

# El icono de los químicos: la tabla periódica de los elementos<sup>1</sup>

Eduardo J. Fernández y Julio Fernández

**Resumen:** El artículo recorre la historia de la Tabla Periódica de los Elementos desde sus antecedentes a la actualidad, con 118 elementos descubiertos. Se destacan las figuras de Mendeléiev y Moseley como sus co-creadores. Se propone un “icono” como figuración de la Tabla y se reivindica nombrar un elemento como “moseleyio”.

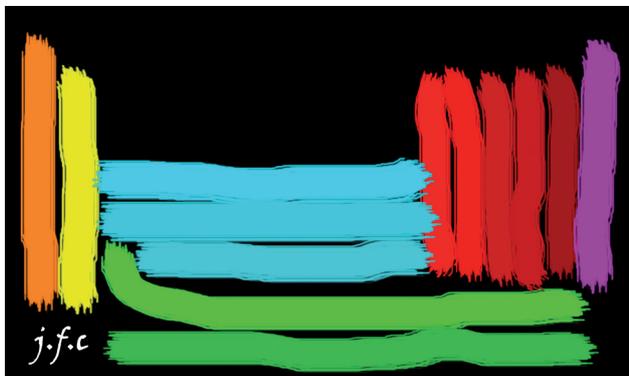
**Palabras clave:** Historia de la química, tabla periódica, Mendeléiev, Moseley, icono de los químicos.

**Abstract:** The article goes over the history of the Periodic Table of the Elements from its earliest history to the present, with 118 elements discovered. Mendeleev and Moseley as its co-creators are emphasized. An “icon” as a representation of the Table is proposed and the name “Moseleyium” for one chemical element is requested.

**Keywords:** History of chemistry, periodic table, Mendeléiev, Moseley, icon of Chemists.

## Introducción

La tabla periódica de los elementos (TP) es, efectivamente, un icono tan poderoso que cuatro brochazos bastan para que a cualquier químico le resulten nítidamente evocadores (Figura 1).



**Figura 1.** Dibujo realizado por Julio Fernández que evoca el “icono” de los químicos.



Eduardo J. Fernández    Julio Fernández

Universidad de La Rioja (Departamento de Química).  
Centro de Investigación en Síntesis Química  
C/ Madre de Dios 51  
26006-Logroño  
C-e: [eduardo.fernandez@unirioja.es](mailto:eduardo.fernandez@unirioja.es), [juliofernandez50@gmail.com](mailto:juliofernandez50@gmail.com)

**Recibido: 03/07/2012. Aceptado: 06/09/2012.**

El libro *La Historia del Sistema Periódico* de la Prof. Soledad Esteban<sup>2</sup> recoge una historia completa de este “icono”; este artículo solo pretende repasar, a través de “instantáneas”, los principales hitos que lo han originado y le han dado esa forma tan característica.

Empezaremos por los antecedentes de la TP, aludiendo a algunos ejemplos no tan conocidos. Imposible es no acudir al Congreso de Karlsruhe, llegando así a la ley periódica de Mendeléiev y sus éxitos predictivos.

Para terminar, repasaremos la evolución de la Tabla después de Mendeléiev y la participación de los físicos en su concepción, haciendo hincapié en la decisiva contribución de Moseley.

## Antecedentes de la tabla periódica

En la Historia existen bastantes contribuciones anteriores a la TP. Por ejemplo, el químico estadounidense Josiah Parsons Cooke, Jr. (1827-1894), que, tras dedicar muchos esfuerzos a la determinación de pesos atómicos (P. At.), publicó sus resultados<sup>3</sup> estableciendo relaciones entre los pesos atómicos de los elementos y anticipando la clasificación periódica de los elementos si bien es cierto que de una forma vaga e imperfecta, no es menos cierto que era de lo mejor que se podía esperar en la temprana fecha de 1854.

O el inglés William Odling que, tras algunas aproximaciones en 1857, publicó en 1864 una tabla parecida a la primera de Mendeléiev.<sup>4</sup> De hecho, fue la primera que alteraba el orden Te-I y en la que aparecían huecos para elementos sin descubrir.

Además de estas y otras contribuciones basadas en los pesos atómicos, otros autores menos conocidos, como el menorquín Mateo Orfila (*Éléments de chimie*, París, 1851) o el francés Auguste Cahours (*Leçons de chimie générale élémentaire*, París, 1855), publicaron tablas con los elementos agrupados por sus similitudes de comportamiento químico. Algunos, como el germano (danés) americano Gustavus Detlef Hinrichs se perdieron en propuestas no fundamentadas basadas en fórmulas trigonométricas (en 1867 propuso un diseño espiral para su “tabla periódica”).

Los autores más claramente identificados como precedentes de Mendeléiev y a los que dedicaremos algunas líneas más son: Döbereiner, con su *ley de las tríadas*; Chancourtois,

con su *caracol telúrico*; Newlands y su *ley de las octavas* y Meyer, que es, para algunos, co-descubridor de la ley periódica junto con Mendeléiev.

El primero de ellos, Johann Wolfgang Döbereiner, fue un químico alemán nacido en Bug, en 1780, y fallecido en Jena, en 1849. Fue el primero en reconocer la existencia de una relación entre los pesos atómicos y el comportamiento químico. En concreto, encontró conjuntos de tres elementos con propiedades químicas similares y que mostraban una variación regular. Por ejemplo, observó que dentro de estas triadas, el peso atómico del elemento central es prácticamente la media de los de los extremos. Expresó sus ideas en una fecha tan temprana como 1817 y fueron finalmente publicadas en 1829.<sup>5</sup>

A pesar de que su trabajo recoge varias triadas, Li-Na-K, Ca-Sr-Ba, S-Se-Te y otras, en las que se encuentra la mencionada proporcionalidad de los pesos atómicos, antepone las propiedades químicas y, así, afirma del conjunto, C, N, O que *“el hecho de que el peso atómico de N (14,138) sea media del de C (12,256) y O (16,026) no puede considerarse aquí porque no hay analogías entre las tres sustancias”*.

La idea de las triadas resultó muy atractiva y un buen número de científicos, como Jean Baptiste Dumas, Leopold Gmelin, Ernst Lenssen, Max von Pettenkofer, Josiah P. Cooke, entre otros, se dedicaron a encontrar otras. Así, en 1858 ya había más de veinte descritas pero, desafortunadamente, el asunto se desvirtuó de su origen –las analogías químicas– deslizándose hacia la pura numerología, con propuestas como la de Lenssen, en 1857, de una triada: Si-B-F. Hubo también intentos arriesgados –más o menos correctos– como el de Odling de incluir más de tres elementos por grupo o el de Peter Kremers quien apuntó que, quizá, hubiera elementos que pertenecieran a dos triadas perpendiculares (como un crucigrama con horizontales y verticales) donde ya se empieza a atisbar la futura tabla periódica. En realidad, si no se avanzó más en esta época fue, probablemente, por la inexactitud en los datos de pesos atómicos de los elementos conocidos.

La segunda aproximación a la TP de cierta importancia se debe a un geólogo francés: Alexandre Émile Béguyer de Chancourtois 1820-1886. Chancourtois trabajó como *Inspecteur général de première classe* en l'École des Mines de París. Entre sus trabajos cabe citar una clasificación de las rocas, o el mapa geológico de Haute-Marne, en el que sistematiza la información contenida.

Quizás fruto de este afán clasificatorio y sistematizador proviene su principal contribución a la química: el *“Vis Tellurique”*, publicado en 1862.<sup>6</sup> En el tornillo telúrico, el telurio ocupa una posición central –de ahí su nombre– y los elementos se ordenan sobre una curva helicoidal en el espacio de acuerdo a sus pesos atómicos, de manera que los puntos que se disponen verticalmente sobre las sucesivas vueltas de la hélice corresponden a elementos análogos. Esto sugiere ya una repetición periódica de las propiedades.

Sin embargo, Chancourtois tampoco dispuso de una lista fiable de pesos atómicos. Además, por un desafortunado descuido, su artículo original, publicado en una revista de la Academia de Ciencias Francesa: *Comptes Rendus (de l'Académie des sciences)*, no incluía su diagrama y sí un buen número de términos geológicos. Estos dos factores hicieron que su trabajo fuera difícil de entender y, aunque el diagrama

apareció posteriormente, lo hizo en una publicación propia de geólogos, y no tuvo difusión entre los químicos.

Con todo, Chancourtois fue el primero que utilizó los pesos atómicos para establecer una clasificación periódica y, por tanto, la suya podría ser considerada como la primera TP de la historia. Al no conocerse por los químicos este caracol de Chancourtois hay que admitir, no obstante, que la primera “tabla” que la comunidad química tuvo en consideración (aunque fuera para hacer escarnio de ella) fue la debida a John Alexander Reina Newlands.

Newlands fue un químico londinense nacido el 26 de noviembre de 1837 y formado en el *Royal College of Chemistry* de Londres. Su padre era británico, pero su tercer nombre “Reina” proviene del apellido familiar de su madre italiana. De hecho, a la edad de 22 años, participó como voluntario en las milicias de Giuseppe Garibaldi durante la toma de Nápoles, hito clave para la unificación de Italia bajo el reinado de Victor Manuel II en 1861.

A su vuelta a Inglaterra, trabajó como químico analítico en 1864 y en 1868 llegó a químico jefe de la refinería de azúcar *James Duncan & Co* de Londres, introduciendo numerosas mejoras en el proceso de refinado para, posteriormente, establecerse definitivamente como analista.

Como muchos de sus coetáneos, Newlands le dio vueltas al orden de los elementos basándose en los pesos atómicos, aunque sin distinguir entre los términos “peso equivalente” y “peso atómico”. En 1863 aparece su primera publicación con relaciones entre los p. eq. de los elementos.<sup>7</sup> En 1864 publica dos trabajos, en julio y agosto, insistiendo en ello. En el segundo de estos trabajos ya anticipa que hay siete elementos entre uno y el siguiente semejante<sup>8</sup> y ahí hace un alto, como para pensárselo, como si le diera miedo lo atrevido de su propuesta.

Finalmente, un año después, en agosto de 1865, publica su *ley de las octavas*<sup>9</sup> (probablemente influido por su formación musical) en un artículo donde concluye:

*Puede verse también que los números de elementos análogos generalmente difieren en 7 o múltiplos de 7; en otras palabras, miembros del mismo grupo muestran entre sí la misma relación que los extremos de una o más octavas en música. Para esta peculiar relación, propongo provisionalmente el término de “ley de las octavas”.*

En el número de marzo del año siguiente aparecen las *Actas de la RSC*<sup>10</sup> en las que se lee:

*El Sr. John A. R. Newlands leyó un artículo titulado “La ley de las octavas y las causas de las relaciones numéricas de los pesos atómicos”. El autor pretende haber descubierto una ley según la cual los elementos de propiedades análogas presentan características peculiares, semejantes a las que existen en música entre una nota y su octava. Tomando como partida los pesos atómicos de Cannizzaro, el autor ordena los elementos conocidos en forma de sucesión, empezando con el de peso atómico más pequeño: H y terminando con el Th (231,5); sin embargo, coloca Ni y Co, Pt e Ir, Ce y La, etc., en posiciones de igualdad absoluta, esto es, en la misma línea. Los 56 elementos dispuestos de esta forma se dice que forman un*

conjunto armónico de 8 octavas, y el autor encuentra que así, el Cl, Br, I y F se hallan en la misma línea, ocupando los lugares correspondientes de su escala. El N y el P; el O y el S, etc., se considera que forman también verdaderas octavas.

Y en la misma reseña puede leerse:

*El Dr. Gladstone se opuso a que se admitiera que ya no quedaban elementos por descubrir. Durante los últimos cinco años habían surgido Tl, In, Cs y Rb, y, a partir de ahora, el hallazgo de uno nuevo desecharía todo el sistema. El orador opinaba que existía la misma analogía entre los metales colocados en la última columna vertical que entre cualquiera de los elementos de la misma línea horizontal.*

*El profesor G. C. Foster preguntó humorísticamente al Sr. Newlands si se le había ocurrido examinar los elementos según el orden de sus iniciales, pues creía que cualquier ordenación presentaría coincidencias accidentales, aunque condenaba a ésta, que colocaba tan apartados al Mn y al Cr, o al Fe del Ni y del Co.*

*El Sr. Newlands dijo que había ensayado otros muchos esquemas antes de llegar a éste que proponía ahora. Uno basado en la gravedad específica de los elementos había fracasado totalmente, y no se podía establecer ninguna relación sobre los pesos atómicos de otros sistemas distintos al de Cannizzaro.*

La hostilidad con que se recibieron sus ideas, descorazonó a Newlands. Hasta que, en 1869, Mendeléiev publicó su tabla. A partir de ahí siguió buscando nuevas relaciones entre los pesos atómicos, reivindicando su prioridad en una serie de cartas escritas a *Chemical News*. Tras la concesión de la Medalla Davy a Mendeléiev y Meyer en 1882, se volvió más insistente hasta conseguir que se la dieran a él en 1887, “por su descubrimiento de la ley periódica de los elementos”. En la casa donde nació en Londres, una placa colocada por la *Royal Society of Chemistry* recuerda que “J. A. R. Newlands, químico y descubridor de la ley periódica de los elementos químicos nació y creció aquí”.

En este punto hay que retroceder un poco y hablar de uno de los antecedentes más decisivos de la “ley periódica”.

### El Congreso de Karlsruhe<sup>11</sup>

A mediados del siglo XIX la confusión reinaba entre los químicos. Había discordancias sobre el significado de conceptos como peso atómico, peso molecular y peso equivalente, lo que provocaba agria controversia entre atomistas y equivalentistas. En esas condiciones, una misma fórmula podía designar a varios compuestos y al revés, un mismo compuesto podía tener varias fórmulas. Por ejemplo, Kekulé refirió diecinueve fórmulas distintas del ácido acético.

Este motivo impulsó a Kekulé, que en ese tiempo trabajaba en la Universidad de Gante, a celebrar un congreso que pusiera orden sobre nomenclatura química, formulación y pesos atómicos. En marzo de 1860 lo comentó con Weltzien, de Heidelberg, y con Wurtz, de París, y escribieron a los cuarenta y cinco químicos más influyentes de Europa. Las cartas, fechadas a 10 de julio, se enviaron escritas en francés, inglés

y alemán. En ellas se establecían nítidamente los objetivos del congreso: “La definición de importantes conceptos químicos tales como los expresados por los términos 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”.

La ciudad elegida fue Karlsruhe debido, parece ser, a que en 1858 se había celebrado allí, con éxito, el Congreso de Científicos Naturales y Médicos de Alemania.<sup>12</sup>

Asistieron 20 de los invitados inicialmente y otros hasta un total de 127 químicos, entre ellos un español: Ramón Torres Muñoz de Luna.

Las conclusiones del congreso no fueron, en ese momento, demasiado definitivas, pero sus consecuencias tuvieron una trascendencia capital. A ello contribuyó, sin duda, Angelo Pavesi, químico italiano de la Universidad de Pavia, pionero de la química agrícola y amigo personal de Cannizzaro. En el congreso, Cannizzaro hizo, basándose en la hipótesis de Avogadro, una apasionada defensa del concepto de peso atómico frente al de equivalente y estableció la importancia de distinguir entre átomos y moléculas. Empero, fue Pavesi, tras el congreso, quién repartió algunos ejemplares del folleto que contenía el “*Sunto di un corso di filosofia chimica*” de Cannizzaro.<sup>13</sup>

Con la suerte de que este folleto llegó a manos de dos jóvenes químicos, Meyer y Mendeléiev, que con su lectura empezaron a imaginar un orden dentro de los elementos, lo que daría como resultado la primera tabla periódica de los elementos en 1869. Sobre los efectos que tuvo la lectura del texto de Cannizzaro el mejor elogio son los términos con que a éste se refirieron los dos co-creadores de la tabla periódica y protagonistas del próximo apartado:

Meyer dice: “*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 fueran reemplazadas por una sensación de pacífica seguridad.*”

Y Mendeléiev escribe: “*Muchos de ellos [de los asistentes al congreso] probablemente recuerden cuánto terreno se ganó en el congreso por los seguidores de la teoría tan brillantemente representada por Cannizzaro. Yo recuerdo nítidamente la impresión producida por sus intervenciones.....las cuales estaban en aquella época lejos de ser reconocidas de forma generalizada.*”

### La tabla periódica: Meyer y Mendeléiev<sup>14</sup>

En 1860 el por entonces joven químico alemán Julius Lothar Meyer acudía al Congreso de Karlsruhe con apenas 30 años y solo dos después de doctorarse. Allí, recibió un ejemplar del folleto de Cannizzaro que, como acabamos de citar, le provocó una profunda impresión.

Con la idea de organizar los elementos de cara a sus clases, ya en 1864 publicó “*Las modernas teorías de química*” (*Die modernen Theorien der Chemie, Breslau, 1864*), libro que contenía una primera versión de su tabla periódica. En ella, clasificaba, de acuerdo a su valencia, 28 elementos en 6 familias, dejando ya un hueco entre el Si y el Sn, correspondiente al Ge.

Tras dos años en la Escuela de Estudios Forestales de Eberswalde decide trasladarse a la Escuela Politécnica de Karlsruhe en 1868. En este mismo año preparó una segun-

da edición de su libro con una nueva tabla periódica, ya con 55 elementos, que dejó, para su uso y evaluación, a Adolf Remelé, su sustituto en Eberswalde. Aunque dicha segunda edición no apareció hasta 1872, en 1869 escribió un artículo para *Annalen* con su tabla.

Este artículo incluye una representación de volúmenes atómicos. vs. pesos atómicos, que ya esbozaba la periodicidad de las propiedades y, además, situaba a los elementos parecidos en posiciones semejantes. Pero su publicación se retrasó hasta 1870 y, para su desgracia, es posterior al artículo de Mendeléiev en *Zeitschrift für Chemie*.

Meyer reconoció el trabajo de Mendeléiev, pero no dejó de reivindicar su propia autoría. Contribución que le fue reconocida en 1882 con la Medalla Davy, concedida a ambos, Mendeléiev y Meyer, en reconocimiento de sus trabajos en la ley periódica.

Sin embargo, el considerado como principal autor de la tabla periódica es Dimitri Ivánovich Mendeléiev (Figura 2).

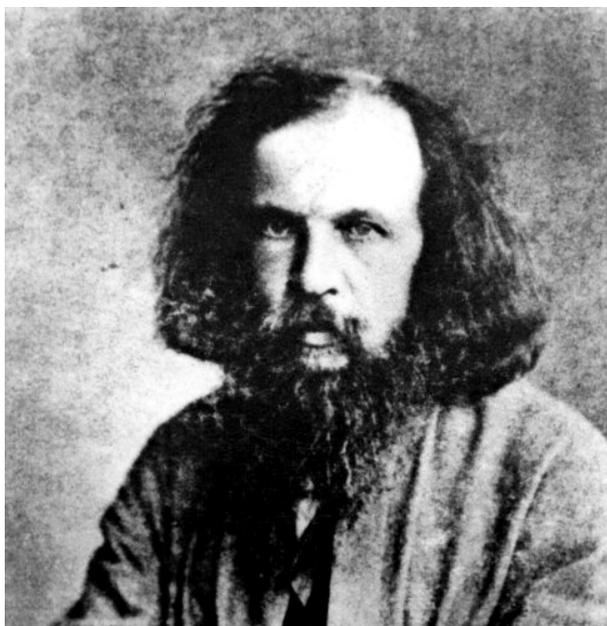


Figura 2. Dimitri Ivánovich Mendeléiev (1834-1907).

Parece que Mendeléiev llevaba tiempo preocupado por poner orden en los elementos químicos y, para ello, jugaba un interminable solitario ordenando, de múltiples maneras, naipes de los elementos que previamente había confeccionado.

Finalmente, el 17 de febrero de 1869<sup>15</sup> da con la solución y comunica a la Sociedad Química Rusa de San Petersburgo su tabla periódica. Esta comunicación fue leída por Nikolai Aleksandrovich Menshutkin el 6 de marzo y publicada a continuación.<sup>16</sup>

Además del artículo en ruso, publicó una traducción al alemán en la revista *Zeitschrift für Chemie*,<sup>17</sup> que contiene su primera tabla y su “ley periódica” expresada en 8 puntos que se pueden resumir en: “Cuando los elementos se estudian en orden creciente de sus pesos atómicos, la similitud de las propiedades ocurre periódicamente, es decir, las propiedades de los elementos son función periódica de sus pesos atómicos.”

A diferencia de sus antecedentes, la de Mendeléiev es la primera tabla basada, de forma conjunta, en los pesos atómicos de Cannizzaro y en las propiedades químicas de los elementos.

En realidad, su mayor contribución a la ciencia, su ley periódica, no procede de su actividad investigadora, sino de la docente y, como Meyer en 1868, estaba escribiendo la que iba a ser, según sus propias palabras, “mi obra más querida”, que serviría de libro de texto y guía para sus estudiantes. Para ello, trataba de presentar la química conocida y por conocer, de una forma ordenada y es de ahí de donde surgen los solitarios con sus peculiares cartas y el orden de los elementos que expresó y publicó como su tabla periódica.

Finalmente su libro “*Osnovy Khimii*” (“Principios de Química”) se publicó en dos volúmenes, el primero en 1869 y el segundo en 1871 siendo el primer libro que utiliza la ley periódica como principio organizativo.

De este libro se hicieron ocho ediciones en ruso (1869-71, 1872-73, 1877, 1881-82, 1889, 1895, 1903 y 1906), en las que se adaptaba y revisaba su tabla periódica con los nuevos conocimientos adquiridos. La “obra más querida” de Mendeléiev se siguió publicando hasta cuarenta años después de su muerte en 1907.

#### Poder predictivo de la ley periódica: Ga, Sc y Ge<sup>18</sup>

La primera tabla de Mendeléiev contenía los 63 elementos conocidos e incluía 4 más, a los que asignó pesos atómicos de 45, 68, 70 y 180, pronosticando el descubrimiento de Sc, Ga, Ge y Tc, respectivamente. Mendeléiev también corrigió algunos pesos atómicos y tuvo el arrojo de alterar el orden de tres parejas de elementos: Te(128)-I(127), Hg(200)-Au(197) y Bi(210)-Tl(204), porque el orden creciente de pesos atómicos no encajaba con la semejanza de propiedades químicas, dejando claro la importancia de este aspecto.

Mendeléiev sostuvo con arrogancia sus atrevidas propuestas, que, para algunos, pudieron parecer incluso las ensoñaciones de un lunático. Pero pronto tanto su atrevimiento, como sus propuestas, iban a recibir un impulso definitivo con la contribución del químico francés, especialista en espectroscopía, Paul Émile (François) Lecoq de Boisbaudran.

A partir del estudio espectroscópico de 35 elementos, Lecoq publicó, en 1874, un volumen titulado “*Spectres Lumineux*” en el que se relacionan las características espectrales de elementos de la misma familia, estableciendo su variación respecto al pesos atómicos. Básicamente, esto sienta las bases del análisis espectroscópico.

En febrero de ese mismo año empezó a estudiar, mediante técnicas espectroscópicas, una muestra de 52 kg de mineral de blenda de las minas de Pierrefitte (departamento de Hautes Pyrénées), de la que aisló, finalmente, varios miligramos de un nuevo metal al que llamó galio (en honor a su patria, la Galia).<sup>19</sup> Alguien dijo entonces que, en realidad, era un monumento a su propio nombre Lecoq, el gallo, en latín *gallus* (que, en efecto, era el escudo heráldico de la familia). Sin embargo él lo negó en un artículo publicado en 1877.

Lecoq describía para el Ga una densidad de 4,7 g·cm<sup>-3</sup>, pero Mendeléiev había predicho un valor de 5,9 g·cm<sup>-3</sup>. Cuando Mendeléiev se enteró, con su natural aplomo, publicó en la misma revista de la Academia de Ciencias Francesa una nota afirmando que el Ga era su eka-aluminio y que

el valor de la densidad no era correcto. Incluso sugería a Lecoq que repitiera la medida. Hay que tener mucho valor y confianza ciega en tus ideas para enmendar la plana a un colega basándose en una predicción teórica; pero al repetir la medida, Lecoq demostró que Mendeléiev tenía razón. Lecoq tal vez pudo haberse sentido ofendido pero, sin embargo, escribió “*Creo que no es necesario insistir en la enorme importancia de la confirmación de las conclusiones teóricas de Mendeléiev*”.

En 1879 se le concedió la medalla Davy, antes que al propio Mendeléiev que tuvo que esperar a 1882 para compartirla con Meyer.

Poco después se encontraron los otros dos elementos “eka” de Mendeléiev. El primero fue descubierto por el químico sueco Lars Fredrik Nilson quién, fruto de su trabajo sobre muestras de euxenita y gadolinita, publicó, en 1879, el hallazgo de un nuevo elemento al que dio el nombre de escandio.<sup>20</sup> Fue otro sueco, Per Teodor Cleve, quién advierte que el escandio de Nilson era el eka-boro predicho por Mendeléiev.<sup>21</sup>

Finalmente, fue el alemán Clemens Winkler quien, durante la determinación de la composición de la argyrodita, mineral recién descubierto por Weisbach, encontró y bautizó al germanio.<sup>22</sup>

Por casualidad, los tres elementos “eka” recibieron nombres “nacionalistas”. Curioso y paradójico ya que, en todo caso, son los elementos que demostraron, incontestablemente, la validez de la “ley periódica” de Mendeléiev. Una ley que va más allá de la tabla, más allá de algo formal, más allá de países, se trata, en definitiva, de una ley natural y universal.

### La ley periódica de Mendeléiev: Una ley natural

Existen, como hemos visto, muchos antecedentes del descubrimiento de la TP. La situación estaba madura para que alguien la pusiera sobre la mesa. Se podría decir que, si Mendeleiev fue el padre de la tabla, hubo algunos (muchos) “tíos y primos”. Quizá, de todos ellos, Döbereiner fue el primero en relacionar orden (propiedades) y pesos atómicos, lo que le convierte en su indiscutible “abuelo”.

Ahora bien, ¿fue Mendeléiev tan solo uno más, sin más distinción que la de ser el último?. No, Mendeléiev no propuso una clasificación de los elementos, sino una “*Ley Natural*”.<sup>23</sup> Dejemos que él mismo se defienda:

*“Ninguna ley de la naturaleza, por general que sea, se ha establecido de una sola vez. Su reconocimiento ha sido precedido por muchos presentimientos. El establecimiento de una ley, sin embargo, no tiene lugar cuando se forma la primera idea, o incluso cuando es reconocida, sino sólo cuando ha sido confirmada por los resultados de la experimentación. El hombre de ciencia puede considerar estos resultados como la única prueba de la corrección de sus conjeturas y opiniones”.*

Desde luego, el protagonismo de Mendeléiev está fuera de toda duda y, por ejemplo, es muy poco probable que sin ella Meyer y Newlands hubieran logrado sus medallas Davy. No obstante, aunque su genio fue reconocido de múltiples maneras, nunca ganó el Premio Nobel. Como consecuencia de la concesión del Nobel de 1904 a Ramsay por el descubrimien-

to de los gases nobles, se consideró la candidatura del padre del ordenamiento de los elementos. En 1905 fue nominado por primera vez, pero lo ganó Bayer. En 1906 perdió por un voto (se dice que el de Arrhenius) frente a Henri Moissan y en enero de 1907 lo volvieron a nominar, ¡demasiado tarde! porque murió el 2 de febrero. En su entierro, los estudiantes protagonizaron un impresionante duelo en el que portaban tablas periódicas. El Prof. Konovalov pronunció el panegírico: “*Querido e inolvidable maestro: te traigo el último adiós de los químicos rusos... Que la tierra natal te sea leve*”.

En su lápida únicamente se lee, en caracteres cirílicos “Dimitri Ivánovich Mendeléiev”. Parece ser que el día que los canteros estaban grabando la tumba interrumpieron su trabajo debido al intenso frío. Al celebrarse el homenaje al año siguiente, alguien comentó: “que bien que en su tumba sólo ponga su nombre” y a su viuda, Ana, le pareció bien dejarlo así.

Mendeléiev es, sin duda, una de las personas más fascinantes de la historia de la ciencia y el presente trabajo obvia muchos aspectos de su compleja biografía. Sin embargo se han publicado excelentes trabajos al respecto, como, por ejemplo, el de Bavaev de 2009.<sup>24</sup>

Además, para, no sólo saber de él, sino para encuadrar su figura tanto en el panorama científico de la segunda mitad del siglo XIX como en el momento social de la Rusia de la época, hay que recomendar el libro de referencia, en español, escrito por Pascual Román.<sup>25</sup>

### La tabla periódica después de Mendeléiev

La tabla periódica, tal como la conocemos hoy, no es la que propuso Mendeléiev en 1869. De hecho, como se ha comentado, él mismo se pasó toda su vida modificándola y actualizándola en las sucesivas ediciones de sus “Principios de Química”. Esto fue asentando y probando la validez de su ley periódica, ya que cada “problema” que surgía se fue encajando en la tabla con modificaciones que no refutaban su vigencia.

El primero de esos problemas lo ocasionaron los nuevos elementos que se fueron encontrando en los minerales descubiertos por Gadolin: los elementos de tierras raras, de los que en ese momento, afortunadamente, sólo se conocían 6.

Estos elementos parecían no obedecer la ley periódica: tenían pesos atómicos muy parecidos y sus propiedades no variaban con el peso atómico. Para sortear este inconveniente, el químico checo Bohuslav Brauner, de la Universidad de Praga, gran seguidor y amigo de Mendeléiev, sugirió que podían constituir una serie de *transición interna* separada. Su figura fue, de hecho, destacada por éste en la 5ª edición de los “Principios de Química”, “por su contribución al reforzamiento de la Ley Periódica”.

Otro problema fue el descubrimiento de los gases nobles, cuya historia merece mucho más espacio pero intentaremos resumir aquí. Rayleigh, físico inglés que determinaba con exactitud pesos atómicos para refutar la hipótesis de Prout, tenía un problema con el nitrógeno y escribió una nota en *Nature* pidiendo ayuda. Fue un químico de Glasgow, Sir William Ramsay, quién se ofreció a ocuparse del problema. Para ello, supuso que en el nitrógeno atmosférico había una impureza más densa que el nitrógeno. Una vez aislada y estudiada espectroscópicamente descubrió que tal impureza

era, de hecho, un nuevo elemento al que llamó argón (de *argos*  $\equiv$  perezoso).

Al principio, argón no encajaba muy bien en la TP y el propio Mendeléiev sugirió que podría tratarse de una especie de “nitrozono”  $N_3$ . Pero poco después, Ramsay y Travers aislaron los otros cuatro gases nobles: en 1895 el helio, He, aunque dieron el crédito del descubrimiento previo a Janssen y Lockyer y se mantuvo el nombre helio; en 1898 descubrieron, en mayo, el neón, (de *neos*  $\equiv$  nuevo), en junio, el kriptón, (de *kriptos*  $\equiv$  oculto), y en julio, el xenón, (de *xenos*  $\equiv$  extraño, extranjero). Además, Ramsay sugirió en 1902 que podían ser un nuevo grupo, colocado entre los halógenos y los alcalinos.

Y al respecto de esta afirmación, Mendeléiev responde:<sup>26</sup> “*Esto es extremadamente importante para él (para Ramsay) como una afirmación de la posición de los elementos recién descubiertos, y para mí como una gloriosa confirmación de la aplicabilidad general de la ley periódica*”.

De hecho, ambos, Ramsay y Rayleigh, recibieron sendos Premios Nobel en 1904, de Química y de Física, respectivamente por el descubrimiento de los gases nobles. La nominación del Premio Nobel de Física a Rayleigh también menciona su contribución en la determinación de densidades de gases.

Al fin, la TP propuesta por Mendeléiev se iba aproximando a la que conocemos en la actualidad, aunque no en su forma de presentación. Esta se debe a Werner y Paneth.

Alfred Werner es conocido fundamentalmente por su teoría de la coordinación, que explicó la naturaleza de los compuestos “complejos”. Esta teoría es por la que recibió el Premio Nobel de Química en 1913, pero en 1905 había propuesto (y por ello figura en esta historia) una forma larga de la TP, que separaba los subgrupos A de los B. En ella los elementos de tierras raras estaban colocados a continuación del lantano, por lo que la tabla resultaba demasiado “engorrosa”.

Fue el químico austriaco Friedrich Adolf Paneth, quien lo solucionó, simplemente sacándolos de la tabla y colocándolos debajo, tal y como figuran en la gran mayoría de las tablas y que tan familiar nos resulta actualmente. Es decir, hizo lo mismo que Brauner sólo que no por motivos conceptuales, como aquel, sino solo por motivos gráficos.

### ¿Química o física?

La contribución de Antonius Johannes van den Broek al descubrimiento del número atómico suele ser olvidada. Pese a su formación (Doctor en Leyes) su afición por la física le había permitido publicar un buen número de artículos científicos. Con la idea de recuperar la propuesta de Newlands de establecer un número de serie para los elementos una vez ordenados, publicó, en 1913,<sup>27</sup> un artículo en el que apuntaba que “*El número de serie de cada elemento en la secuencia que los ordena por incremento de su pesos atómicos es igual a la mitad de su peso atómico y, por tanto, su carga intra-atómica*”.

Pero su principal contribución se produce ese mismo año en artículo de tan sólo dos páginas en *Nature*,<sup>28</sup> en el que va un paso más allá. Abandona la idea de que la carga es la mitad del peso atómico y, explícitamente, indica que la carga es el número de serie.

El concepto “número atómico” fue pronto acuñado por Ernest Rutherford quién, también en *Nature*,<sup>29</sup> publicó un artículo en el que se lee: “*La original sugerencia hecha por van den Broek, de que la carga del núcleo es igual al número atómico y no a la mitad del peso atómico, me parece ser muy prometedora*”.

Irónicamente, Rutherford, que afirmó: “*la ciencia, o es física, o es filatelia*”, recibió el Premio Nobel de química en 1908 “por sus experimentos en la desintegración de los elementos y la química de los materiales radiactivos”.

### Henry Moseley

Pese a que está plenamente establecido que Mendeléiev es el padre de la tabla, este artículo pretende conceder el máximo crédito, quizá no tanto al pionero de la idea (justa y prolíficamente homenajeado) sino a la persona que completó la tarea. Hay que reconocer que, si el padre de la tabla fue Mendeléiev; fue, no obstante, un “padre empírico” de la misma. Quien realmente se puede considerar como autor intelectual del concepto “tabla periódica” mediante la aplicación del número atómico es, sin duda, Henry Gwyn-Jeffreys Moseley (Figura 3).

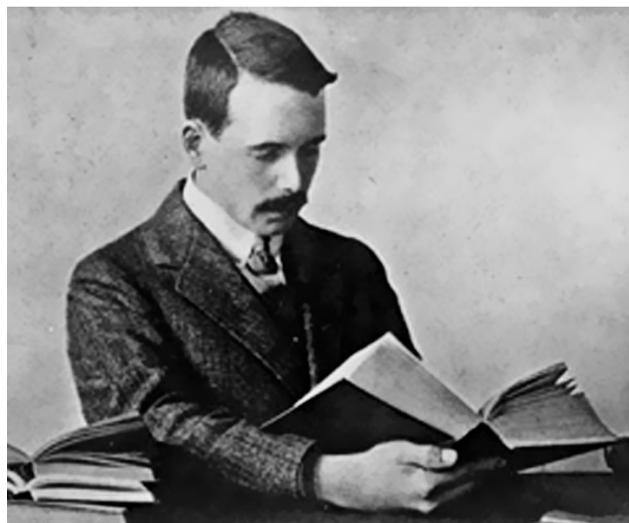


Figura 3. Henry Gwyn-Jeffreys Moseley (1887-1915).

Moseley nació en Weymouth, Dorset (Inglaterra), en el seno de una familia con profundo arraigo científico. Por ejemplo, su padre, Henry Nottidge Moseley, fue un reputado biólogo que participó en la conocida expedición científica *Challenger*. Pronto, el intelecto del joven Henry empezó a brillar y, tras graduarse en Oxford, empezó a trabajar, supervisado por Rutherford, en el estudio de los rayos X emitidos por los metales cuando son bombardeados por electrones.

Para este estudio, ideó un ingenioso dispositivo que podía girar para exponer, sucesivamente, varias muestras de cristales metálicos al haz de electrones. Empezó con 14 elementos, de los que 9 (del Ti al Zn) eran consecutivos en la TP. Y

observó que cada metal presenta una frecuencia de emisión de la línea  $K_{\alpha}$  característica.

En esos estudios, encontró que esta frecuencia de emisión era proporcional al cuadrado de un entero que representaba la posición de cada elemento en la tabla. Esta es la conocida como ley de Moseley:  $\sqrt{f} = k_1 (Z - k_2)$ , donde  $f$  es la frecuencia de los rayos X,  $k_1$  y  $k_2$  son constantes y  $Z$  es el número atómico de van den Broek y Rutherford.<sup>30</sup>

De su escrito en *Nature*,<sup>31</sup> se deduce que Moseley sabía muy bien la trascendencia de su descubrimiento y su relación con la tabla periódica: “Tenemos aquí una prueba de que en el átomo hay una cantidad que se incrementa regularmente al pasar de un elemento al siguiente. Esta cantidad sólo puede ser la carga positiva del núcleo central, de cuya existencia tenemos ya una prueba definitiva”.

Moseley continuó sus trabajos con otros 30 elementos, aunque no pasó del Au. La razón fue la primera Guerra Mundial. Moseley se alistó en la división de *Royal Engineers* y sirvió como oficial tecnológico en la batalla de Gallípoli. Cayó en combate el 10 de agosto de 1915, a los 27 años de edad, alcanzado por un francotirador turco mientras transcribía una orden telefónica. A partir de la muerte de Moseley, y todavía actualmente, el Reino Unido no permite a los científicos alistarse en tiempos de guerra.

La TP es el logro más importante de la química de los elementos y, como reza el título de este artículo, “el icono de los químicos”. No deja de ser lamentable que ninguna de las dos personas<sup>23</sup> que más contribuyeron a su concepción ganara el Premio Nobel. Muchos creemos que los dos lo merecieron sobradamente, pero ambos murieron sin obtenerlo.

El Prof. Román sugiere en su libro<sup>25</sup> que la comunidad científica debiera considerar la idea de dar a un nuevo elemento el nombre de moseleyio. Desde aquí apoyamos la propuesta, que sería un acto de justicia. Creemos que ese es el nombre que debiera haber tenido el elemento 102, junto al 101 mendelevio. No deja de ser, en cierto modo, una paradoja cruel que, tras el mendelevio (homenaje a alguien que pugnó por el Nobel en tres ocasiones, sin conseguirlo), se haya colocado de vecino al nobelio. ¿No hubiera sido mejor que estuvieran juntos ambos autores de la ley periódica?

A partir de la contribución de Moseley, se asignó un ordinal a cada elemento y se pudo saber, de forma inequívoca, qué huecos faltaban por rellenar (en esos momentos eran: 43, 61, 72, 75, 85, 87 y 91) estableciendo además, de forma inequívoca, el número exacto de lantánidos.

El descubrimiento de los elementos que corresponden a esos huecos se llevó a cabo en los años siguientes, lo que no alteró la TP. No obstante, sí sufrió un último cambio de aspecto a partir 1940, cuando Seaborg descubrió 9 elementos que ubicó como “actínidos” y el transactínido 106, al que, finalmente, se dio el nombre de seaborgio.

Seaborg compartió con McMillan, el descubridor del neptunio, el Premio Nobel de química en 1951 “por sus descubrimientos en la química de los elementos transuránicos”. Después de recibir el Premio Nobel todavía descubrió otros cinco elementos.

Con el establecimiento de los actínidos la tabla alcanzó su aspecto actual. A partir de ahí comenzó el paulatino descubrimiento de elementos del séptimo periodo; los transactínidos.

Yuri Tsolakovich Oganessian,<sup>32</sup> que ha participado también en el descubrimiento de otros transactínidos, y otros treinta y dos autores, han publicado el descubrimiento del elemento 117, lo que completa el 7º periodo. No obstante, el propio Seaborg publicó en 1969<sup>33</sup> un artículo en el que habla de una expansión de la tabla periódica hasta el elemento número 168, el que sería el eka-118, lo que incluiría la serie de los llamados “superactínidos” (122-153). En 1996, publicó un último artículo sobre la TP.<sup>34</sup>

## Conclusión

El artículo se titula, “El icono de los químicos” pero esta idea no es original de los autores. En el prefacio del libro de Scerri<sup>35</sup> puede leerse: “La tabla periódica de los elementos es uno de los más poderosos iconos de la ciencia: un documento simple que captura toda la esencia de la química en un elegante diseño”.

Y en el libro de Rainer-Canhan,<sup>36</sup> que muchos hemos usado para nuestras clases, se dice: “Del mismo modo que un mapa geográfico es indispensable para un piloto aéreo o naval, así la tabla periódica proporciona un mapa químico al químico inorgánico”.

Pues bien, éstos son nuestros iconos particulares: la evocación de la Tabla (Figura 1) y los que, compartiendo la opinión de Gorin,<sup>23</sup> son los autores del sistema periódico: Mendeléiev (Figura 2) y Moseley (Figura 3).

## Bibliografía

1. Adaptación de la conferencia impartida por E. J. F. en la “III Escuela de Verano sobre Historia de la Química. Sobre Átomos y Moléculas: 150 años después del Congreso de Karlsruhe”, Universidad de La Rioja, 14-16 de julio de 2010.
2. Soledad Esteban Santos, *La Historia del Sistema Periódico*, Ed. UNED, Madrid, 2009.
3. J. P. Cooke, Jr., *Mem. Am. Acad. new series*, v; *Am. J. Sci.*, **1854**, 17, 387.
4. W. Odling, *Quarterly J. Science* **1864**, 1, 642–648.
5. J. W. Döbereiner, *Ann. Physik Chemie* **1829**, 15, 301–307.
6. A. E. Béguyer de Chancourtois, *Compt. Rend.* **1862**, 54, 757, 840, 967.
7. J. A. R. Newlands, *Chemical News* **1863**, 7, Feb. 7, 70–72.
8. J. A. R. Newlands, *Chemical News* **1864**, 10, July 30, 59–60. **1864**, 10, August 20, 94–95.
9. J. A. R. Newlands, *Chemical News* **1865**, 12, Aug. 18, 83.
10. Report on the Law of Octaves *Chemical News* **1866**, 13, March 9, 113.
11. (a) P. Román Polo, *An. Quím.* **2010**, 106, 231–239. (b) P. Román Polo, *An. Quím.* **2000**, 45. (c) A. J. Ihde, *J. Chem. Ed.* **1961**, 38, 83–86. (d) C. de Milt, *J. Chem. Ed.* **1951**, 28, 421.
12. R. Cid Manzano, *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien.* **2009**, 6, 396–407.
13. E. Cannizzaro, *Compendio de un curso de filosofía química* (edición traducida y comentada de P. Román), Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, 2009.
14. Un artículo describiendo el conflicto de prioridad entre Mendeleev y Meyer es: J. W. van Spronsen, *J. Chem. Ed.* **1969**, 46, 136.
15. I. S. Dmitrev, P. D. Sarkisov, I. I. Moiseev, *Rev. Univ. St. Petersburg* **2009**, 10, 69–79. (escrita en ruso excepto el artículo citado que está en inglés).

16. D. I. Mendeléiev, *J. Russ. Chem. Soc.* **1869**, *1*, 60–77.
17. D. I. Mendeléiev, *Zeitsch. Chemie* **1869**, *12*, 405–406.
18. M. E. Weeks, *J. Chem. Ed.* **1932**, *9*, 1605–1619.
19. P. E. Lecoq de Boisbaudran, *Compt. Rend.* **1875**, *81*, 493–495.
20. (a) L. F. Nilson, *Compt. Rend.* **1879**, *88*, 645–648.  
(b) L. F. Nilson, *Chem. Ber.* **1879**, *12*, 554–557.
21. (a) P. T. Cleve, *Compt. Rend.* **1879**, *89*, 419–22. (b) P. T. Cleve, *Chem. News* **1879**, *40*, 159–160.
22. C. Winkler, *Chem. Ber.* **1886**, *19*, 210–211.
23. Un artículo sobre el papel de Menleev y Moseley en el descubrimiento de la ley periódica, es: G. Gorin, *J. Chem. Ed.* **1996**, *73*, 490–493.
24. E. V. Babaev, *Dmitry Mendeleev: A Short CV, and A Story of Life*, <http://bit.ly/VHjHgE>, visitada el 25/10/2012. Versión resumida en *Mendeleev Commun.* **2009**, *19*, 1–3.
25. P. Román Polo, *Mendeléiev: El profeta del orden químico*, 2ª edición, Nivola, Tres Cantos (Madrid), **2008**.
26. Según cita J. R. Smith, *Persistence and Periodicity*, tesis no publicada, University of London, **1975**.
27. A. J. van den Broek, *Phisikalische Zeitschrift* **1913**, *14*, 32–41.
28. A. J. van den Broek, *Nature* **1913**, *92*, 372–373.
29. (a) E. Rutherford, *Nature*, **1913**, *92*, 423. (b) E. Rutherford, *Phil. Mag.* **1914**, *27*, 488 – 498.
30. H. G. J. Moseley, *Phil. Mag.* **1913**, *26*, 1024.
31. H. G. J. Moseley, *Nature* **1913**, *92*, 554.
32. Y. T. Oganessian, *et al.* (y 32 autorés más), *Phys. Rev. Lett.* **2010**, *104*, 142502.
33. G. T. Seaborg, *J. Chem Ed.* **1969**, *46*, 626–634.
34. G. T. Seaborg, “Evolution of the modern periodic table”, *J. Chem. Soc. Dalton Trans.*, **1996**, 3899.
35. E. R. Scerri, *The Periodic Table. Its Story and its Significance*, Oxford University Press, New York, **2007**.
36. G. Rayner-Canham, *Química Inorgánica Descriptiva*, 2ª edición, Pearson Educación, México, **2000**.

# III Curso de divulgación



## Los Avances de la Química y su impacto en la Sociedad



Más información:  
[b.herradon@csic.es](mailto:b.herradon@csic.es)  
<http://www.losavancesdelaquimica.com/>