

## 8

## LOS QUE PUDIERON SER MENDELEEV Y SUS SUCESORES. INTENTOS INFRUCTUOSOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y MODIFICACIONES NOTABLES A LA TABLA PERIÓDICA DE MENDELEEV

**Dr. Teodoro S. Kaufman**

*Instituto de Química Rosario (IQUIR, CONICET-UNR) y*

*Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, Universidad Nacional de Rosario*

*Suipacha 531, 2000 Rosario, República Argentina. E-mail: kaufman@iquir-conicet.gov.ar*

Ninguna ley de la naturaleza, ha sido establecida de una sola vez; su reconocimiento siempre ha estado precedida por muchos presentimientos. Si bien Mendeleev es actualmente reconocido de manera universal como el padre de la *Tabla Periódica de los Elementos*, por su exitoso proceso de sistematizar la disposición de los elementos a través del enunciado de la *Ley Periódica*, no estuvo solo en el intento,<sup>1</sup> pudiéndose contar hasta seis co-descubridores de la Tabla Periódica (Begúyer de Chancourtois, Newlands, Odling, Hinrichs, Meyer y Mendeleev), indicio de un esfuerzo esencialmente pan-europeo de investigadores coetáneos por clasificar lógicamente los elementos.<sup>2</sup>

Los cinco criterios que debería cumplir la definición de una Tabla Periódica en el sentido del sistema periódico clásico son:

Contener una secuencia de pesos atómicos de los elementos conocidos, ordenada crecientemente.

Definir los lugares en la Tabla basados en dicha secuencia.

Dividir la secuencia de pesos atómicos en secciones, dando lugar a grupos reconocibles de elementos análogos dispuestos en filas o columnas.

Exhibir relación entre periodicidad y valencia.

Proveer o evidenciar una división entre grupos principales y sub-grupos.

Es así, que varios científicos de diferentes países – particularmente aquéllos que presentaron resultados muy similares en la década de 1860- reclamaron la primacía del descubrimiento una vez que los hallazgos de Mendeleev se hicieron públicos.

Por otra parte, en conocimiento de las reglas de clasificación, el descubrimiento de nuevos elementos permitió que los sucesores de Mendeleev reformularan la Tabla Periódica, que evolucionó hasta su composición actual. Entre los precursores y eventuales competidores del genial ruso, como así entre sus sucesores, se destacan:

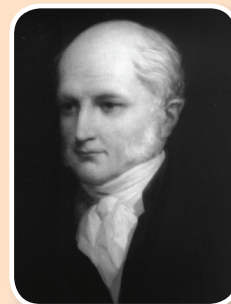


**Antonie-Laurent de Lavoisier (1743-1794):** Este químico francés, padre de la química moderna al que se le debe el principio de conservación de la materia, escribió en 1789 el *Traité Elementaire de Chimie*, considerado el primer libro de texto moderno de química. Este tratado contenía una lista de los elementos (sustan-

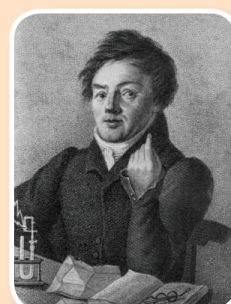
cias que no pueden continuar siendo descompuestas en otras más simples) conocidos, que incluía oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, fósforo, mercurio, zinc y azufre, además de luz y "calórico". Su elemental modelo sólo clasificaba los elementos en metales y no-metales (además de "fluidos elásticos" y "tierras"), por lo que no tuvo gran aceptación.<sup>3</sup>

**William Prout (1785-1850):**

En 1815, este químico y médico inglés estableció una teoría que considera a todos los elementos químicos como formados por agregados sucesivos de hidrógeno. En consecuencia, el peso atómico de cada elemento correspondería al peso atómico del hidrógeno multiplicado por un número entero, en orden ascendente, con lo que sería posible ordenar los elementos conocidos. Esta teoría quedó desacreditada por las desviaciones observadas experimentalmente entre los pesos atómicos y los números enteros; para 1860 las determinaciones más exactas de los pesos atómicos, condujeron a su completo abandono.<sup>4</sup>



**Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849):** Hijo de un humilde cochero, a los 14 años entró de aprendiz en una farmacia y a los 17 ya era asistente, logrando trabajar en varios establecimientos. Determinado a remontar sus dificultades iniciales de solvencia económica, este brillante autodidacta bávaro protegido de Johann Goethe logró ser Profesor de Química y Tecnología en la Universidad de Jena, sin haber pasado por la escuela secundaria ni contar con educación superior formal, siendo conocido actualmente como el padre de la catálisis.<sup>5</sup>

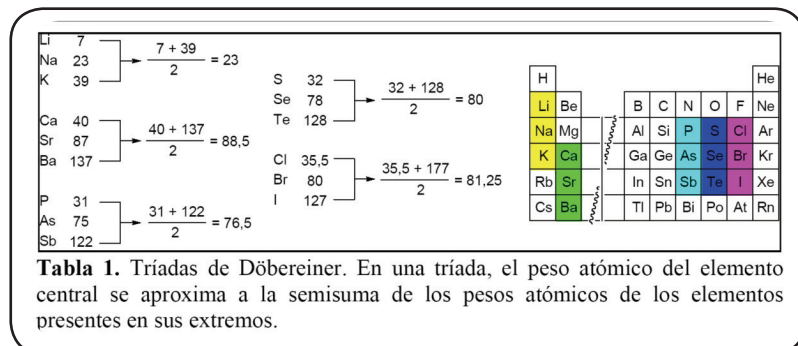


Este químico alemán realizó una serie de trabajos que ya en 1817 que le permitieron identificar grupos de elementos con propiedades químicas similares, como litio, sodio y potasio; calcio estroncio y bario, azufre, selenio y telurio, como así cloro, bromo e yodo.

Al reconocer estas regularidades, este científico alemán propuso la Ley de las Tríadas (Tabla 1), señalando

que en una tríada (de elementos con propiedades químicas similares), el elemento del medio presenta un peso atómico equivalente a la semisuma de los otros elementos de la tríada y observando que las densidades de algunas tríadas seguían patrones similares.

Recién en 1829 publicó sus resultados, donde pro-



puso que si se ordenan los elementos por sus masas atómicas y se representan gráficamente ciertas propiedades frente a esas masas atómicas se obtienen curvas ondulantes, señal de la periodicidad de dichas propiedades como función de la masa atómica.

Como otros investigadores europeos, el famoso químico Leopold Gmelin (1788-1853) de la Universidad de Heidelberg también efectuó varias contribuciones a la teoría aportando nuevas tríadas. Con unos 60 elementos conocidos, hacia 1852 se habían identificado unas 20 tríadas. En una época de incesantes descubrimientos, este modelo perdió vigencia rápidamente frente al incesante hallazgo de nuevos elementos que era incapaz de acomodar y la inexactitud de algunos pesos atómicos que se traducían en dificultades para conformar nuevas tríadas. Las tríadas fueron extendidas a cuartetos (Fluor, cloro, bromo e yodo; magnesio, calcio, estroncio y bario) en 1851 por el químico francés de la Sorbona Jean Baptiste A. Dumas (1800-1884).

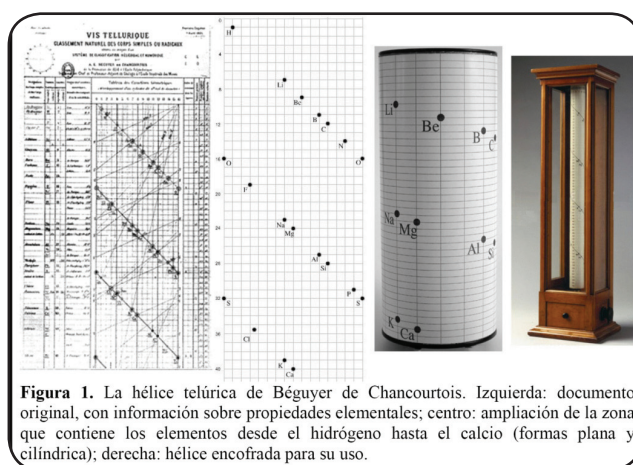
**Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois (1820-1886):** Este geólogo francés, Profesor de la Escuela de Minas de París, es considerado el primero en darse cuenta de la periodicidad de propiedades físicas en los elementos. Buscando hallar una función matemática para expresar la variación de los pesos atómicos, ordenó los elementos conocidos (incluyendo algunos iones y compuestos) en orden creciente de su peso atómico, disponiéndolos como una espiral sobre un cilindro, cuyo paso era de dieciséis unidades de masa por vuelta.<sup>6</sup>

Béguyer de Chancourtois obtuvo de ese modo lo que llamó la *hélice telúrica* (Figura 1), una forma primitiva de tabla periódica que publicó en 1862 y que le permitió observar la presencia de elementos con propiedades similares a intervalos regulares de siete elementos, hacer algunas predicciones sobre la estequiometría de algunos óxidos metálicos y enunciar que "las propiedades de los elementos son propiedades de números". Esta Tabla cum-



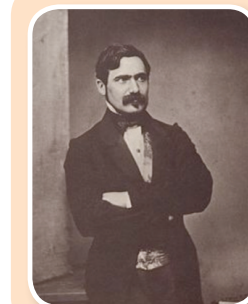
pliría los criterios números 1 y 3.

En una época de comunicación relativamente difícil y a pesar de haber informado sus resultados a la Academia Francesa de Ciencias y publicar los mismos en su revista oficial, por usar términos geológicos en lugar de vocabulario químico y debido a que el editor omitió la inclusión del diagrama de su método, necesario para transmitir eficazmente sus ideas, su trabajo pasó casi desapercibido. Chancourtois fue uno de los que infructuosamente salió a puntualizar su contribución después de que los trabajos de Mendeleev se hicieran públicos. Sin embargo, si bien puede atribuírsele haber descubierto la periodicidad, de Chancourtois fracasó en determinar la frecuencia de la misma.



**Max von Pettenkofer (1818-1901):** Este químico bávaro, considerado el padre de la higiene, estudió farmacia y medicina en Munich, graduándose en 1843 para, luego de trabajar un corto tiempo con Justus von Liebig en Giessen, ser designado químico en la casa de la moneda de Munich en 1845. En 1847 fue electo profesor extraordinario de química en la Facultad de Medicina, donde publicó trabajos sobre relaciones numéricas entre pesos atómicos de elementos análogos.<sup>78</sup> En 1850, precediendo a Dumas, formó "series homólogas" de más de tres elementos cuyas diferencias entre pesos de combinación eran aproximadamente constantes, extendiendo las tríadas de Döbereiner.

Pettekofer sugirió que entre elementos químicamente semejantes, las diferencias sucesivas de pesos atómicos eran constantes o eran múltiplos de una constante. Es decir, que entre dichos elementos, los pesos atómicos pueden derivarse mediante una progresión aritmética cuyo inicio depende del peso atómico más bajo y cuyo incremento es el múltiplo de un entero. Así, en la serie oxígeno (16), azufre (32), selenio (86) y telurio (128), la diferencia entre los dos primeros es 16, lo cual equivale a



2 x 8, y entre los otros dos es 48, o sea 6 x 8.

**John Alexander Reina Newlands (1837-1898):** Hijo de un ministro presbiteriano escocés y madre de ascendencia italiana, su educación formal fue de sólo un año (1856) en el Royal College of Chemistry de Londres, luego de lo cual ingresó como Profesor de Química de la Escuela de Medicina para Mujeres de Londres, donde se dedicó a buscar patrones de comportamiento entre los compuestos orgánicos e inorgánicos. Trabajando de manera independiente de otros colegas del continente, este químico inglés fue el primero en proponer públicamente el concepto de periodicidad entre los elementos.

Entre 1863 y 1866 publicó una serie de trabajos que culminaron con la clasificación de los 56 elementos conocidos en ese entonces en 11 grupos, sobre la base de sus propiedades físicas. Newlands notó por una parte que si ordenaba a los elementos por sus pesos atómicos, aquellos que tenían números consecutivos frecuentemente se encontraban en el mismo grupo u ocupaban posiciones similares en grupos diferentes (Tabla 2).

Por otra parte, observó la existencia de pares de elementos similares, que diferían en su peso atómico por un múltiplo de siete (Tabla 3) como las relaciones entre una nota y su octava en la escala musical, por lo que ordenó los elementos en una Tabla de siete columnas.

Esta "Ley de las octavas" quizás una analogía extendida de las "Ley de las tríadas" fue enunciada como "un dado elemento exhibirá comportamiento

análogo al octavo elemento que le sigue en la Tabla".<sup>9</sup>

La misma no dejaba lugar para la inclusión de nuevos elementos, presentaba octavas de hasta 10 elementos y fallaba notablemente con elementos de pesos atómicos superiores al calcio. Por ello, fue ridiculizada en su tiempo por la Royal Society ante quien lo presentó, y la publicación de una parte importante de las propuestas de Newlands fue rechazada. Desmoralizado y humillado, Newlands abandonó su trabajo, continuando su vida como químico jefe en una fábrica de azúcar.

Newlands reconoció la periodicidad de las propiedades elementales y fue capaz de predecir, un lustro antes que Mendeleev, la existencia del germanio (PA= 72,6), cuyo peso atómico –aproximadamente 73- debería ser el promedio entre el silicio y el estaño; sin embargo, no pudo formular un sistema de clasificación autoconsistente basado en esta periodicidad, ya que no dejó en su Tabla lugar para alojar al mismísimo germanio.

El trabajo de Newlands cumple con los criterios números 1 y 2, satisfaciendo parcialmente o de un modo implícito los restantes criterios.

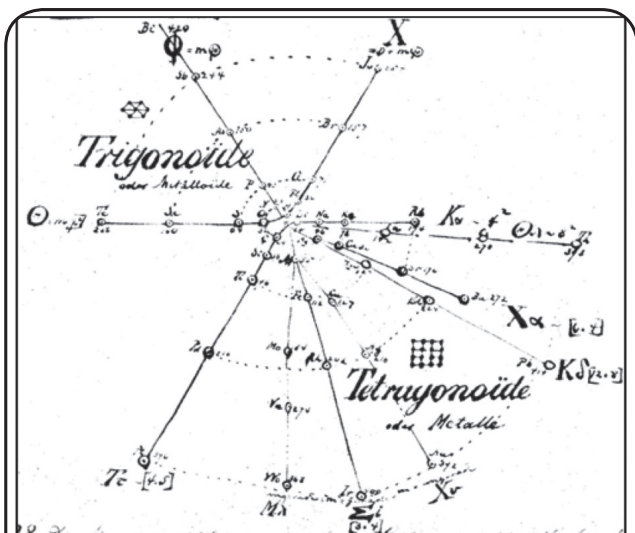
Conocido el trabajo de Mendeleev, Newlands reclamó la primacía en la publicación, reclamo que no fue apoyado por la Royal Society. Newlands publicó una colección de sus trabajos sobre atomicidad en 1884 bajo el título de *Discovery of the Periodic Law*. El primer reconocimiento de la Royal Society hacia Newlands se produjo en 1884, cuando fue invitado a dar una conferencia sobre la Ley Periódica y en 1887, cuando lo condecoraron con la medalla Davy.

Menor equivalente	Miembro siguiente	Dif.	Miembro inferior	Miembro superior	Dif.
Mg= 12	Ca= 20	8	Li= 7	K= 39	32
O= 8	S= 16	8	Mg= 12	Cd= 56	44
C= 6	Si= 14,2	8,2	Mo= 46	W= 92	46
Li= 7	Na= 23	16	S= 16	Te= 64,2	48,2
F= 19	Cl= 35,5	16,5	Ca= 20	Ba= 68,5	48,5
N= 14	P= 31	17	P= 31	Sb= 120,3	89,3
			Cl= 35,5	I= 127	91,5

Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº	Elem	Nº
H	1	F	8	Cl	15	Co/Ni	22	Br	29	Pd	36	I	42	Pt/Ir	50
Li	2	Na	9	K	16	Cu	23	Rb	30	Ag	37	Cs	44	Os	51
Be	3	Mg	10	Ca	17	Zn	24	Sr	31	Cd	38	Ba/V	45	Hg	52
B	4	Al	11	Cr	18	Y	25	Ce/La	33	U	40	Ta	46	Tl	53
C	5	Si	12	Ti	19	In	26	Zr	32	Sn	39	W	47	Pb	54
N	6	P	13	Mn	20	As	27	Di/Mo	34	Sb	41	Nb	48	Bi	55
O	7	S	14	Fe	21	Se	28	Rh/Ru	35	Te	43	Au	49	Th	56

**Tabla 3. Contribuciones de Newlands (1863-1866).** "Si los elementos se acomodan en el orden de sus equivalentes, con unas pocas transposiciones, se observará que los elementos que corresponden a un mismo grupo usualmente aparecen en la misma línea horizontal". Arriba. Relaciones entre pesos equivalentes según Newlands (1863). Izquierda: Cálculo de las diferencias entre pesos equivalentes entre los elementos de menor peso equivalente y los siguientes en cada tríada. Centro: Diferencias entre pesos equivalentes de los miembros superior e inferior de cada tríada. Derecha: Imagen gráfica de la Ley de las Octavas de Newlands. Abajo: Ley de las Octavas de Newlands en su versión de 1866.





**Figura 2.** Tabla espiral de Hinrichs aparecida en su libro *Atomechanik* de 1867, con el hidrógeno en su centro. Se observa que el radio  $\Theta$  a las 9 presenta los elementos oxígeno, azufre, selenio y telurio en orden preciso; el radio  $\Phi$  a las 11 muestra certeramente los elementos nitrógeno, fósforo, arsénico, antimonio y bismuto y el radio X a la 1 representa de modo exacto a la serie fluor, cloro, bromo e yodo. Siguiendo en progresión horaria, se observa la serie de los metales alcalinos litio, sodio, potasio y rubidio correctamente emplazada sobre el radio K a las 3; le siguen el entonces recientemente descubierto cerio, incorrectamente dispuesto entre indio y talio. Los alcalinotérreos magnesio, calcio, estroncio y bario continúan, en correcto orden sobre el eje  $X\alpha$  a las 4, con el zinc y el cadmio desprendiéndose a la altura del magnesio, eje que culmina con el plomo, erróneamente dispuesto. Se observa además la tríada cobre, plata y oro sobre el radio  $Xv$  a las 5, incorrectamente desprendiéndose del aluminio. También se observa una interesante relación entre el silicio y el titanio, mostrados sobre el mismo radio, a las 7.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	B= 11,0	Al= 27,3				In= 113,4?		Tl= 202,7
	C= 11,97	Si= 28				Sn= 117,8		Pb= 206,4
	N= 14,01	P= 30,9	Ti= 48		Zr= 89,7	Sb= 122,1		Bi= 207,5
	O= 15,96	S= 31,98	V= 51,2	As= 74,9	Nb= 93,7	Te= 128?	Ta= 182,2	
	F= 19,1	Cl= 35,38	Cr= 52,4	Se= 78	Mo= 95,6	I= 126,5	W= 183,5	
			Mn= 54,8	Br= 79,75	Ru= 103,5		Os= 198,6?	
			Fe= 55,9		Rh= 104,1		Ir= 196,7	
			Co= Ni= 58,6		Pd= 106,2		Pt= 196,7	
Li= 7,01	Na= 22,99	K= 39,04		Rb= 85,2		Cs= 132,7		
			Cu= 63,3		Ag= 107,66		Au= 196,2	
Be= 9,3?	Mg= 23,9	Ca= 39,9		Sr= 87,0		Ba= 136,8		
			Zn= 64,9		Cd= 111,6		Hg= 199,8	

**Tabla 5.** Ordenamiento de la Tabla Periódica de Julius Lothar Meyer de 1870, con la clasificación de 55 de los elementos conocidos en 11 grupos y 9 períodos de hasta 8 elementos cada uno (excepto el grupo 4). Si bien contiene al recién descubierto indio al que atribuye un peso atómico más correcto que Mendeleev, no provee una ubicación para el hidrógeno. Clasifica correctamente cobre, plata y oro, como así zinc, cadmio y mercurio y, sin predecir su existencia, marca sendos lugares vacíos en el grupo V, que serán ocupados por galio y germanio y señala la posición que ocupará el escandio en el grupo IV, posicionando además en los lugares correctos a los elementos indio, talio, estaño y plomo. Las posiciones relativas de los elementos de transición que ubica en los grupos IV, VI y VII son notablemente exactas.

fue el primero en reconocer el "comportamiento periódico", es decir la repetición del patrón de variación de una propiedad. Presentó en 1864 una primera clasificación de 28 elementos según sus volúmenes atómicos, teniendo en cuenta su valencia o capacidad de combinación y haciendo hincapié en la regularidad de las diferencias de pesos atómicos de elementos relacionados.<sup>12</sup>

Meyer perfeccionó su idea elaborando para 1868 una Tabla que entregó a un colega para su evaluación antes de publicarla (Tabla 5). La misma superaba la de 1864 y contenía los elementos de transición, resultando muy similar a la que Mendeleev, presentaría al año siguiente. El trabajo de Meyer, que ha llevado a mu-

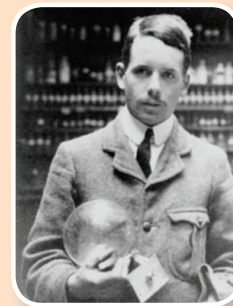
chos a considerarlo el co-creador de la Tabla Periódica de Mendeleev, apareció publicado por primera vez en una revista científica en 1870, unos pocos meses después de la presentación del trabajo del ruso.

Algunas características superiores de la Tabla de Meyer movieron a Mendeleev a modificar ligeramente su Tabla en 1870. En general, mientras Mendeleev dividió claramente la importancia de las consecuencias químicas de la periodicidad, Meyer estaba más impresionado por la periodicidad de las propiedades físicas de los elementos y no pensó que podría emplear su Tabla para efectuar predicciones sobre propiedades de los elementos.

Aunque nunca tuvo en mente utilizar su trabajo para predecir nuevos elementos o corregir datos de los ya existentes, Meyer aseguró que los lugares en blanco dejados en su Tabla podrían ser llenados por nuevos elementos a descubrirse y que eventualmente algunos elementos podrían ser cambiados de posición en función de nuevos conocimientos.

### Los sucesores de Mendeleev

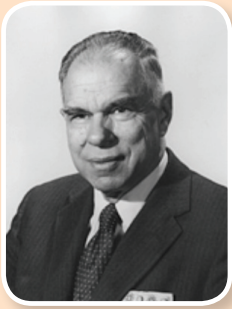
**Henry G. J. Moseley (1887-1915):** En 1903, el inglés Sir Ernest Rutherford descubrió que la radioactividad es causada por la ruptura de los átomos y en 1911, A. van den Broek propuso que el peso atómico se relacionaba con la carga nuclear, término que luego se denominó número atómico. En 1914 el joven físico británico Henry G. J. Moseley descubrió que al hacer incidir un haz de rayos X sobre un elemento, los átomos de éste emiten rayos X con una frecuencia característica, que es función de su número de protones, es decir, de su número atómico. Este hallazgo le permitió rediseñar la Tabla Periódica en función de los números atómicos de los elementos, los que así adquirieron sentido científico.<sup>13</sup>



Moseley reformuló la Ley Periódica estableciendo que las propiedades físicas y químicas de los elementos son funciones periódicas de sus números atómicos. El descubrimiento de los isótopos reforzó este concepto. El resultado fue el embrión de la Tabla Periódica de Mendeleev-Moseley que conocemos en la actualidad.<sup>14</sup> Por analogía con Mendeleev, los trabajos de Moseley también permitieron la predicción de la existencia de nuevos elementos (tecnecio, renio y praseodimio), descubiertos entre 1925 y 1937.

**Glen T. Seaborg (1912-1999):** Conocido como el padre de los elementos transuránicos, en 1945 y durante su trabajo relacionado con el Proyecto Manhattan sobre la bomba atómica estadounidense, este científico norteamericano de ascendencia sueca y Premio Nobel de 1951, experimentó imprevistas dificultades en el aislamiento de compuestos radioactivos de americio (95) y curio (96).<sup>15</sup>

Sospechando que ello se debería a una clasificación inapropiada de los mismos y en contra la opinión



de sus colegas, propuso la inclusión de los mismos en una nueva serie, los actínidos, por semejanza con los lantánidos, reconfigurando así la Tabla Periódica (Figura 3).

Los trabajos de Seaborg predicen la existencia de una serie de elementos muy pesados que comprenden los transactínidos (104 a 121) y los superactínidos (122 a 153). Hasta

la fecha se conocen 117 elementos desde el hidrógeno hasta el elemento número 118, que ha sido producido artificialmente en fecha reciente. El elemento número 117 es el único de la serie que aún no ha sido preparado.<sup>16</sup>

químico genial, un físico de primera clase, un investigador fructífero en los campos de la hidrodinámica, la meteorología, la geología, ciertas ramas de la tecnología química (explosivos, petróleo y combustibles, por ejemplo) y otras disciplinas afines a la química y la física; un completo experto en industria química y en industria en general y un pensador original en el terreno económico". Sin embargo, además de su Tabla Periódica, se destacan en Mendeleev:

Su producción científica, que supera los 250 artículos y voluminosos libros y tratados.

Su investigación, que fue responsable de proveer a Rusia avances tecnológicos.

Sus estudios en meteorología, que condujeron al desarrollo de un barómetro exacto.

Fue miembro fundador de la Sociedad Química Rusa (1868).

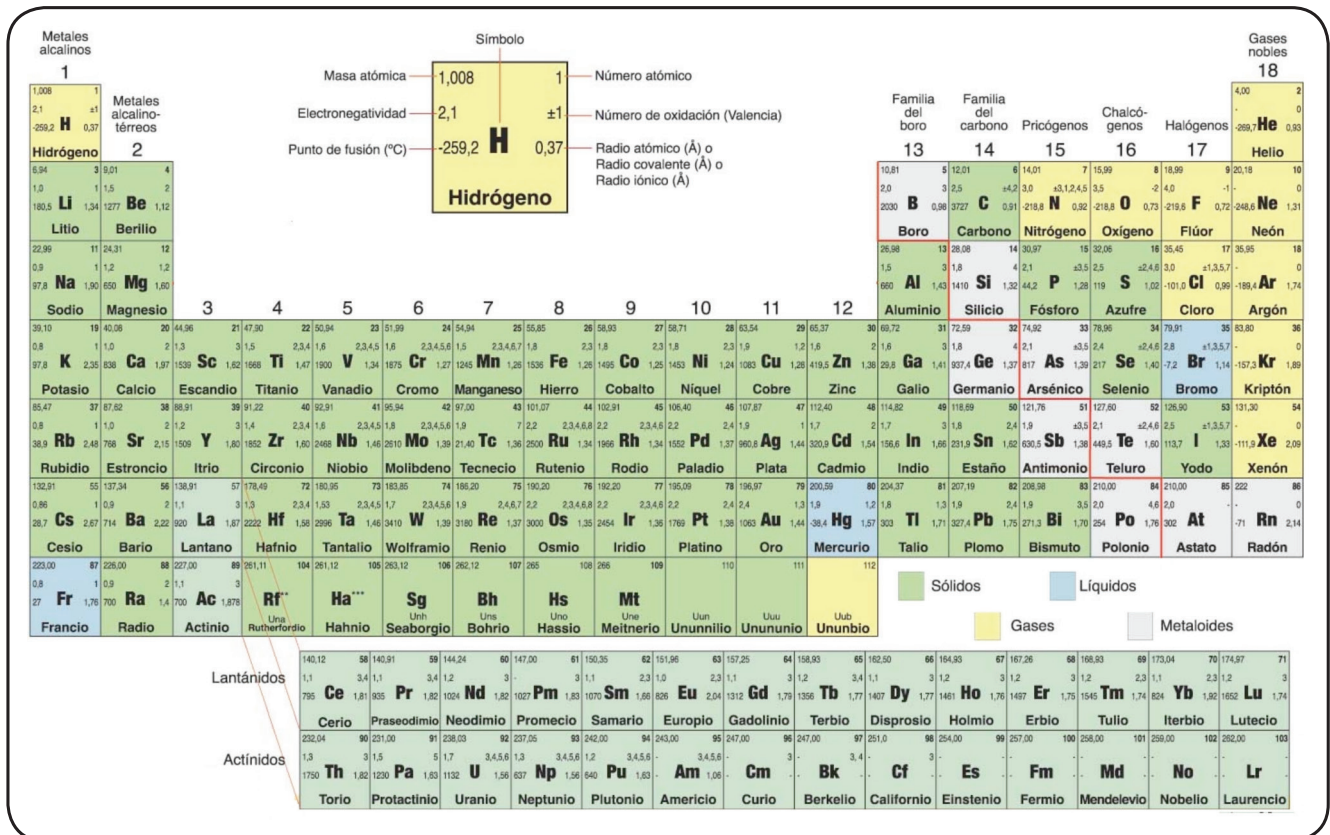


Figura 3. Moderna versión de la Tabla Periódica. Esta consigna 109 de los 117 elementos conocidos, incluyendo el mendeleevio como elemento número 101.

### El legado de Mendeleev

Mendeleev fue un científico universal.<sup>17</sup> Recordado principalmente en Occidente por su desarrollo de la *Tabla Periódica de los Elementos*, este científico ruso hizo un sinnúmero de otras contribuciones importantes a la química. En los últimos años de su vida, Mendeleev mismo señaló que "cuatro temas me han hecho de renombre, la Ley Periódica, el estudio de la elasticidad de los gases, mi entendimiento de las soluciones como asociaciones y los *Principios de Química*".

Por su parte, L. A. Tchugayev, un químico ruso e historiador de la ciencia, lo caracterizó como "un

Sus notables contribuciones al estudio de soluciones, que además le permitieron establecer el estándar de graduación alcohólica del vodka, una bebida nacional rusa.

Fue el primer Director de la Oficina Nacional de Pesas y Medidas, desde 1893 hasta su muerte; la organizó y dispuso la adopción en Rusia el sistema métrico decimal.

Favoreció la incorporación de la mujer al mundo del trabajo.

Sugirió la gasificación del carbón, seguida del transporte del gas obtenido por oleoductos.

Fue consejero en temas de agricultura, minería y petroquímica, entre otros.

Contribuyó a abrir vías de comunicación entre los científicos de Europa y Norteamérica.

Descubrió la existencia de la temperatura crítica (1860).



**Figura.** Sellos postales rusos con la imagen de Dimitri Mendeleev. Las imágenes de la izquierda, conmemorativas del centésimo aniversario del nacimiento del científico, presentan como fondo sendas Tablas Periódicas. El sello de abajo a la derecha muestra en rojo, correcciones de identidad y peso molecular sobre galio e indio, elementos del mismo grupo que el aluminio. Galio fue uno de los elementos cuya existencia fue predicha por Mendeleev, quien colocó a uranio en el lugar del indio en la primera versión de su Tabla.

Resolvió la ecuación de estado para un gas ideal, generalizando la ecuación de Clapeyron (1874).

Desarrolló la teoría de la "hidratación" de soluciones (1865-1887).

Sugirió la hipótesis de generación de petróleo a partir de carburos metálicos (1877).

Sugirió la destilación fraccionada como estrategia para refinar petróleo y avanzó la idea de la gasificación subterránea del carbón (1888).

Inventó una variedad de pólvora sin humo (1890-1892).

Desarrolló la metrología en Rusia, como así la prospección geológica y la aplicación de fertilizantes en agricultura.

Por último y no menos interesante, debe destacarse que como tributo a su persona e inigualable trayectoria, el elemento número 101 descubierto en 1955 por el grupo de Albert Ghiorso, lleva el nombre de Mendeleevio, una distinción poco común.

## (Endnotes)

### Referencias Bibliográficas:

- Scerri, E. (2007). *The Periodic Table: Its Story and its Significance*. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.
- Kauffman, G. B. (1971). *The Periodic System of the Chemical Elements: The Search for Its Discoverer*. *Isis* 62, 314-327.
- Agafoshin, N. P. (1977). *Ley periódica y sistema periódico de los elementos de Mendeleev*. Reverté, Madrid, España.
- Benfey, O. T. (1952). *Prout's Hypothesis*. *J. Chem. Ed.* 29, 78-81.
- Kauffman, G. B. (1999). *From Triads to Catalysis: Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849) on the 150th Anniversary of His Death*. *Chem. Educ.* 4.
- Rouvray, D. H. (2004). *Elements in the history of the Periodic Table*. *Endeavour* 28, 69-74.
- Locher, W. G. (2001). *Max von Pettenkofer – Life stations of a genius on the 100th anniversary of his death (February 9, 1901)*. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 203, 379-391.
- Evans, A. S. (1973). *Pettenkofer revisited: the life and contributions of Max von Pettenkofer (1818-1901)*. *Yale J Biol Med.* 46, 161-176.
- Smeaton, W. A. (1964). *Centenary of the Law of Octaves*. *J. Royal Inst. Chem.* 88, 271-274.
- Zapffe, C. A. (1969). *Gustavus Hinrichs, Precursor of Mendeleev*. *Isis* 60, 461-476.
- Kauffman, G. B. (1969). *American forerunners of the periodic law*. *J. Chem. Ed.* 46, 128.
- van Spronsen, J. W. (1969). *The Priority Conflict Between Mendeleev and Meyer*. *J. Chem. Ed.* 46, 136-139.
- Jaffe, B. (1971). *Moseley and the Numbering of the Elements*. Anchor Books, Nueva York, EUA.
- Heilbron, J. L. (1966). *The Work of H. G. J. Moseley*. *Isis* 57, 336 - 364.
- Seaborg, G. T. (1945). *The Chemical and Radioactive Properties of the Heavy Elements*. *Chem. Eng. News* 23, 2190-2193.
- Hoffman, D. C.; Ghiorso, A.; Seaborg, G. T. (2000). *The Transuranium People: The Inside Story*. Imperial College Press, Londres, Reino Unido.
- Woods, G. (2007). *Mendeleev – the Man and his Legacy*. *Educ. Chem.* 53-56.