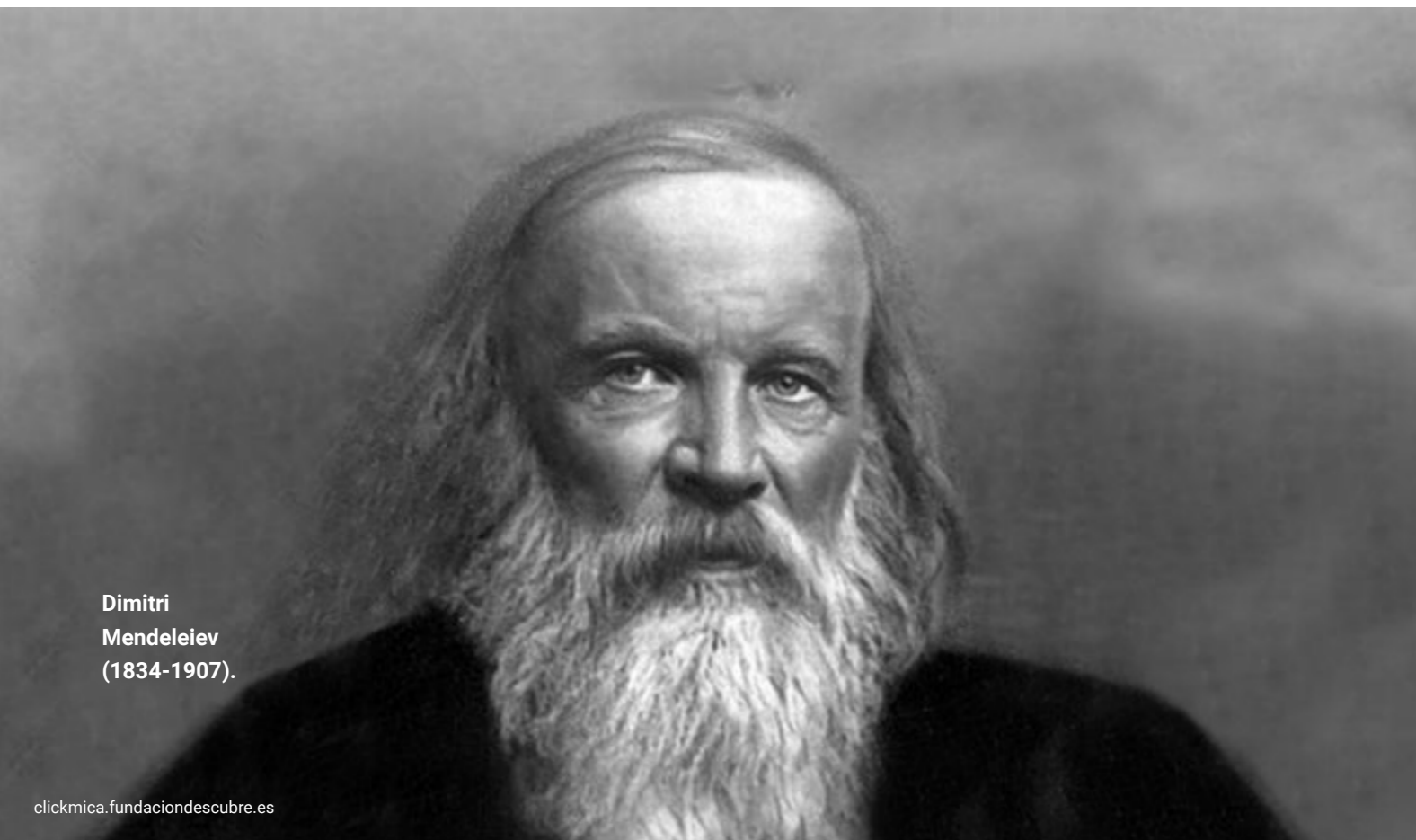


Año Internacional de la tabla periódica de los elementos químicos

“La tabla de Mendeleiev fue capaz de acoger dentro de ella, de forma sencilla y coherente con el resto de los elementos conocidos, a otros de naturaleza química muy diferente”.

Juan José Ortega

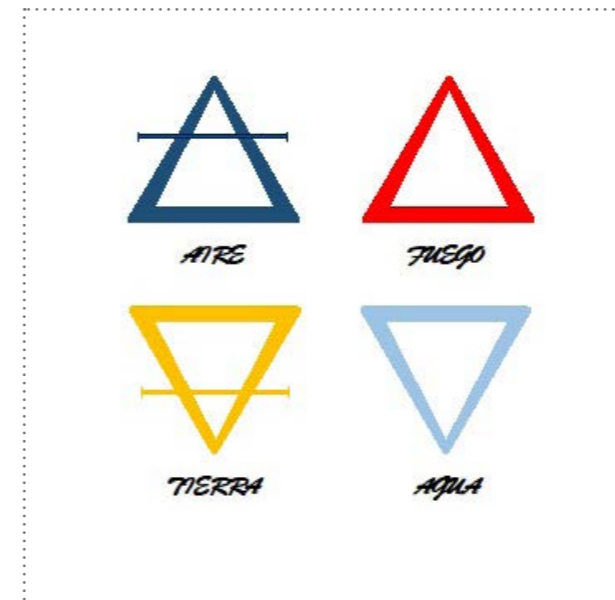


Dimitri Mendeleiev (1834-1907).

clickmica.fundaciondescubre.es

La UNESCO ha declarado 2019 como Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos al conmemorarse el 150 aniversario de la presentación, el 6 de marzo de 1869, de "La experiencia de un sistema de elementos basado en su peso atómico y similitud química" (*Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве*) por parte de Dimitri Mendeleiev.

La tabla periódica es para muchos científicos una de las piedras angulares del conocimiento íntimo de la materia y permite explicar y predecir con mucha exactitud el comportamiento químico de los elementos, basado en su estructura electrónica. Es, por decirlo de otra manera,



Los cuatro elementos.

la confirmación de que la configuración electrónica de los elementos, predicha por la mecánica cuántica, coincide y explica la reactividad de los elementos y su capacidad para formar las sustancias y los compuestos que podemos ver en nuestro mundo macroscópico. La Ciencia es única y la tabla periódica es una de las mejores formas de comprobarlo.

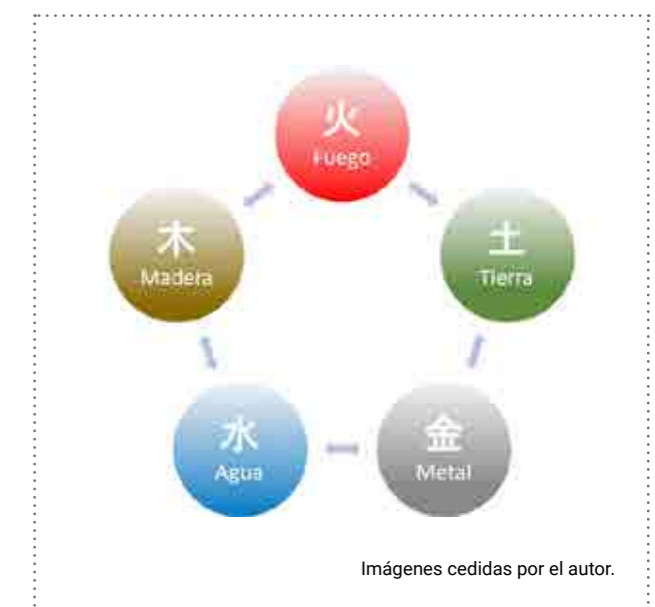
Desde el inicio de la civilización humana, la curiosidad por saber qué es y cómo se conforma la materia que nos rodea, y de la que formamos parte nosotros mismos, es nuestra compañera inseparable. No tenemos gran conocimiento de lo que las civilizaciones antiguas sabían, aunque es innegable el uso que hicieron de fórmulas para la fabricación de materiales y sustancias que les servían en su vida doméstica, desde aceites y jabones hasta todo lo necesario para preservar los cadáveres embalsamados. Se dice que el propio faraón Keops escribió el primer tratado de alquimia, ya que este conocimiento estaba muy relacionado con la magia y, por tanto, solo el dios viviente debía ser guardián de todo aquello que se consideraba procedente del más allá. Pero este saber, egipcio, mesopotámico y de otras civilizaciones del Oriente Medio, no se perdió gracias a los griegos y a su infinita ansia de saber. La vieja Alquimia hizo pensar a los primeros filósofos que algo ocurría en cada transformación de una sustancia en otra y que no

era un proceso gobernado por el azar. La repetición y repetibilidad de las reacciones les pusieron sobre la pista.

Algo que estos primeros pensadores helenos habían descubierto es que los problemas se abordaban mejor desglosándolos en elementos sencillos. Por tanto, si se quería saber qué ocurría en una transformación o por qué las sustancias eran tan diversas entre sí, lo primero que era necesario saber es cómo y de qué estaban constituidas las cosas. Los griegos eran más pensadores que científicos experimentales, por lo que casi todos ellos formularon sus teorías con poco contraste empírico. La que más éxito tuvo, por el tiempo que perduró, fue esbozada ya por los presocráticos y es conocida como la Teoría de los Cuatro Elementos. En Asia, indios y japoneses incluyeron el éter como un quinto elemento, que Aristóteles había reservado solo para los cuerpos celestes, mientras que en China la madera y el metal sustituían al aire como elemento fundamental.

Pero como no podía ser de otro modo, otro filósofo griego, también considerado presocrático, aunque coetáneo de Sócrates, propuso un modelo intelectual radicalmente diferente al anterior. Demócrito (460-370 aC), siguiendo las hipótesis de su maestro Leucipo y otros pensadores anteriores a él, propuso la teoría atomista, en la que formuló que la materia es una mezcla

Los cinco elementos chinos.



Imágenes cedidas por el autor.

de elementos originarios inmutables y eternos, infinitamente pequeños (imperceptibles) llamados átomos (ἄτομο). Esta teoría, por carecer de base empírica que la pudiera demostrar y por no contar con el apoyo de los más famosos y seguidos filósofos de la Antigüedad (Sócrates, Platón y Aristóteles), queda relegada durante más de dos milenios.

Durante todo este tiempo, las sustancias y compuestos químicos crecen en gran número. Roma y posteriormente Bizancio, China y el Imperio árabe, a lo largo de su historia, promueven un desarrollo tecnológico del que la Alquimia, ya que todavía no podemos llamarla Química, no es ajena. Lo que comprueban empíricamente todos ellos es que las sustancias se caracterizan siempre por las mismas propiedades y que su reactividad es constante. El aceite de vitriolo (ácido sulfúrico), el ácido muriático (ácido clorhídrico), los tintes de la seda, la pólvora siempre reaccionaban igual. Alguna causa debía haber detrás.

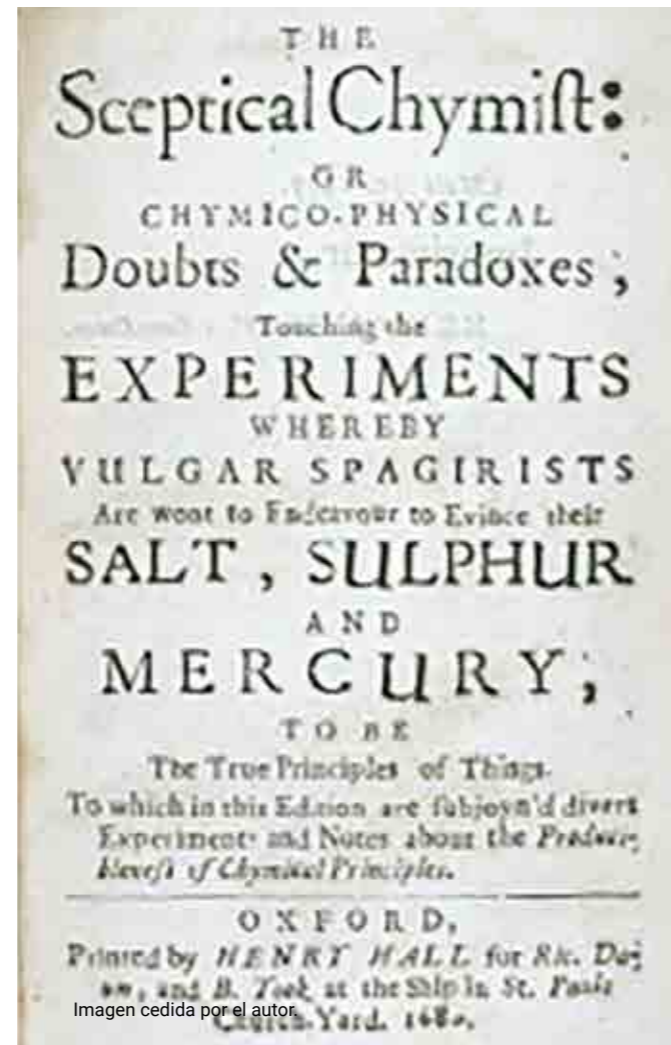
Si damos un salto en el tiempo, a finales del siglo XVII, Boyle propone que "un elemento químico es una sustancia que no puede descomponerse en otras más simples" (*The Sceptical Chymist or Chymico-Physical Doubts & Paradoxes*, Oxford 1680).

Pero todavía estamos en los tiempos en que todo es inmutable, la Tierra ocupa el centro del Universo y el hombre es el fin de la Creación. Galileo había sido condenado en 1633 por defender el heliocentrismo copernicano y, hasta el siglo siguiente (1747 y 1751), Benedicto XIV no autoriza la publicación de las obras defensoras de la nueva concepción del cosmos. La Alquimia, con su poder transformador, era un saber que todavía debía ser guardado y conocido por unos pocos y siempre bajo control. Todo lo que no era de utilidad para el príncipe, se consideraba brujería.

Como ya he dicho antes, la Ciencia es única y un gigante llamado Isaac Newton demostró en 1687 en sus *"Principia"* que las leyes de la mecánica son las mismas para todos los cuerpos, celestes o terrestres. Tras este importante hallazgo, ¿cómo era posible seguir pensando que las transformaciones químicas no seguirían también unas leyes generales comprensibles para los hombres?

“Hasta el siglo siguiente (1747 y 1751), Benedicto XIV no autoriza la publicación de las obras defensoras de la nueva concepción del cosmos”.

The Sceptical Chymist; Robert Boyle, Oxford 1680.



Comienza entonces una carrera para intentar comprender qué hay detrás de una reacción. Uno de los primeros en hacer una propuesta sistemática fue el francés Étienne François Geoffroy, médico y químico, que publicó en 1718 la *"Tabla de Afinidades Químicas"*, donde da una relación de las reacciones de las sustancias conocidas en su tiempo. Las tablas tuvieron bastante aceptación durante todo el siglo, pero presentaban importantes lagunas e imprecisiones. Será, tras las publicaciones de Bertholet sobre equilibrio químico (1803), cuando caigan en desuso y sean definitivamente abandonadas.

“Étienne François Geoffroy publicó en 1718 la *Tabla de Afinidades Químicas*, donde da una relación de las reacciones de las sustancias conocidas en su tiempo”.

Tabla de Afinidades Químicas; E.F. Geoffroy, 1718.

☿	☉	☊	☋	☌	☍	☎	☏	SM	♁	♂	♃	♀	☾	♂	♁	☽
☉	☊	♂	♁	☉	☊	☋	☌	☍	☎	☏	☾	♀	♃	♁	♂	☽
☉	♁	♀	☉	☊	☋	☌	☍	♂	☾	♀	PC	♀	☾	♂	☽	☉
☽	♀	♃	☉	☊	☋	☌	☍	♀	♃							
SM	☾	♀	☽		♁	♁	♃	♀								
	♀	☾	♂		♁		☾	♁								
		♀					♁	♁								
		☾					♀									
	☉						☉									

☿	Esprits acides.	☽	Terre absorbante.	♀	Cuivre.	♁	Soufre mineral.
☉	Acide du sel marin.	SM	Substances metalliques.	♂	Fer.	♁	Principes huileux ou Principe Soufre
☊	Acide nitreux.	♂	Mercure.	♃	Plomb.	♁	Esprit de vinaigre.
☋	Acide vitriolique.	♁	Regule d'Antimoine	♁	Etain.	☽	Eau.
☌	Sal alcali fixe.	☉	Or.	♁	Zinc	☉	Sel.
☍	Sal alcali volatil.	☾	Argent.	PC	Pierre Calaminaire.	☽	Esprit de vin et Esprits ardents.

Imagen cedida por el autor.

Posteriormente, Lavoisier publicó en su *“Traité Élémentaire de Chimie”* (1789), la existencia de 33 elementos químicos. Como uno de los padres de la Química, fue uno de los primeros en publicar una propuesta de clasificación de los mismos según cuatro criterios:

- Sustancias simples que pueden considerarse como elementos de los cuerpos.
- Sustancias simples no metálicas oxidables y acidificables.
- Sustancias simples metálicas oxidables y acidificables.
- Sustancias simples salidificables térreas.

A partir de este momento, los químicos se centran en la medición experimental de las características de los elementos. En 1808 Dalton formula una nueva teoría atómica, pero ahora basada en hechos empíricos a diferencia de la de Demócrito. Junto a la nueva teoría, Dalton publica también una de las primeras tablas de pesos atómicos (*“A New System of Chemical Philosophy”*, Manchester 1808).

En 1818 Berzelius, por medio de un ingente trabajo experimental basado en reacciones de reducción de óxidos, oxidación de metales, combustiones, precipitaciones y reacciones de desplazamiento, consiguió determinar con extremada precisión las masas atómicas de sustancias y elementos conocidos, basadas en los pesos del oxígeno y del hidrógeno. Tal fue su trabajo que, desde 1826, los pesos atómicos apenas han sufrido variaciones, y sobre todo debidas al desconocimiento de los isótopos y a mezclas de elementos, todavía no descubiertos en su tiempo.

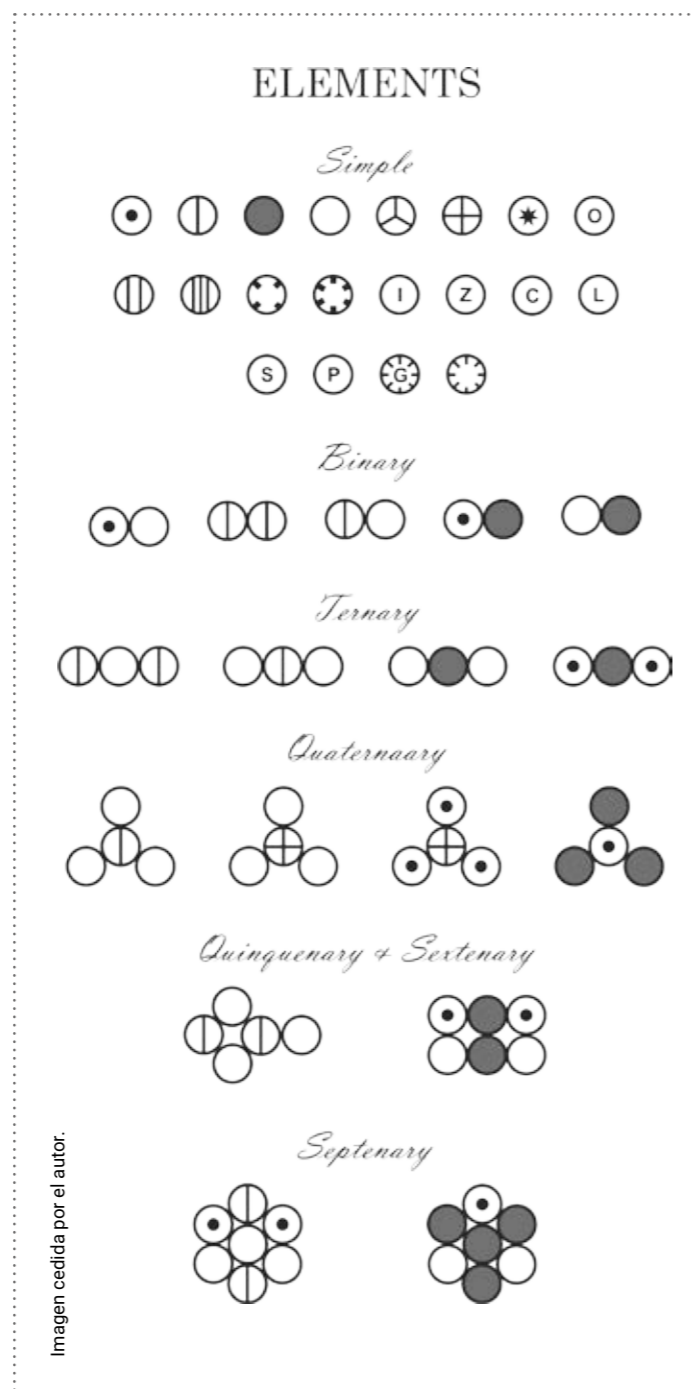


Imagen cedida por el autor.

Representación de átomos y moléculas; J. Dalton. 1808.

“El primer intento de clasificación de los elementos, que se puede considerar focalizado en la creación de una tabla de elementos agrupados de forma sistemática, se debe a Johann Döbereiner”.

El primer intento de clasificación de los elementos, que se puede considerar focalizado en la creación de una tabla de elementos agrupados de forma sistemática, se debe a Johann Döbereiner. Este científico alemán, al ir descubriéndose nuevos elementos, se percató que algunos de ellos presentaban propiedades químicas semejantes. Pensó que algunos elementos, a pesar de su diferente peso, tenían algo en común que hacía que su reactividad fuera semejante. Al agrupar los elementos con comportamientos análogos de tres en tres, llegó a la conclusión de que, si se hacía la media aritmética de sus pesos, este valor coincidía con bastante precisión con el peso del elemento central del trío. Llamó a los grupos triadas, de donde procede el nombre de “triadas de Döbereiner”. Con posterioridad y con los trabajos de otros científicos, entre los que destaca Leopold Gmelin, ya se había formulado la existencia de 20 grupos, entre triadas y conjuntos de cuatro elementos (oxígeno, azufre, selenio y telurio) y de cinco (nitrógeno, fósforo, arsénico, antimonio y bismuto).

Como todas las formulaciones existentes hasta la época estaban basadas en el uso de los pesos atómicos, la confusión y disparidad de valores existentes suponían un importante obstáculo para la elaboración de una clasificación útil. Debido a esto, junto a la necesidad de unificar la nomenclatura, los químicos alemanes Kekulé, Wurtz y Weltzien convocan a los colegas euro-

“Tras la intervención de Canizzaro se llegó al consenso general de usar el valor 1 para el hidrógeno”.

peos a un congreso en Karlsruhe en 1860. En sus últimas sesiones, y comprobando todavía la dificultad de distinguir entre masas atómicas y masas moleculares, tuvo una participación fundamental el químico italiano Stanislao Canizzaro. Tras la intervención de Canizzaro se llegó al consenso general de usar el valor 1 para el hidrógeno, 16 para el oxígeno y 12 para el carbono, lo cual permitía solventar el hecho de que tanto H como O se presentan en forma gaseosa como moléculas diatómicas. Tras el congreso de Karlsruhe, tanto la nomenclatura como la medición de las masas atómicas y moleculares fueron iguales entre todos los científicos.

Triadas de Döbereiner.

Litio	7,0	Azufre	32,0
Sodio	23,0	Selenio	79,0
Potasio	39,0	Teluro	127,6
	23,0		79,5
Calcio	40,0	Cloro	35,5
Estroncio	88,0	Bromo	80,0
Bario	137,0	Lodo	127,0
	88,3		80,8

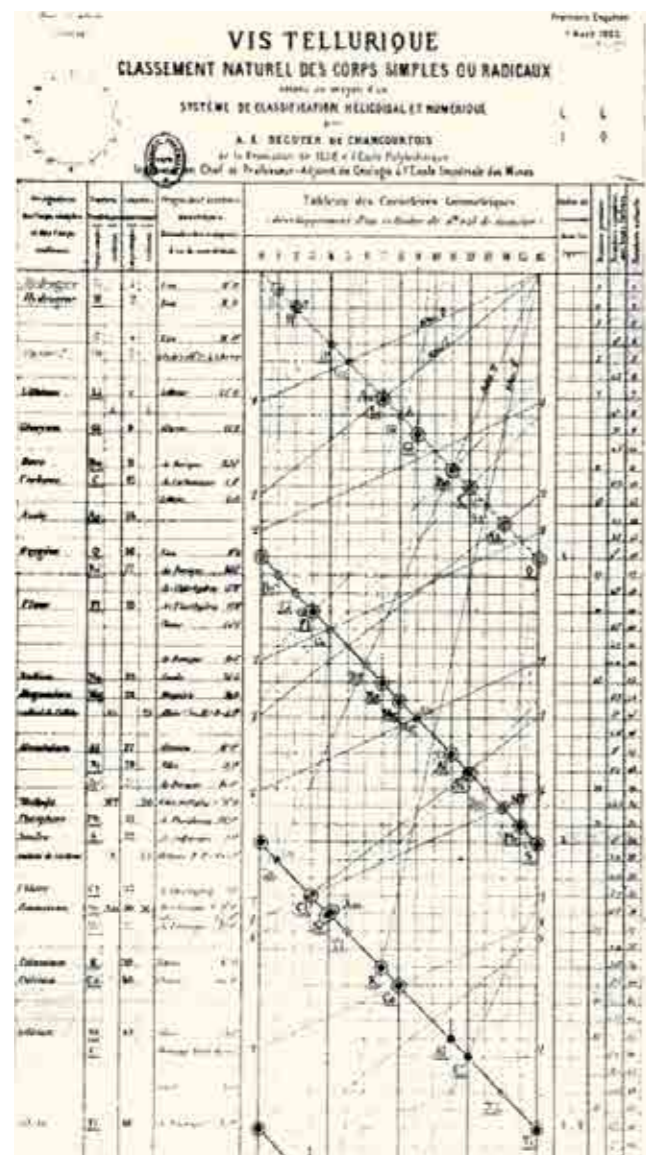


Imagen cedida por el autor.



Vis Tellurique; Chancourtois, 1862.

Uno de los intentos más espectaculares de clasificación de los elementos es el debido al químico y mineralogista francés Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois. Ideó un complejo sistema de clasificación alineando los elementos, según su peso creciente en una línea que presentaba una inclinación de 45° sobre la horizontal y que se enrollaba en forma de hélice a la que denominó "hélice telúrica" ("Vis Tellurique" 1862). Chancourtois comprobó que los elementos de comportamiento similar se encontraban sobre la misma generatriz del

“El sistema era muy complejo y tampoco Chancourtois supo dar una explicación clara a la periodicidad”.

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	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
G	3	Mg	10	Ca	17	Zn	24	Sr	31	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	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	Ro & Ru	35	Te	43	Au	49	Th	56

Octavas; Newlands, 1866.

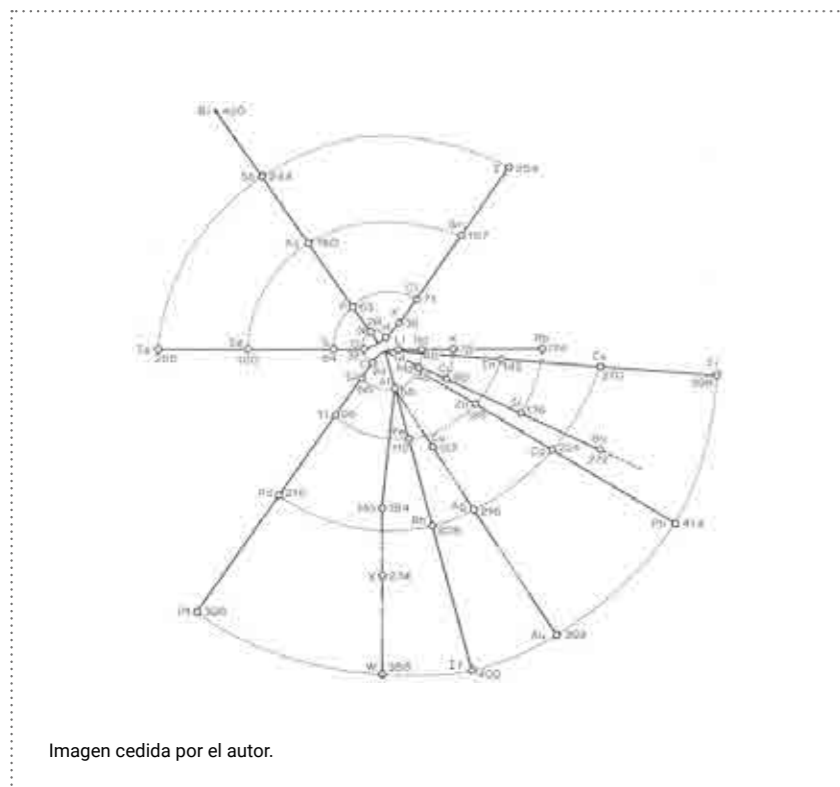
cilindro formado y quedaban espaciados unas 16 unidades de peso. El sistema era muy complejo y tampoco Chancourtois supo dar una explicación clara a la periodicidad, pero su trabajo no acabó en saco roto.

En 1864, William Odling propuso una clasificación de 57 de los 60 elementos conocidos en función de los pesos atómicos. Varias fueron sus aportaciones. La primera destacable es que clasificó los elementos de transición en forma separada, como forma de poner de manifiesto la diferencias y la importancia de estos elementos. También propuso espacios vacíos para elementos todavía no conocidos, en lo que se podían encajar algunos otros que se descubrieron posteriormente (como el Ga y el Ge, pero no el V). Finalmente es el primero en indicar que el orden del I y del Te no era el correspondiente a sus pesos, sino el inverso si se atendía a sus propiedades químicas. En 1868 publicó una segunda versión, pero en la que solo supo ubicar 46 elementos.

Simultáneamente (1863-1864), el británico John Newlands propuso una nueva ordenación de los elementos. Al colocarlos en orden creciente de pesos atómicos, observó que cada siete elementos había similitudes en sus propiedades químicas. Por analogía

“Al colocar los elementos en orden creciente de pesos atómicos, John Newlands observó que cada siete elementos había similitudes en sus propiedades químicas”.

con la escala musical tónica de siete notas, Newlands llamó a sus agrupaciones "octavas", lo cual valió para que su propuesta fuera considerada poco científica y no tuviera reconocimiento en su momento ni su Ley de las Octavas fuera considerada apta para publicarse por la Sociedad Química Británica tras su lectura pública. Solo a raíz de la divulgación de la tabla de Mendeleiev, y tras las aportaciones de Lewis (teoría del enlace de valencia) y de Langmuir (teoría del enlace), se reconoció la periodicidad de grupos de ocho elementos ligeros.



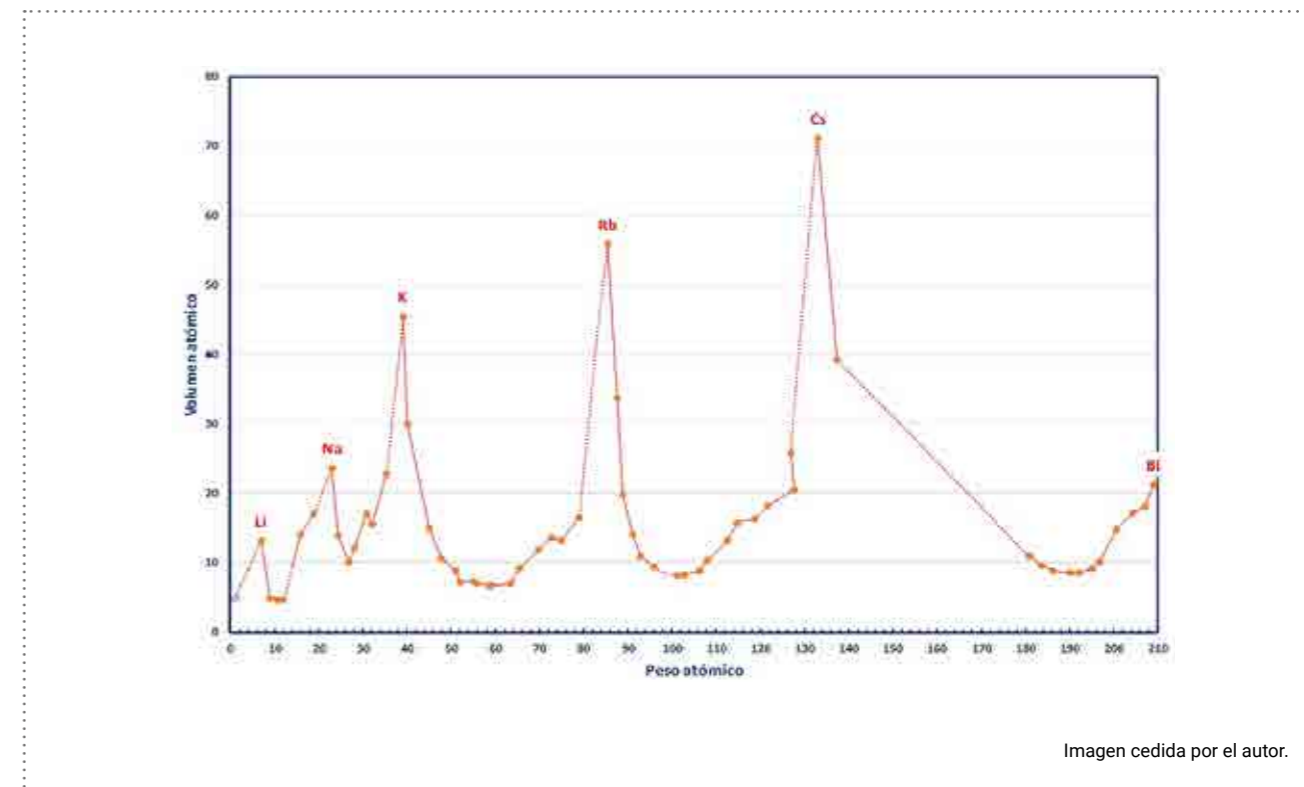
Clasificación de Hinrich, 1867.

En aquellos años había una auténtica efervescencia por llegar a un sistema de clasificación adecuado. Uno más que aparece por entonces es el debido al científico danés Gustavus Hinrich (aunque desarrolló su trabajo en los EE.UU.) y estaba basado tanto en los pesos atómicos como en las líneas espectrales que habían sido publicadas recientemente (década de 1860 por Bunsen y Kirchoff). Gran aficionado a la Astronomía, utilizó conceptos astronómicos y trigonométricos, clasificando los elementos en “trigonoides” y “tetragonoides”, formulando el concepto de “panátomos” como elemento fundamental de todos los elementos y de una fuerza, “pantogens”, capaz de transformarlos unos en otros. La complejidad de sus fórmulas algebraicas y sus poco ortodoxas ideas hicieron que su sistema no tuviera gran aceptación.

En 1869 Julius Lothar Meyer pensó que debía haber una correlación entre el peso atómico y el volumen de los átomos. Haciendo medidas muy precisas de los volúmenes correspondientes a una masa de cada elemento igual a su peso atómico, y medidos a la misma presión y temperatura, construyó una gráfica en la que se apreciaba un patrón común en el que los máximos correspondían siempre a los elementos alcalinos. El sistema

de Meyer se correspondía con los datos de Newlands y sus octavas, pero quedaba claro que los elementos más pesados ya no podían agruparse en conjuntos de siete elementos. Posteriormente, en 1870, Meyer aumentó su estudio con otras propiedades físicas, como los puntos de fusión y ebullición, pero para entonces Dimitri Mendeleiev ya había publicado su propuesta.

Mendeleiev presentó a la Sociedad Química de Rusia en 1869 su sistema de clasificación basado en los pesos atómicos. Su gran aportación, además de la propia clasificación, es que es la primera tabla que sirvió para predecir la existencia de elementos todavía no descubiertos cuantificando sus propiedades. El científico ruso propuso un sistema de clasificación que aportó una serie de novedades frente a los que habían aparecido hasta la fecha de gran utilidad y precisión. Además, Mendeleiev atendió también a propuestas de colegas anteriores, como era la alteración del orden de determinados elementos a pesar de que sus pesos indicaran lo contrario. También es muy destacable que la tabla de Mendeleiev fuera capaz de acoger dentro de ella, de forma sencilla y coherente con el resto de los elementos conocidos, a otros de naturaleza química muy diferente, y cuyas propiedades los hubieran he-



Correlación entre pesos y volúmenes atómicos Meyer, 1896.

cho de difícil ubicación si hubieran sido conocidos en el tiempo de formulación de los sistemas anteriores.

Los logros de la tabla de Mendeleiev merecen una explicación más detallada.

En primer lugar, en su formulación Mendeleiev no solo informa de que existen huecos correspondientes a elementos que todavía no se habían descubierto, sino que es capaz de predecir con una exactitud muy elevada el valor del peso atómico de dichos elementos. Predice que deben existir cuatro elementos que denominó “eka-boro”, “eka-aluminio”, “eka-silicio” y “eka-manganeso”. Con el paso de los años todos ellos fueron descubiertos:

- Eka-aluminio (peso 68) = Ga (1875, A = 69,72)
- Eka-boro (peso 44) = Sc (1879, A = 44,96)
- Eka-silicio (peso 72) = Ge (1886, A = 72,64)
- Eka-manganeso (peso 100) = Tc (1937, A = 98)
-

En segundo lugar, al igual que ya había afirmado Odling, Mendeleiev también propone que el orden que les corresponde al Te y al I por pesos atómicos no es en el que deben aparecer según sus propiedades químicas. Pro-

“La gran aportación de Mendeleiev, además de la propia clasificación, es que es la primera tabla que sirvió para predecir la existencia de elementos todavía no descubiertos cuantificando sus propiedades”.

pone, por tanto, que su orden sea el inverso, apareciendo en su tabla el Te con anterioridad al I.

Finalmente, la tabla de Mendeleiev se mostró capaz de albergar los elementos químicos dentro de ella. En 1868 Janssen y Lockyer habían identificado una nueva línea en un espectro solar que identificaron como correspondiente a un nuevo elemento, helio por su presencia en el sol, pero no fue hasta 1882 cuando el físico italiano Palmieri lo descubre en la Tierra. Por su parte, Lord Rayleigh y Ramsay identifican el argón como un elemento nuevo. Es el propio Ramsey quien sugirió que el argón se colocara entre el cloro y el potasio en una familia con el helio, a pesar del hecho de que el peso atómico del argón era mayor que el del potasio. Este grupo fue llamado grupo cero debido a la valencia cero de estos elementos. En 1898, en tan solo tres meses fueron identificados el neón, el xenón y el criptón, con lo que el nuevo grupo quedaba completado.

Cuando se descubrieron los primeros lantánidos, su encaje también creó dificultades de ubicación. Fue un discípulo de Mendeleiev, el checo Bohuslav Brauner, en 1902, el primero que crea una ubicación aparte de los elementos de las tierras raras.

Ernest Rutherford y Antonius van den Broek habían trabajado determinando la carga de los átomos y su proporcionalidad con el peso atómico. Pero es Henry Moseley el que demuestra con gran precisión la carga de cada elemento y que esta se corresponde con el llamado hasta entonces número atómico, y que se correspondía con su posición en la tabla periódica. Moseley formula que "las propiedades de los elementos son funciones periódicas de los números atómicos". En 1920, James Chadwick, descubridor del neutrón, demostró que la carga de un átomo se corresponde con el número de protones del núcleo. El número atómico, el concepto que, aún sin conocerlo, fue el uti-

The image shows a modern periodic table with elements color-coded by groups. It includes the Lanthanide and Actinide series at the bottom. The elements are arranged in rows and columns, with atomic numbers and symbols provided for each.

wikipedia.org

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАНИИ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

Primera Tabla Periódica D. Mendeleiev, San Petersburgo 1869

		Тl = 50	Zr = 90	? = 180.	
		Y = 51	Nb = 94	Ta = 182.	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4	
		Fe = 56	Ra = 104,4	Ir = 198.	
	Ni = Co = 59	Pi = 106,6	Os = 199.		
	Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200		
H = 1	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Cr = 116	Au = 197?
	O = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	F = 19	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	Li = 7	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		? Er = 58	La = 94		
		? Y = 60	Di = 95		
		? In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ.

Imagen cedida por el autor.

lizado por Mendeleiev para su primera ordenación, correspondía al número de protones-electrones de cada elemento, y a estos sus propiedades químicas.

El resto de elementos, conforme se descubrían o se sintetizaban, iban encontrando acomodo en la tabla periódica. Alfred Werner colocó los elementos de transición entre los alcalino-térreos y los no metales, como ya había sido indicado por Odling con anterioridad. Posteriormente, el químico austro-británico Friedrich Paneth propuso escribir los elementos lantánidos fuera de la tabla, tal y como hoy es frecuente hacer. Finalmente, en la década de los años cuarenta del siglo XX, Glenn Seaborg propone la creación de un grupo nuevo, los actínidos, similar al correspondiente de los lantánidos para acoger a los elementos transuránidos. Seaborg y su equipo llegaron a proponer incluso una nueva serie, que denominaron superactínidos, que se correspondería con los elementos de números atómicos entre el 122 y el 153. El 28 de noviembre de 2016 la IUPAC aprobó el nombre para el último elemento caracterizado, cuyo número atómico corresponde a 118, su nombre a oganesón y su símbolo Og.

La tabla periódica ha sido obra de muchos científicos, anteriores y posteriores a Dimitri Mendeleiev. Pero su historia nos demuestra qué es lo importante en la Ciencia y es la causa de que una teoría perdure mucho más allá del descubridor. La tabla de Mendeleiev demostró una gran utilidad en la explicación de los fenómenos de la Naturaleza, mostrándose a la vez como una utilísima herramienta para predecir aquellos otros que o no han sido descubiertos por nosotros o no nos hemos percatado de su existencia. Todo lo que una buena teoría científica debe ser.

Juan José Ortega
Tesorero del Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra