por qué no aprovechar esta oportunidad para despertar su curiosidad y transmutar sus ideas previas hacia la alfabetización química?^[44]

Estos son sólo algunos ejemplos que invitan a reflexionar sobre si el tratamiento de la historia de la química en el aula es realmente el adecuado. Si consideramos el uso de la historia de la química, es habitual encontrarla como introducción a los aprendizajes de cada unidad didáctica, lo cual constituye un recurso interesante, siempre que no quede relegado a los “temas clásicos” tal y como expusimos al comienzo de este artículo, pues de este modo se contribuye a una visión incompleta e inconexa de la evolución de la química. La presencia de la historia en las clases de química y la consiguiente humanización de esta ciencia, pasa por mostrar también los puntos débiles de la química actual, los retos de futuro. Mostrar que en química aún

queda mucho por hacer, que su historia aún sigue escribiéndose, constituye otro elemento motivador que el docente puede aprovechar.

La detección de iones moleculares de los gases nobles,^[45] la polémica situación del hidrógeno en la tabla periódica,^[46] el descubrimiento y nuevo nombre de elementos químicos,^[47] la existencia de nuevos tipos de enlace químico^[48] o la aparición de compuestos hace unos años inesperados (¡existe el NaCl_3 !)^[49] son sólo algunos ejemplos de noticias químicas que en los últimos años han sorprendido a la comunidad química. Su transposición didáctica al aula hará de la química escolar una materia con perspectiva de futuro y, humanizada por el conocimiento de su pasado, revelarse como una opción de futuro, despertándose la curiosidad e incluso, la vocación científica, favoreciéndose significativamente el proceso de aprendizaje y haciendo reales las palabras del químico y escritor Primo Levi (1919-1987) en su célebre obra *El sistema periódico*:

Todos los estudiantes de química, al enfrentarse con un libro de texto cualquiera, tendrían que ser consciente de que en una de aquellas páginas, tal vez incluso en una sola línea, o fórmula, o palabra, está escrito su porvenir en caracteres indescifrables, pero que se aclaran luego; después del éxito o la equivocación o la culpa, después de la victoria o la derrota.^[50]

He aquí la piedra filosofal.

CONCLUSIONES

La historia de la química constituye un valioso recurso didáctico para el docente pues, además de constituir un hilo conductor (un posible criterio de secuenciación didáctica) para el aprendizaje de la química, contribuye a que el alumno conozca y valore cómo se construye realmente el conocimiento científico. La historia en la enseñanza de la química contribuirá a su vez a la humanización de esta disciplina, acercándola al alumno, que podrá recorrer los mismos pasos que recorrieron los científicos del pasado, ayudando a considerar la química como un elemento más de la cultura. Asimismo, se hace fundamental conciliar la evolución historia de la química recogida en manuales, libros de texto y materiales de divulgación con las investigaciones historiográficas, minimizando la dicotomía historiografía y potenciando la imbricación de la didáctica con la historia de la química.

AGRADECIMIENTOS

A mis alumnos de ESO y Bachillerato del Colegio Tres Olivos de la Comunidad de Madrid, centro de educación inclusiva preferente de discapacitados auditivos, por permitirme recorrer con ellos la fascinante historia de la ciencia en cada clase.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Lespiau, *La molécula química*, Ed. Espasa-Calpe, Buenos Aires, **1947**.
- [2] Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria.
- [3] Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas.
- [4] Decreto 67/2008, de 19 de junio, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo del Bachillerato.
- [5] M. Hernández, J.L. Prieto, *Enseñanza de las Ciencias* **2000**, 18(1),105.
- [6] C. Elías, *La razón estrangulada*, Ed. Debate, Madrid, Barcelona, **2008**.
- [7] E. Pedrinaci, *El desarrollo de la competencia científica*, Ed. Graó, Barcelona, **2012**.
- [8] J. Read, *Por la alquimia a la química*, Aguilar, Madrid, **1960**.
- [9] E. Castro, P. Gómez, L. Llavona, *Tiempo y sociedad* **2012**, 8, 68.
- [10] J. K. Gilbert, M. L. Pope, *Science Education* **1982**, 66(4), 623.
- [11] J. K. Gilbert, D. M. Watts, *Studies in Science Education* **1983**, 10, 61.
- [12] J. K. Gilbert, D.M. Watts, R.J. Osborne, *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press, London, **1985**.
- [13] O.I. Lombardi, *Enseñanza de las Ciencias* **1997**, 15(3), 343.
- [14] B. Herradón, *Los avances de la Química*, Ed. Catarata, Madrid, **2011**.
- [15] A. J. Ihde, *The development of Modern Chemistry*, Dover Publications, Nueva York, **1984**.
- [16] I. Asimov, *Breve historia de la química*, Alianza editorial, Madrid, **2010**.
- [17] I. Asimov, *Los griegos*, Alianza editorial, Madrid, **2011**.
- [18] A. M. Vázquez, *Historia del Mundo Antiguo (Próximo Oriente y Egipto)*, Ed. Sanz y Torres, Madrid, **2007**.
- [19] R. F. Trimble, *J. Chem. Educ.* **1976**, 53 (12), 802.
- [20] W. H. Brock, *Historia de la Química*, Alianza editorial, Madrid, **1998**.
- [21] M. Castillo, *La Ciencia de los filósofos*, Universidad de Sevilla, Sevilla, 91-106, **1996**.
- [22] C. Solís, M. Sellés, *Historia de la Ciencia*, Espasa, Barcelona, **2013**.
- [23] D. Wojtkowiak, *Historia de la Química*, Editorial Acribia, Zaragoza, **1987**.
- [24] J. R. Bertomeu y A. García, *La revolución química: Entre la historia y la memoria*, Publicaciones de la Universidad de Valencia, Valencia, **2006**.
- [25] P. Bièvre, H. S. Peiser, *Pure & Appl. Chem.* **1992**, 64 (10), 1535-1543.
- [26] I. Pellón, *Dalton, el hombre que pesó los átomos*, Ediciones nivola, Madrid, **2003**.
- [27] M. R. Fernández, J. A. Fidalgo, *Química General*, Everest, León, **2008**.
- [28] R. Boyle, *El químico escéptico*, Ed. Crítica, Madrid, **2012**.
- [29] J. Muñoz, *Newton, el umbral de la ciencia moderna*, Ediciones nivola, Madrid, **2010**.
- [30] M. C. Izquierdo, F. Peral, M. A. De la Plaza y M.D. Troitiño, *Evolución histórica de los principios de la Química*, UNED Ediciones, Madrid, **2003**.
- [31] J. M. Palacios, L. Cubillana, *Indagando en la Química a través de la Historia*, Editorial Académica Española, Alemania, **2012**.
- [32] P. Román, *Mendeléiev, el profeta del orden químico*, Ediciones nivola, Madrid, **2002**.
- [33] E. Scerri, *La tabla periódica: una breve introducción*, Alianza editorial, Madrid, **2013**.
- [34] W. A. Bonner, A.J. Castro, *Química Orgánica Básica*, Ed. Alhambra, Madrid, **1985**.
- [35] B. Bensaude-Vincent e I. Stengers, *Historia de la Química*, Addison-Wesley Iberoamericana, Madrid, **1997**.
- [36] L. Pauling, *College Chemistry*, W. H. Freeman and Company, San Francisco, **1950**.
- [37] W. M. Latimer, W. H. Rodebush, *J.A.C.S.* **1920**, 42, 1419.
- [38] T. S. Moore, T. F. Winmill, *J. Chem. Soc.* **1912**, 101, 1635.
- [39] P. Pfeiffer, *Ann. Chem.* **1913**, 398, 137.
- [40] J. Elguero, *An. Quím.* **2007**, 103, 70.
- [41] P. Román, *An. Quím.* **2005**, 101(2), 42.
- [42] J. Sales, A. Nieto-Galán, *An. Quím.* **2014**, 110(2), 152.
- [43] G. Barceló, *An. Quím.* **2013**, 109(4), **295**.
- [44] *La alquimia del siglo XXI*. Conferencia TEDx 2014 de Javier García Martínez: <http://bit.ly/1gUStMz>
- [45] M. J. Barlow et al., *Science* **2013**, 342, 1343.
- [46] L. Moreno-Martínez et al., *An. Quím.* **2013**, 109(4), 347.
- [47] Comunicado de la IUPAC en su web: <http://bit.ly/1EFUNKR>
- [48] D. G. Fleming, J. Manz, K. Sato, T. Takayanagi, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53, 13706.
- [49] L. Moreno-Martínez et al., *An. Quím.* **2014**, 110(1), 87.
- [50] P. Levi, *El sistema periódico*, Ediciones Península, Barcelona, **2014**.