

Historia de la evolución de la tabla periódica de los elementos químicos: un ejemplo más de la aplicación del método científico

Otilia Val Castillo

Resumen: El estudio del método científico como método de investigación es un buen punto de partida para enseñar a nuestros alumnos cómo las disciplinas científicas han desarrollado su camino hacia el conocimiento. En Química hay varios ejemplos para ilustrar didácticamente este camino, entre ellos, la evolución de las teorías atómicas y el desarrollo de la clasificación de los elementos conocidos en una tabla: la tabla periódica de los elementos.

Palabras clave: elementos, descubrimiento, clasificación, tabla periódica, propiedades periódicas.

Abstract: The study of the scientific method as a research method is a good starting point to teach our students how the sciences have developed his way through the knowledge. In chemistry there are quite a few examples to show this methodology in a didactic manner such as, the atomic theories and the development of a systematic classification of the known elements in a table: the periodic table of the elements.

Keywords: elements, discovery, classification, periodic table, periodic properties.

INTRODUCCIÓN

Los cuatro elementos clásicos griegos *tierra, agua, fuego y aire* datan de los tiempos presocráticos (siglos VII-IV a.C.) y perduraron a través de la Edad Media hasta el Renacimiento (siglos XV-XVI) (Figura 1).

Los indios y los japoneses tenían esos mismos cuatro elementos, más un quinto elemento invisible, el éter. Los cinco grandes elementos del hinduismo eran la tierra, el agua, el fuego, el aire y el éter, y para los chinos eran la tierra, el agua, el fuego, el metal y la madera, excluyendo al aire. Todos ellos consideraban, en general, que esos elementos se combinaban para formar el resto de las sustancias que forman la naturaleza.

Desde entonces se ha pasado de estos cuatro o cinco elementos tradicionales a los 114 elementos confirmados, registrados actualmente en la tabla periódica, considerando en la actualidad a un elemento como un tipo de materia constituida por átomos con el mismo número de protones en el núcleo, o una materia que no se puede descomponer en otra más sencilla.

En la prehistoria se conocían poco más de una docena de elementos: el carbono, el azufre, el hierro, el cobre, el cinc, el arsénico, la plata, el estaño, el antimonio, el oro, el mercurio, el plomo y el bismuto. Estos elementos fueron utilizados por nuestros antepasados prehistóricos para fabricar instrumentos de caza, decoración, tintes, pinturas...

Antes del siglo XIX solo se descubrieron 21 elementos más. En ese siglo fueron 50, de los cuales 26 elementos se

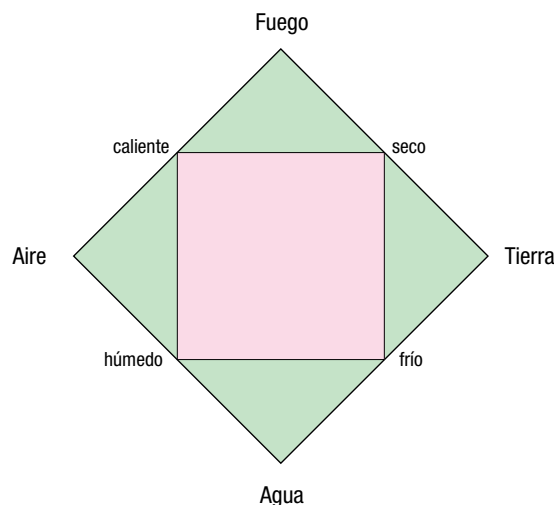


Figura 1. Los Cuatro Elementos de los griegos. Diagrama común con dos cuadrados, donde el más pequeño se sobrepone. Las esquinas del más grande muestran los elementos, y las esquinas del menor representan las propiedades. Fuente: Wikipedia

descubrieron gracias a la espectroscopia. En el siglo XX se descubrieron 30 más, (los de número atómico mayor de 98 por técnicas de bombardeo).^[2] (Tabla 1).

El elemento 114, Flerovio (1999) y el elemento 116, Livermorio (2000), recibieron nombre en junio de 2012.^[1] En este siglo el Joint Institute for Nuclear Research en Dubna y el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore parecen haber descubierto cuatro elementos más, que por el momento se identifican con un nombre sistemático que hace referencia a su número atómico, aunque la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, IUPAC, considera que no hay pruebas concluyentes de su descubrimiento.^[1]

Los científicos, siguiendo el esquema de actuación del método científico, tienden a una ordenación de los datos en tablas o a una representación de los mismos en gráficas cuando se intenta encontrar una relación entre dos magnitudes. Por tanto, conforme aumentaba el número de elementos descubiertos se hacía necesaria una ordenación de los mismos, en este caso, en una tabla.



O. Val Castillo

Doctora en Químicas
Jefa del Departamento de Física y Química
I.E.S. Lluís Simarro Lacabra.
Av. País Valencià s/n 46800 Xàtiva (Valencia)
C-e: val_oti@gva.es

Recibido: 17/12/2014. Aceptado: 01/03/2015.

Clave de colores:

- Antes del 1500** (13 elementos): Antigüedad y Edad Media.
- 1500-1800** (+21 elementos): casi todos en el Siglo de las Luces.
- 1800-1849** (+24 elementos): revolución científica y revolución industrial.
- 1850-1899** (+26 elementos): gracias a la espectroscopia.
- 1900-1949** (+13 elementos): gracias a la teoría cuántica antigua y la mecánica cuántica.
- 1950-2000** (+17 elementos): elementos "postnucleares" (del nº at. 98 en adelante) por técnicas de bombardeo.
- 2001-presente** (+4 elementos): por fusión nuclear.

Tabla 1. Época del descubrimiento de los elementos químicos. Fuente: Wikipedia

LOS COMIENZOS

En 1718 el francés E. F. Geoffroy presentó a la Academia de Ciencias de Francia la primera tabla de afinidades observadas en química entre diferentes sustancias.^[3] No era una tabla de elementos, pero fue un primer intento de intentar sistematizar el estudio de la disciplina (Figura 2).

Boyle en 1661, en su obra *El Químico Escéptico* (Figura 3) estableció el concepto de *elemento químico* como una sustancia que no puede descomponerse en otras más simples. En este contexto el término elemento tenía un significado práctico y provisional: nunca había la seguridad de que, al avanzar en los conocimientos, no fuese posible idear un procedimiento para descomponer un supuesto elemento en dos sustancias más simples.^[4]

~ Acides acides. ~ Terre absorbante. O Cuivre. ♁ Soufre mineral. [Principe.
 ~ Acide du sel marin. ~ Substances metalliques. ♀ Fer. ♁ Principe huileux ou Soufre
 ~ Acide nitreux. ~ Mercure. ♁ Plomb. ♁ Esprit de vinaigre.
 ~ Acide vitriolique. ~ Regule d'Antimoine. ♁ Etain. ♁ Eau.
 ~ Sel alcali fixe. ~ Or. ♁ Zinc. ♁ Sel. [dents
 ~ Sel alcali volatil. ~ Argent. ~ Pierre Calaminair. ~ Esprit de vin et Espris ar

Figura 2. La primera tabla de afinidades, de E. F. Geoffroy (1718). En la cabecera de cada columna una sustancia seguida de todas con las que se puede combinar. Fuente: Wikimedia Commons

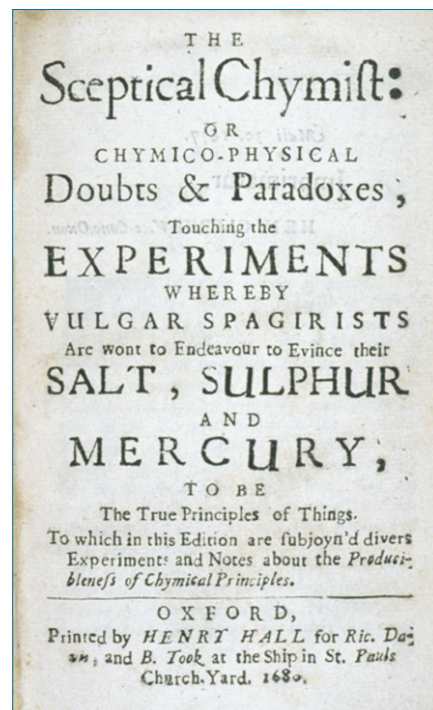


Figura 3. Portada del libro *The Sceptical Chymist: or Chymico-Physical Doubts & Paradoxes*. Londres, 1680. Fuente: <http://www.scs.illinois.edu/~mainzv/exhibit/boyle.htm>

Antoine Lavoisier en su *Tratado Elemental de Química*, 1789, utilizó este concepto para demostrar que el agua no era un elemento puesto que se podía descomponer y recomponer en oxígeno y otro elemento al que denominó *hidrógeno*, "el que engendra agua".^[5] Hasta entonces los metales, a excepción del mercurio no eran considerados elementos.

© 2015 Real Sociedad Española de Química

Lavoisier hizo una clasificación, a efectos de nomenclatura, de las sustancias simples en cuatro grupos, *sustancias simples que pueden considerarse como elementos de los cuerpos* (entre las que incluyó la luz y el calor), *sustancias simples no metálicas oxidables y acidificables*, *sustancias simples metálicas oxidables y acidificables* y *sustancias simples salificables térreas*.^[5]

En 1818 Berzelius publicó una tabla de pesos atómicos sorprendentemente precisa. Usaba como base la masa del oxígeno, ya que muchos elementos forman óxidos estables y bien definidos, y posteriormente la del hidrógeno igual a 1. La revisó dos veces y, en la revisión de 1826, los pesos atómicos relativos de casi todos los elementos eran muy cercanos a los utilizados hoy día.^[6] También sugirió usar la letra inicial, o las dos primeras, del nombre en latín para representar los símbolos químicos ya que podían escribirse más fácilmente que otros signos.

Con el descubrimiento de nuevos elementos los químicos se dieron cuenta de que algunos de ellos tenían propiedades semejantes. Por ello, en 1817, Döbereiner realizó el primer intento de establecer una ordenación al mostrar que determinados grupos de tres elementos, a las que denominó *triadas*, variaban regularmente sus propiedades, como color y reactividad (Tabla 2), y que el elemento central tenía una masa atómica aproximadamente igual a la media aritmética de las masas atómicas de los otros dos (Tabla 3). En 1829 señaló más triadas y en 1850 ya se habían encontrado 20 triadas.^[6]

Litio	LiCl LiOH	Calcio	CaCl ₂ CaSO ₄	Azufre	H ₂ S SO ₂
Sodio	NaCl NaOH	Estroncio	SrCl ₂ SrSO ₄	Selenio	H ₂ Se SeO ₂
Potasio	KCl KOH	Bario	BaCl ₂ BaSO ₄	Telurio	H ₂ Te TeO ₂

Tabla 2. Triadas de Johann Wolfgang Döbereiner. Fuente: Wikipedia

Litio	7	Calcio	40	Azufre	32,0	Cloro	35,5
Sodio	23	Estroncio	88	Selenio	79,0	Bromo	80,0
Potasio	39	Bario	137	Teluro	127,6	Iodo	127,0

Tabla 3. Elementos de las triadas de Döbereiner y masas atómicas

Ahora bien, el concepto de masa atómica (entonces peso atómico) aún no tenía un significado preciso. Algunos químicos no distinguían exactamente entre masa atómica, masa molecular o peso equivalente (lo que motivó, en 1860, la celebración del Primer Congreso Internacional de Química, en la ciudad de Karlsruhe) y sus trabajos fueron desestimados.

En 1862, Chancourtois, envió a la Academia de Ciencias de París un informe donde proponía una clasificación de los elementos químicos colocados sobre la superficie de un cilindro a la que denominó Hélice Telúrica^[7] (Figura 4).

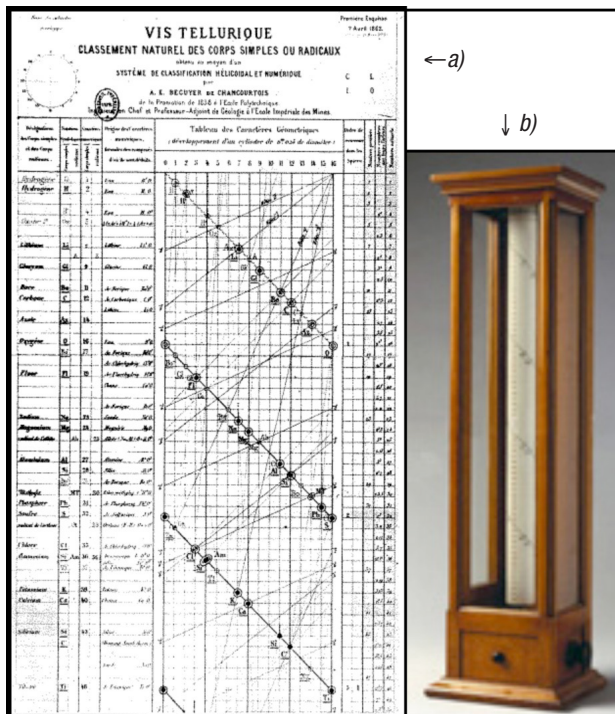


Figura 4. a) Vis Tellurique. Organización original de los elementos de Chancourtois. Fuente: Wikimedia Commons. b) Modelo del Anillo Telúrico en el Museo Británico de Historia Natural. Fuente: <http://www.ssplprints.com/image/84737/white-ron-telluric-screw-of-de-chancourtois-c-1862>

Los elementos se disponían sobre una línea diagonal formando un ángulo de 45° con la horizontal, dibujando una espiral y estaban ordenados según su peso atómico creciente (expresados en números enteros), de manera que los que tenían propiedades parecidas se situaban en una misma línea vertical.

Observó que los elementos que diferían entre sí en aproximadamente 16 unidades o múltiplos de 16 en peso atómico caían más o menos en la misma línea vertical y sorprendentemente, estos elementos tenían propiedades similares. Llegó a postular que “Las propiedades de los elementos son las propiedades de los números”. Pero, ¿por qué precisamente 16? Además, el esquema resultaba complicado técnicamente de construir (Figura 4 B), por lo que, en su comunicación, no se incluyó y por ello esta propuesta no fue demasiado conocida y sólo fue reconocida años después.

Entre 1850 y 1865 se descubrieron muchos elementos nuevos y se hicieron notables progresos en la determinación de las masas atómicas. Además en 1852 el químico inglés Edgard Frankland había introducido el concepto de valencia: la idea de que los átomos de cada elemento individual tenían una capacidad específica propia para combinarse con los átomos de otros elementos, y que esto determinaba las proporciones en las que se unían para formar compuestos.

En 1864, William Odling presentó una clasificación según un orden creciente de pesos atómicos. Era partidario de la distinción entre grupos y subgrupos, pues solo esta separación de las series en dos partes permitía obtener una

periodicidad de las propiedades de los elementos. Incluso alteró el orden del yodo y el telurio para colocarlos correctamente y dejó huecos para elementos que quedasen por descubrir. Sin embargo este intento no llegó a ser reconocido, ya que se sospechó que él, como Secretario de la Sociedad Química de Londres, desacreditó los esfuerzos de publicar la tabla periódica de Newlands.

John Alexander Reina Newlands también en 1864 observó que, ordenando los 56 elementos conocidos por su peso atómico y disponiéndolos en columnas verticales de siete elementos cada una, en muchos casos coincidían en las filas horizontales elementos con propiedades similares y que presentaban una variación regular (Figura 5).

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 20	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 28	Cd 38	Ba & V 45	Hg 52
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	Nb 47	Pb 54
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	W 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	To 43	Au 49	Th 56

Figura 5. Sistema periódico de Newlands. 1866. Nota: el elemento G es actualmente el Be (antiguamente glucinium) y el Di (didimium) fue un elemento conocido hasta 1885 (mezcla de praseodimio y neodimio). Fuente: Wikimedia Commons

Esta ordenación en columnas de siete da su nombre a la ley de las octavas, recordando los períodos musicales. El fallo principal de Newlands fue considerar que sus columnas verticales (equivalentes a períodos en la tabla actual) debían tener siempre la misma longitud. Esto provocaba la coincidencia en algunas filas horizontales de elementos totalmente dispares. Muchos químicos pensaron que lo que trataba de demostrar era pura coincidencia, y su trabajo no fue publicado.

En 1867, Gustavus Detlef Hinrichs, danés, nacionalizado norteamericano, publicó un sistema en el que los elementos se colocaban según sus masas atómicas (Figura 6) y varias tablas que relacionaban propiedades atómicas: volumen, peso, puntos de fusión, puntos de ebullición... Su teoría se basaba en la composición de los elementos a partir del Pantogen, la unidad primitiva de materia, que sería el número atómico del elemento. Desde su punto de vista el hidrógeno estaba constituido por dos de estas unidades y por ello su número atómico era 2, el del oxígeno 32, el del azufre 64, el de la plata 216 y el del plomo 414.^[8] Tuvo escasa repercusión debido a sus erróneas ideas.

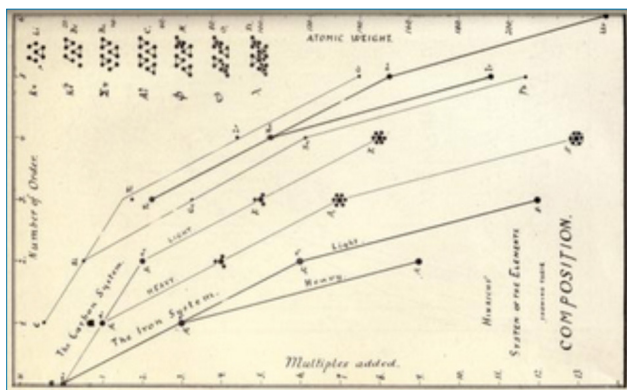


Figura 6. Sistema de los elementos de Hinrichs mostrando su composición.^[8]

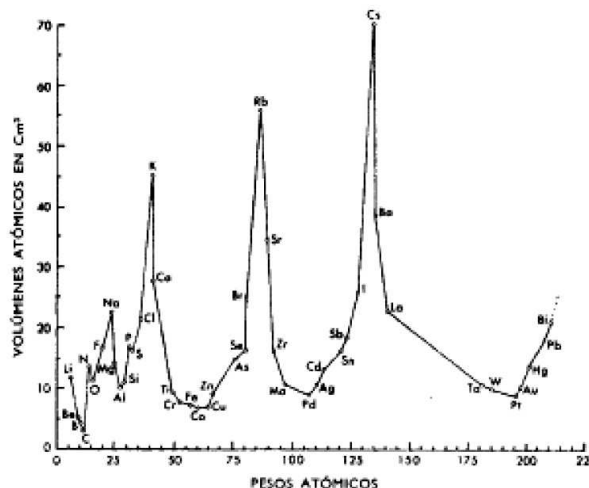


Figura 7. El gráfico de Meyer representaba los volúmenes de un peso fijo de los distintos elementos.^[6]

En 1869 el químico alemán Julius Lothar Meyer estudió los volúmenes atómicos de los elementos. Para obtener estos volúmenes atómicos pesó cantidades en gramos numéricamente iguales al peso atómico de cada elemento y los midió a la misma temperatura y presión. Al representarlos frente al peso atómico observó la aparición en el gráfico de una serie de ondas (Figura 7).

El volumen máximo se correspondía con un metal alcalino y se formaba una onda hasta el siguiente, que representaba para Meyer un período. En los primeros períodos se cumplía la ley de las octavas, pero después se encontraban períodos mucho más largos. Meyer clasificó 58 elementos y se basó sobre todo en las semejanzas de las propiedades físicas, volumen atómico, puntos de fusión y ebullición. Meyer publicó su trabajo mejorado en 1870 y no fue suficientemente reconocido porque un año antes un químico ruso Dimitri Ivanovich Mendeleiev o Mendeléyev, (en ruso Менделеев) se le había adelantado publicando otra ordenación de los elementos.

LOS AVANCES

El 6 de marzo de 1869 uno de los colaboradores de Mendeleiev, porque él se encontraba enfermo aquel día,^[9] presentó a la Sociedad Química de Rusia una clasificación de los 63 elementos conocidos hasta aquellos momentos que se basaba en la periodicidad de las propiedades químicas y su relación con los pesos atómicos. La ordenación de los elementos era vertical (Figura 8), y consideraba que el peso atómico de algunos elementos eran erróneos y se podrían corregir a partir de sus propiedades, y que además quedaban elementos por descubrir, para los cuales dejó huecos en la tabla.

Odling y Meyer también habían dejado huecos en sus tablas, pero Mendeleiev, partiendo de esta suposición, se atrevió a predecir las propiedades de algunos elementos desconocidos, en concreto los que debían ocupar las posiciones inmediatamente inferiores del boro, aluminio, silicio y manganeso, a los que él denominó: eka-boro, eka-

ОПЫТ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

H = 1
Be = 9, Mg = 24 Zn = 65,2 Cd = 112
B = 11 Al = 27, Si = 28 ? = 70 U = 116 Au = 197?
C = 12 N = 14 P = 31 As = 75 Sb = 122 Bi = 210?
O = 16 S = 32 Se = 79, Te = 128?
F = 19 Cl = 35,5 Br = 80 I = 127
Li = 7 Na = 23 K = 39 Rb = 85, Cs = 133 Tl = 204.
Ca = 40 Sr = 87, Ba = 137 Pb = 207.
? = 45 Ce = 92
?Er = 56 La = 94
?Yt = 60 Di = 95
?In = 75, Th = 118?

Д. Менделѣевъ

Figura 8. Tabla periódica de Mendeleiev de 1869. Nota: Los símbolos Yt, J y Ur son actualmente Y, I y U. Fuente: Wikipedia

aluminio, eka-silicio y eka-manganeso, respectivamente. Poco tiempo después el eka-aluminio (número atómico 31) fue descubierto en 1875 por L. de Boisbaudran y recibió el nombre de galio, el eka-boro (número atómico 21) fue descubierto en 1879 por L. F. Nilson y se le llamó escandio, y el eka-silicio (número atómico 32) fue descubierto por Winkler en 1886, denominándose germanio. La similitud entre las propiedades que había predicho con las encontradas para estos elementos confirmaron la validez de su tabla periódica.^[10] El eka-manganeso, número atómico 43, actual tecnecio, (que significa artificial), fue aislado por Carlo Terrier y Emilio Segrè en 1937. Mendeleiev le había predicho una masa atómica de 100. El isótopo más estable es el ⁹⁸Te.

Mientras, en el año 1871, Mendeleiev había presentado una nueva versión de la tabla, (llegó a modificarla unas 60 veces publicando 30),^[11] en la que mejoró la localización de algunos elementos cuya posición no era satisfactoria. También hizo un cambio de filas por columnas, usando números romanos para reflejar la valencia de los grupos, quedando la tabla bastante parecida a la que manejamos actualmente (Figura 9).

La tabla periódica de Mendeleiev supuso un gran impacto para la comunidad científica. Aunque quedaban huecos sin rellenar, nadie dudaba de que se llenarían a raíz de nuevos descubrimientos. Sin embargo empezaron a aparecer elementos que no tenían espacio en la tabla.

Ряды	Группа I. R ⁰	Группа II. R ⁰	Группа III. R ⁰	Группа IV. R ⁰ R ⁰	Группа V. R ⁰ R ⁰	Группа VI. R ⁰ R ⁰	Группа VII. R ⁰ R ⁰	Группа VIII. R ⁰
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,8	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Ru=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Il=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	
9	(—)	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
10	—	—	—	—	—	—	—	
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	U=240	—	
12	—	—	—	Th=231	—	—	—	

Figura 9. Tabla periódica de Mendeleiev de 1871. Fuente: Wikipedia

NUEVOS ELEMENTOS

El problema comenzó con tres elementos de tierras raras: cerio, erbio y terbio que no tenían hueco en la tabla. A estos les siguieron hasta 1886 el descubrimiento de ocho elementos adicionales de tierras raras: praseodimio, neodimio, samario, gadolinio, disprosio, holmio, tulio e iterbio que tampoco tenían un lugar en la tabla.

Por otro lado Cavendish, un siglo antes, en 1785, había demostrado que cuando se extrae el oxígeno y el nitrógeno del aire queda un pequeño residuo. Su conclusión fue la de que si existiera un tercer componente del aire, constituiría menos de 1% en volumen.^[12] Lord Rayleigh también observó que el nitrógeno del aire tenía una densidad superior al preparado a partir del amoníaco y su discípulo William Ramsay se puso a trabajar en ello. Gracias al espectroscopio confirmó, en 1894, que se trataba de un nuevo elemento al que denominó argón, *inactivo*, por lo que le asignó una valencia cero. Pero, ¿dónde colocarlo? Ramsay hizo una nueva hilera, *la hilera 0*, añadida al final de la tabla y siguió buscando en el aire otros gases que pudieran llenar esta hilera. Por destilación fraccionada encontró en 1898, y en un plazo de tres meses, el neón, *nuevo*, el criptón, *oculto*, y el xenón, *extraño*. También el helio, descubierto en un mineral que contenía uranio. Había llenado la nueva hilera del primer al quinto período.

En reconocimiento a sus servicios en el descubrimiento de los elementos gaseosos inertes del aire y la determinación de su lugar en el sistema periódico,^[13] Ramsay recibió el premio Nobel de Química en 1904, y Lord Rayleigh el de Física, por el descubrimiento del argón.

El número de elementos conocidos a principios de 1900 ya ascendía a 83 y esta columna había reforzado la tabla de Mendeleiev.

Además de todas estas propuestas hubo muchas más versiones de la tabla. En 1870 Baumhauer propuso una tabla en espiral con el hidrógeno en el centro. (En la actualidad el modelo de Theodor Benfey 1960, es el más conocido) (Figura 10). También había versiones de forma corta o de forma larga. De éstas la más interesante es la de Bayley de 1882, (Figura 11), perfeccionada por Thomsen en 1895, y posteriormente por Borh en 1922. También en 1898 Crookes presentó una tabla en tres dimensiones.

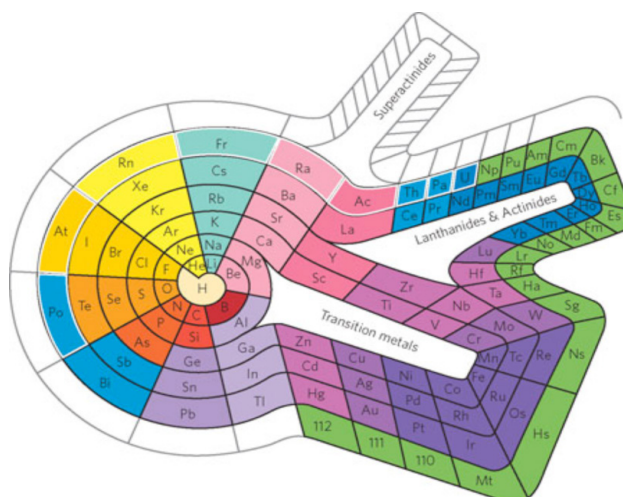


Figura 10. Tabla espiral de Theodor Benfey, de 1960, publicada en Nature Chemistry con permiso del autor.^[14]

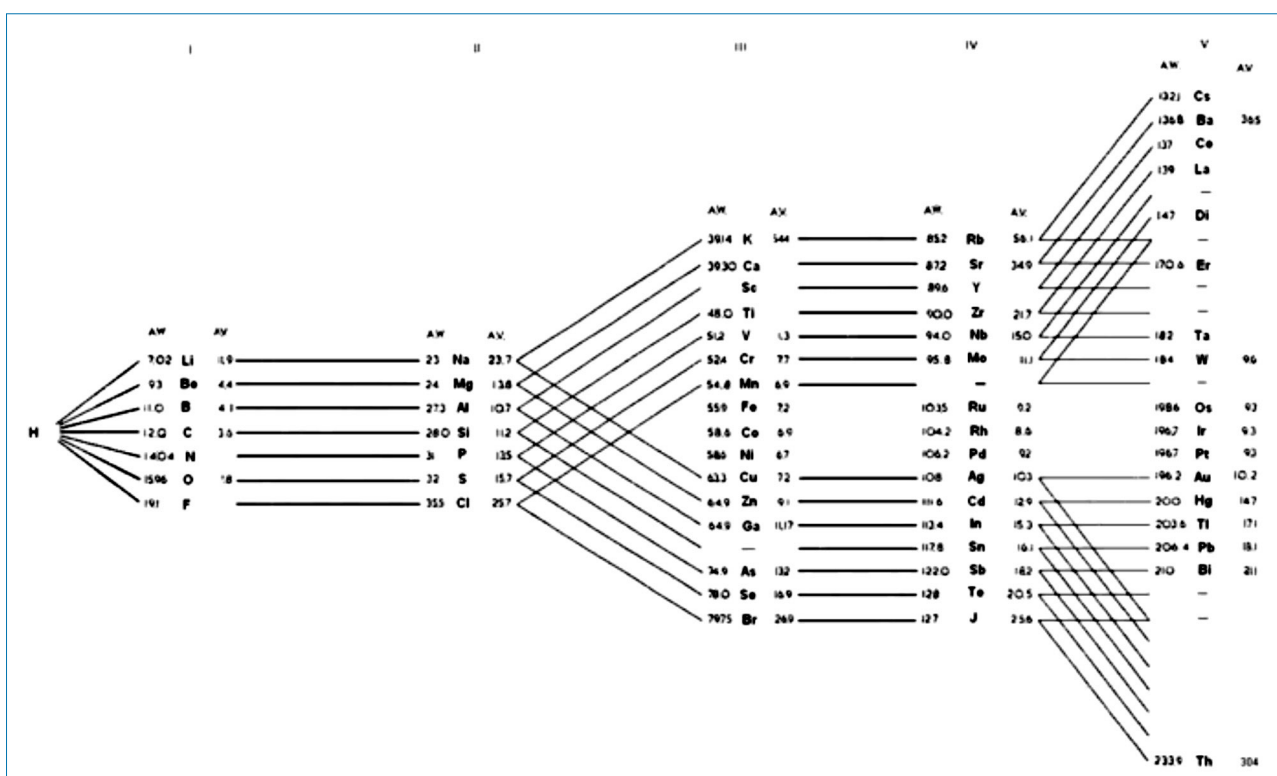


Figura 11. Tabla periódica de Bayley, 1882. Fuente: <http://www.xtec.cat/~bnavar1/Tabla/castellano/bayley.htm>

EL SIGLO XX

Los avances en el conocimiento de la constitución del átomo, el descubrimiento de nuevos fenómenos y teorías físicas, la aplicación de la espectroscopia de masas, la construcción de los aceleradores de partículas, el desarrollo de la industria militar y espacial y la aparición de la informática han permitido descubrir más nuevos elementos en el siglo xx, aunque no tantos como en el siglo xix.

Por cuartos de siglo, del año 1901 al 1925 se descubrieron 5 elementos, de ellos el hafnio y el renio encajaban en

la ordenación de Mendeleiev, pero europio, lutecio y protoactinio no. En 1902, Brauner, discípulo de Mendeleiev, colocó todos esos elementos agrupados en una minitabla, después del lantano, dentro de la tabla periódica. Por tanto fue de los primeros en incluir la *familia de las tierras raras*.^[11]

En 1913 el británico Henry Moseley estudiando la frecuencia de las rayas de los rayos X emitidos por distintos átomos al ser bombardeados con electrones, comprobó que la raíz cuadrada de dicha frecuencia es proporcional al número atómico del elemento, que hasta entonces era solo el lugar que ocupaba un elemento en la tabla periódica

de Mendeleiev. Además, el descubrimiento de dos isótopos del neón por Thomson en 1913 demostró que la masa atómica no debía ser lo que caracterizase a los elementos. Moseley formuló la ley periódica moderna: “Las propiedades de los elementos son funciones periódicas de los números atómicos”.

En 1920, Chadwick demostró que el número atómico coincidía con el número de protones de cada elemento.

Con la tabla periódica ordenada en función del número atómico se resolvió el misterio de los elementos que estaban situados en orden incorrecto de masa atómica. Se debía a la contribución en su masa de los isótopos. Ordenados los elementos con respecto a su número atómico resultaban estar en orden. Por otra parte, el empleo de los números atómicos determinaba con precisión todos los elementos pasados por alto y también dejaba muy claro cuales se habían omitido.^[10]

Alfred Werner, premio Nobel de Química en 1913 por su trabajo sobre la teoría de coordinación de los compuestos complejos en 1905, elaboró una tabla con períodos largos, en los que están situados los metales de transición, entre los metales y no metales de los grupos principales. La tabla está estructurada según la configuración electrónica, que es la responsable de las propiedades de los elementos. Los elementos que presentan configuraciones electrónicas externas similares, quedan agrupados en columnas verticales llamadas familias o grupos. Friedrich Adolph Paneth sacó la serie de los lantánidos fuera de la tabla. Por entonces no se conocían la mayoría de los actínidos.^[11]

Del año 1926 al 1950 se descubrieron 10 elementos más, de los cuales tuvieron hueco en la tabla el tecnecio, primer elemento artificial, el francio, y el astato.^[15] El torio, protactinio, uranio y neptunio, estaban a continuación del actinio como elementos de transición.

El concepto de actínido fue propuesto por Glenn T. Seaborg en 1944 al darse cuenta de que en la separación de mezclas de iones complejos de dichos elementos con ciertos disolventes orgánicos mediante eluciones selectivas, el comportamiento de dichas mezclas era análogo al de los lantánidos, y que por ejemplo el plutonio no es semejante al renio como tendría que ocurrir si los transuránicos no formaran la serie 5f sino la 6d.^[16] En 1945 publicó una modificación de la tabla periódica en la que añadía una nueva serie de elementos químicos a continuación del actinio y debajo de los lantánidos, a los que denominó actínidos, proponiendo la existencia de la serie de los transactínidos (elementos 104 a 121), y de los superactínidos (elementos 122 a 153). (Figura 12). Entre 1940 y 1950 Seaborg colaboró en la búsqueda del plutonio, americio, curio, berquelio y californio, por lo que recibió el premio Nobel de Química en 1951.

Entre los años 1951 al 1975 se descubrieron 8 elementos más. En este período, Seaborg y colaboradores contribuyeron al descubrimiento del einstenio y el fermio (1952), del elemento 101 que recibió el nombre de mendelevio (1955), y del nobelio (1958). En 1997 el elemento de número atómico 106, sintetizado en 1974, recibió el nombre de seaborgio, siendo la primera vez que un elemento químico recibe el nombre de una persona viva.

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha	Sg	Nh	Hs	Mt									
(119)	(120)	(121)	(154)	(155)	(156)	(157)	(158)	(159)	(160)	(161)	(162)	(163)	(164)	(165)	(166)	(167)	(168)
LANTHANIDES		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
ACTINIDES		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		
SUPER-ACTINIDES		(122)	(123)	(124)	(125)	(126)									(153)		

Figura 12. La tabla periódica según Seaborg. *Nota:* En la página 45 del *Libro Rojo* de 1955 se recomiendan los nombres de actinoides o lantanoides, porque la terminación *-ide* de *actinoides* o *lantanoides* en inglés se puede confundir con el anión. Sin embargo, lantánidos y actínidos todavía son aceptados, y en español no suponen confusión. *Fuente:* <https://thespectrumofriemannium.wordpress.com>

El elemento 103 fue sintetizado en 1961 por el equipo de física nuclear del Lawrence Berkeley National Laboratory de la Universidad de California, dirigido por Albert Ghiorso. El equipo sugirió para el elemento el nombre lawrencio, en honor al físico estadounidense Ernest O. Lawrence, y el símbolo *Lw*, pero la IUPAC cambió el símbolo a *Lr* en 1963. Con este elemento se completó la serie de los actínidos y el elemento 104, sintetizado en 1964, fue colocado en el séptimo período a continuación del actinio en la tabla principal.

A partir de este elemento se generaron conflictos sobre el primer descubridor de los nuevos elementos y se decidió que, mientras la IUPAC resolviese el problema, se daría a los elementos un nombre provisional con tres letras que indicase su número atómico.^[17] En 1997 se adoptó el nombre de rutherfordio para el elemento 104 que en un principio se había denominado kurchatovio.

En 1985, la Comisión para la Nomenclatura de la Química Inorgánica de la IUPAC, propuso una nueva notación para los grupos de la tabla periódica cambiando los números romanos por los números arábigos del 1 al 18.^[17]

Entre los años 1976 y 2000 se descubrieron otros 9 elementos más. Al flerovio (1999) y al livermorio (2000), se les dio nombre en junio de 2012.^[11] Con lo cual la tabla periódica actual, a fecha 1 de mayo de 2013, es la de la Figura 13.

En la actualidad, solo cuatro países disponen de la tecnología y los equipos científicos adecuados para preparar nuevos elementos. Estos centros de investigación son: El Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), en California, EEUU; el Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) cerca de Darmstadt, Alemania; el Joint Institute for Nuclear Research (JINR) en Dubna, Rusia; y el Paul Scherrer Institute (PSI) en Villigen, Suiza.^[15]

En el año 2010 fue sintetizado, por primera vez, el elemento de número atómico 117, ununseptio, por un grupo de investigadores rusos y norteamericanos de la universi-

IUPAC Periodic Table of the Elements

1 H hydrogen [1.007, 1.008]																	2 He helium 4.003																														
3 Li lithium [6.938, 6.997]	4 Be beryllium 9.012	Key: atomic number Symbol name standard atomic weight										5 B boron [10.80, 10.83]	6 C carbon [12.00, 12.02]	7 N nitrogen [14.00, 14.01]	8 O oxygen [15.99, 16.00]	9 F fluorine 18.99	10 Ne neon 20.18																														
11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium [24.30, 24.31]											13 Al aluminium 26.98	14 Si silicon [28.08, 28.09]	15 P phosphorus 30.97	16 S sulfur [32.05, 32.08]	17 Cl chlorine [35.44, 35.46]	18 Ar argon 39.95																														
19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08	21 Sc scandium 44.96	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 52.00	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.85	27 Co cobalt 58.93	28 Ni nickel 58.69	29 Cu copper 63.55	30 Zn zinc 65.38(2)	31 Ga gallium 69.72	32 Ge germanium 72.63	33 As arsenic 74.82	34 Se selenium 78.96(3)	35 Br bromine [79.90, 79.91]	36 Kr krypton 83.80																														
37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.96(2)	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.1	45 Rh rhodium 102.9	46 Pd palladium 106.4	47 Ag silver 107.9	48 Cd cadmium 112.4	49 In indium 114.8	50 Sn tin 118.7	51 Sb antimony 121.8	52 Te tellurium 127.6	53 I iodine 126.9	54 Xe xenon 131.3																														
55 Cs caesium 132.9	56 Ba barium 137.3	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.5	73 Ta tantalum 180.9	74 W tungsten 183.8	75 Re rhenium 186.2	76 Os osmium 190.2	77 Ir iridium 192.2	78 Pt platinum 195.1	79 Au gold 197.0	80 Hg mercury 200.6	81 Tl thallium [204.3, 204.4]	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.0	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon																														
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	114 Fl flerovium		116 Lv livermorium																																	
<table border="1"> <tr> <td>57 La lanthanum 138.9</td> <td>58 Ce cerium 140.1</td> <td>59 Pr praseodymium 140.9</td> <td>60 Nd neodymium 144.2</td> <td>61 Pm promethium</td> <td>62 Sm samarium 150.4</td> <td>63 Eu europium 152.0</td> <td>64 Gd gadolinium 157.3</td> <td>65 Tb terbium 158.9</td> <td>66 Dy dysprosium 162.5</td> <td>67 Ho holmium 164.9</td> <td>68 Er erbium 167.3</td> <td>69 Tm thulium 168.9</td> <td>70 Yb ytterbium 173.1</td> <td>71 Lu lutetium 175.0</td> </tr> <tr> <td>89 Ac actinium</td> <td>90 Th thorium 232.0</td> <td>91 Pa protactinium 231.0</td> <td>92 U uranium 238.0</td> <td>93 Np neptunium</td> <td>94 Pu plutonium</td> <td>95 Am americium</td> <td>96 Cm curium</td> <td>97 Bk berkelium</td> <td>98 Cf californium</td> <td>99 Es einsteinium</td> <td>100 Fm fermium</td> <td>101 Md mendelevium</td> <td>102 No nobelium</td> <td>103 Lr lawrencium</td> </tr> </table>																		57 La lanthanum 138.9	58 Ce cerium 140.1	59 Pr praseodymium 140.9	60 Nd neodymium 144.2	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.4	63 Eu europium 152.0	64 Gd gadolinium 157.3	65 Tb terbium 158.9	66 Dy dysprosium 162.5	67 Ho holmium 164.9	68 Er erbium 167.3	69 Tm thulium 168.9	70 Yb ytterbium 173.1	71 Lu lutetium 175.0	89 Ac actinium	90 Th thorium 232.0	91 Pa protactinium 231.0	92 U uranium 238.0	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium
57 La lanthanum 138.9	58 Ce cerium 140.1	59 Pr praseodymium 140.9	60 Nd neodymium 144.2	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.4	63 Eu europium 152.0	64 Gd gadolinium 157.3	65 Tb terbium 158.9	66 Dy dysprosium 162.5	67 Ho holmium 164.9	68 Er erbium 167.3	69 Tm thulium 168.9	70 Yb ytterbium 173.1	71 Lu lutetium 175.0																																	
89 Ac actinium	90 Th thorium 232.0	91 Pa protactinium 231.0	92 U uranium 238.0	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium																																	

Figura 13. Tabla periódica actualizada por la IUPAC a 1 de mayo de 2013. Nótese que el nombre alternativo de wolframio, para el elemento de número atómico 74, que fue aislado por primera vez por los hermanos riojanos Elhuyar, ha sido suprimido en la última edición del *Libro Rojo* denominando al elemento tungsteno (versión inglesa), cuando el nombre de wolframio había sido adoptado oficialmente por la IUPAC en su 15ª conferencia, celebrada en Ámsterdam en 1949.^[18,19] Fuente: <http://www.iupac.org>.

dad de Dubna. Este nuevo elemento ha sido sintetizado también por un grupo de físicos del centro de investigación de Alemania GSI.^[20] En la actualidad la IUPAC exige que un nuevo elemento sea sintetizado por lo menos por dos laboratorios independientes antes de incluirlo en la tabla periódica.

Con este elemento se completan todos los espacios de la tabla periódica actual. Los nuevos elementos que se

descubran a partir de ahora necesitarán empezar el octavo período.

Algunos autores consideran que esta tabla periódica todavía presenta algunos fallos, por ejemplo la colocación del He, Lu y Lr, que no seguirían el criterio de configuración electrónica siguiendo el principio de exclusión de Pauli.^[21]

Una tabla periódica que se basa precisamente en mostrar las capas electrónicas de los elementos es la tabla Maya de los elementos, llamada así por su parecido con un antiguo calendario mesoamericano. Esta tabla intenta mostrar la reactividad de los elementos, las proporciones de éstos en los compuestos según los saltos que los elementos han de dar para conseguir la configuración de gas noble, e integra los elementos de transición con los demás al no dejarlos aparte (Figura 14).

CONCLUSIONES

Seguro que hasta aquellos que no han estudiado química, recuerdan haber visto alguna tabla periódica en el aula de su escuela, de su instituto, incluso en las aulas que aparecen en las películas o series de televisión. La clasificación de los elementos químicos constituye una base sólida, sistemática y deductiva para el estudio de la Química, por lo que su elaboración supuso un paso fundamental para el estudio de esta ciencia experimental. Ha sido un largo y complejo proceso en el que tomaron parte muchos científicos, gran número de los cuales no son conocidos, y otros a los que se les reconoció el mérito bastante después, siendo el químico ruso Mendeleiev el que ha pasado a la historia como principal autor.

Figura 14. Tabla Maya de los elementos de Match Fincher.^[22]

De una forma magnífica se colocan todos los elementos químicos de la naturaleza, de tal modo que sus propiedades van estableciéndose siguiendo el orden marcado por su número atómico y por su posición en la tabla. Como buen modelo científico, la tabla periódica tiene valor predictivo: a partir de las propiedades de algunos elementos podemos predecir las propiedades de otros simplemente por la posición que ocupan en la tabla, y capacidad explicativa, las propiedades químicas de los elementos se pueden explicar a partir de algo tan sencillo como su configuración electrónica.

Y siguiendo con el método científico, llegados hasta aquí se nos plantean nuevos interrogantes: ¿Se podrán seguir creando elementos con vida media superior a 10^{-4} s? ¿Cómo encajarán éstos nuevos elementos en la tabla de Seaborg? Si desde 1950 se han añadido 22 nuevos elementos, ¿se llenará en los próximos cincuenta años otra nueva fila con los elementos de configuración $5g$? La ciencia continuará...

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Names and symbols of the elements with atomic numbers 114 and 116 (IUPAC Recommendations 2012) *Pure Appl. Chem.* **2012**, Vol 84, 7, 1669–1672.
- [2] http://es.wikipedia.org/wiki/Descubrimiento_de_los_elementos_químicos
- [3] E. R. Geoffroy, *Table des differens rapports observes en chemie entre differentes substances*, Memoires de l'Academie Royale des Sciences, **1718**, 202-212.
- [4] I. Asimov, *Breve historia de la Química*. Alianza editorial. Madrid. **1985**, 48 y 131.
- [5] A. Lavoisier, *Tratado elemental de Química*. Imprenta Real. Madrid. **1798**, I, 8, 60-72 y II, 135.
- [6] J. Ibarz, J. A. Babor, *Química General Moderna*. Ed Marín. **1979**, 90.
- [7] *Vis tellurique*. Comptes rendus de l'Académie des sciences, **1862**, 54, 757–761.
- [8] G D. Hinrichs, *The proximate constituents of the chemical elements mechanically determined from their physical and chemical properties*. St Louis Mo., U.S. **1904**. 85-86.
- [9] C. A. Zapffe, "Gustavus Hinrichs, Precursor of Mendeleev". *Isis* **1969**, 60, 4, 461.
- [10] Asimov, *La búsqueda de los elementos*. Alianza editorial. Madrid. **1983**, 13, 97-99 y 118.
- [11] S. Esteban Santos, *La historia del sistema periódico*, UNED. Madrid, **2009**, 9, 199-206.
- [12] Guillespie, Humpreys, Baird, y Robinson. *Química*. Reverté. Madrid. **1990**. 898.
- [13] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1904/
- [14] M. Francl, Table manners. *Nat. Chem.* **2009**, 1, 97-98.
- [15] P. Román, Elementos químicos descubiertos en el siglo XX (1901-2000). *An. Quím.* **2001**, 3, 28-35.
- [16] L. Garzón, *De Mendeleiev a los superelementos: un estudio crítico de la ley periódica y una formulación de su estructura*. Universidad de Oviedo, **1988**, 61.
- [17] N. E. Holden, T. Coplen, The Periodic Table of the Elements. *Chem. Int.* **2004**, 26, 1.
- [18] G. C. Conelly, Damhus. T. Eds. *Nomenclatura de Química Inorgánica. Recomendaciones de la IUPAC de 2005*. Prensas Univ. de Zaragoza, **2007**, 250.
- [19] Goya, P. Roman, P., Wolfram vs. Tunsten. *Chem. Int.* **2005**, 27, 4, 26-27.
- [20] J. Khuyagbaatar *et al.* $^{48}\text{Ca}+^{249}\text{Bk}$ Fusion Reaction Leading to Element $Z=117$: Long-Lived α -Decaying ^{270}Db and Discovery of ^{266}Lr . *Phys. Rev. Lett.*, **2014**, 112.
- [21] B. Schaeffer, *Journal of Modern Physics*, **2014**, 5, 117-122.
- [22] <http://www.mayanperiodic.com/>

Nota: Las páginas de internet a las que se hace referencia han sido consultadas entre octubre y diciembre de 2014.

XIII Premios Investigación Lilly para alumnos de doctorado

3 premios de 1.500€ para los alumnos de doctorado de las
Áreas de Química Orgánica, Farmacéutica y Analítica



21 de Junio de 2015

Finaliza el plazo para la recepción de candidaturas.

25 de Septiembre de 2015

Entrega de premios en las instalaciones de Lilly en Alcobendas (Madrid), y conferencia plenaria a cargo del Prof. David MacMillan (Princeton University, NJ, USA)

Bases de los premios y otros datos en <http://www.lilly.es/es/investigacion-y-desarrollo/fomento-de-la-investigacion/index.aspx>

Eli Lilly es una compañía farmacéutica global con centros de investigación en EEUU y Europa, líder en el descubrimiento, desarrollo y comercialización de nuevos medicamentos. El centro de I+D en Alcobendas, dedicado a Química Médica, Orgánica y Analítica, a través del Comité Europeo para Relaciones Académicas (EUACC), se complace en convocar en España los XIII Premios de Investigación para alumnos de doctorado.

Eli Lilly en Europa:

España: Alcobendas, www.lilly.es

Reino Unido: Windlesham, www.lilly.co.uk

Irlanda: Kinsale, www.lilly.ie

