



28

**Ni**

Nickel

58.693

2-8-16-2

+2  
+3

29

**Cu**

Copper

63.546

2-8-18-1

30

**Zn**

Zinc

65.39

2-8-18-2

46

**Pd**

Palladium

106.42

46-18

+2  
+4

48

**Cd**

Cadmium

112.41

2-8-18-18-2

79

**Au**

Gold

196.967

32-18-1

+1  
+3

80

Pd Ag Cd

Actualidad

Novedades científicas

Desde las redes

Verónica García Montalvo y Raymundo Cea Olivares

# La **tabla periódica** de los elementos químicos. Qué es y cómo funciona la periodicidad química

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) ha declarado que 2019 es el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos. Es importante tener un conocimiento adecuado de lo que esta tabla significa y cuál es su relevancia. En este artículo trataremos de explicar su historia y fundamentos, con énfasis en un personaje central: Dmitri Mendeléiev.

## Introducción

Con el objetivo de comprender los fundamentos que rigen el orden de los elementos químicos, es decir, las sustancias presentes en la tabla periódica de los elementos químicos (véase la Figura 1), es conveniente considerar que las ciencias que estudian la materia son fundamental y posiblemente sólo tres: física, biología y química.

Cabe establecer una diferencia entre la física y las ciencias de lo físico, es decir, de la materia; la física, la biología y la química obedecen a las leyes de la materia, de lo físico, pero ni la biología ni la química son una parte subsidiaria de la física. La física estudia esencialmente las leyes que rigen al mundo material y a los objetos en sí mismos; la biología se enfoca en el fenómeno de lo que denominados vida, con la correspondiente diversidad en sus definiciones; por su parte, la química se dedica a la reactividad química; es decir, la transformación, mediante las reacciones químicas, de los elementos que, con otros elementos o compuestos químicos, forman distintos compuestos que, a su vez, reaccionan con otros compuestos químicos para formar otros más.

Para ejemplificar las diferencias, tenemos que las propiedades físicas del agua, entre otras, son que hierve a 100 °C, que su punto de fusión es 0 °C y que su densidad es 1 g/cm<sup>3</sup>; mientras que sus propiedades químicas son, por ejemplo, que reacciona con el sodio para formar hidróxido de sodio (NaOH) e hidrógeno (H<sub>2</sub>), que reacciona con el óxido de calcio (cal viva, CaO) para formar calhidra (Ca(OH)<sub>2</sub>),



etcétera. Es necesario señalar que entre las propiedades químicas del agua también está la carencia de reactividad; así, el agua no reacciona con el oro (Au) ni con la sílica (SiO<sub>2</sub>). De esta manera, las propiedades físicas pueden considerarse intrínsecas, mientras que las químicas son de reactividad, pues corresponden a la interacción entre los sujetos de la química: fundamentalmente, los elementos y los compuestos químicos.

Una particularidad de la química es que es una ciencia que esencialmente no descubre, sino que crea sus propios objetos de estudio, mediante las reacciones químicas, como atinadamente señaló Marcellin Berthelot (1827-1907); en consecuencia, la química tiene una gran cercanía con el arte, pues la creatividad es su gran logro. Así, actualmente se conocen más de 144 millones de sustancias químicas y más de 90% no son de origen natural, sino sintético.

Otra característica interesante es que, en general, las reacciones químicas no son observadas, pues no se ve lo que sucede entre los átomos y las moléculas, sino que se observa el fenómeno físico: cambia de color, se calienta, se enfría, precipita un sólido, se libera un gas, etcétera. No obstante, es claro que hay una reacción química, aunque el conocimiento de lo que sucede requiere de un planteamiento teórico-intelectual.

- **Cómo poner orden a los elementos**
- La tabla periódica fue creada para intentar ordenar, según sus similitudes, a los elementos químicos. Es una tabla porque pone en orden sucesivo y relaciona entre sí a las propiedades químicas que se repiten en intervalos determinados. En consecuencia, los elementos están ordenados en función de su reactividad y su número atómico (Z), de manera

creciente, según el número de protones que posee cada átomo de los elementos químicos.

De acuerdo con sus propiedades químicas, los elementos se agrupan en siete hileras (horizontales), llamadas periodos, y 18 columnas (verticales), que reciben el nombre de grupos. El primer periodo está formado sólo por dos elementos: hidrógeno (H) y helio (He); los dos periodos que siguen, denominados periodos cortos, tienen ocho elementos; en tanto, los siguientes son los periodos largos, con 18 elementos. Por su parte, los grupos presentan a los elementos en columnas numeradas. Así, los elementos del grupo 1, llamados alcalinos, son litio (Li), sodio (Na), potasio (K), rubidio (Rb), cesio (Cs) y francio (Fr), y el grupo 18 está formado por los gases nobles o raros: helio (He), neón (Ne), argón (Ar), kriptón (Kr), xenón (Xe) y radón (Rn).

La parte central de la tabla corresponde esencialmente a los **elementos transicionales** (bloque d) y su orden de arriba a abajo se denomina en triadas; por ejemplo, la triada del cromo (Cr), molibdeno (Mo) y tungsteno (W), o bien la del cobre (Cu), plata (Ag) y oro (Au). Adicionalmente a estos periodos, en forma separada, en las tablas periódicas tradicionales se presentan otros dos conjuntos de elementos: uno va desde el lantano (La) hasta el lutecio (Lu), por lo que se denomina serie de los elementos lantánidos o lantanoides; la segunda serie va del número atómico (Z) 89 al 103, que son los actínidos o actinoides.

Es interesante notar que la mayoría de los elementos químicos son sólidos y, de éstos, la mayor parte son metálicos; por otro lado, los gases nobles, el oxígeno (O), el nitrógeno (N), el flúor (F) y el cloro (Cl) son gases, y sólo dos elementos son líquidos: galio (Ga) y mercurio (Hg).

La tabla periódica de los elementos químicos es uno de los símbolos más poderosos de la ciencia, por tratarse de un solo esquema que resume la esencia de la reactividad química. Sin embargo, no es raro escuchar, incluso entre los estudiantes de las carreras de química, que no pueden comprender la periodicidad de la tabla periódica, es decir, un comportamiento que se repite en forma periódica. Esto quizá se deba a que no han entendido que lo que se tabula (como

**Recuadro 1.**  
**¿Qué es un elemento químico?**

**U**na definición operativa dice que un elemento químico es una sustancia que está formada por átomos del mismo tipo, independientemente de la cantidad de protones que tengan dichos átomos; así, en la tabla periódica se representan, por ejemplo, el hidrógeno (H), el oro (Au) metálico, el bromo (Br) líquido, el hierro (Fe) metálico, etcétera, y no los átomos aislados.

Salvo los gases nobles, que son monoatómicos, todos los elementos químicos están formados por átomos del mismo tipo unidos entre sí; de esta forma, en el elemento hierro (Fe) los átomos están unidos entre sí por un enlace metálico, y en el cloro (Cl<sub>2</sub>) los átomos se unen por enlaces covalentes normales, cloro-cloro.

tabla) es esencialmente la reactividad química y no las propiedades físicas de los elementos.

Por supuesto, existe confusión al observar la diversidad física, por ejemplo, de los elementos del grupo 16, ya que el oxígeno (O) es un gas, el azufre (S) es un no-metal de bajo punto de fusión, el selenio (Se) es un no-metal de mayor punto de fusión y el telurio (Te) y el polonio (Po) son metales. Desde el punto de vista físico, no existe mucha relación entre los elementos de este grupo, a pesar de que éste es un buen ejemplo de periodicidad química; pero si se comprende que la tabla repite las propiedades de reactividad —es decir, propiedades químicas y no físicas—, toma sentido, ya que, por ejemplo, todos estos elementos forman óxidos de relación 1:2 con los átomos de los elementos alcalinos; esto es, compuestos MO<sub>2</sub>, como el NaO<sub>2</sub>.

Las dos directrices fundamentales de la química son el enlace químico y la periodicidad química. El primero es aquello que mantiene unidos entre sí a los átomos de los elementos (salvo a los gases nobles, que son monoatómicos) y también une a los átomos de los compuestos químicos. Por su parte, la periodicidad química es una propiedad que se repite de forma periódica. La observación de que ciertos elementos “prefieren” combinarse con una clase es-

#### Elementos transicionales

Son aquellos que contienen orbitales d o f parcialmente llenos en cualquier estado de oxidación químicamente existente. Son los que, en la primera serie transicional d, van del escandio (Sc) al cobre (Cu); en la segunda, del itrio (Y) a la plata (Au); en la tercera, del lantano (La) al oro (Au), y los transicionales f comprenden a los lantanoides y a los actinoides.



pecífica de otros elementos incitó a los químicos a clasificarlos por afinidades químicas, lo que más tarde condujo al planteamiento del sistema periódico y a la ley periódica, la cual establece que las propiedades de los elementos químicos son una función periódica de sus pesos atómicos.

### ■ **Cómo se desarrolló la tabla periódica de los elementos químicos<sup>1</sup>**

■ La organización de los elementos químicos de acuerdo con sus propiedades tuvo lugar hasta que se pudo disponer de los **pesos atómicos** de los elementos. A pesar de que la teoría atómica de John Dalton (1805) dejó establecido que la materia está constituida por átomos y que éstos se combinan en relaciones de números enteros y pequeños, no se conocía el número de átomos que están presentes en lo que corresponde a la fórmula de un compuesto químico y, por lo tanto, no se podía deducir el **peso atómico** de cada átomo. Dalton publicó la primera tabla de pesos atómicos con base en la premisa de que al combinarse dos elementos (sus átomos) sólo se forma un compuesto y éste debe contener un átomo de cada elemento químico; a la luz de esta premisa, la fórmula del agua sería HO y no H<sub>2</sub>O, como realmente es.

Después se llegó a la aplicación de la ley de los volúmenes de combinación de los gases, de Louis Joseph Gay-Lussac (1808), la cual establece que los volúmenes de los gases de distintas sustancias consumidas al reaccionar, en las mismas condiciones de presión y temperatura, están en proporción de números enteros. Esto, a su vez, fue explicado por la hipótesis de Amadeo Avogadro (1811), la cual señala que volúmenes iguales de distintas sustancias gaseosas, medidos en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de partículas. Fue entonces que Stanislao Cannizzaro (1858) publicó una tabla de pesos atómicos de los elementos químicos, la cual dedujo tras medir la densidad del vapor de algunos gases y compuestos volátiles, a partir de los cuales pudo determinar la

composición de los elementos involucrados y, posteriormente, los pesos atómicos de éstos.

Muchos otros investigadores se dedicaron a abordar el problema de los pesos atómicos, hasta que, finalmente, Jöns Jacob Berzelius (1826) logró determinar los pesos atómicos del oxígeno (O), nitrógeno (N), cloro (Cl), yodo (I) y algunos elementos metálicos, a partir de sus óxidos, con base en la ley de Gay-Lussac y en la tabla de pesos atómicos de Cannizzaro.

### ■ **El desarrollo del ordenamiento de los elementos químicos**

■ Johann Wolfgang Döbereiner (1829) fue el primero en reconocer y agrupar a los elementos químicos en triadas, de acuerdo con las similitudes de su reactividad química; por ejemplo, observó que el litio (Li), sodio (Na) y potasio (K) reaccionan con el agua a temperatura ambiente y forman los hidróxidos correspondientes en relación 1:1 (LiOH, NaOH, KOH). También otros compuestos como los cloruros (cloruro de sodio, NaCl) y los hidruros (hidruro de sodio, NaH) mantienen dicha relación. En las triadas, el peso del elemento intermedio es aproximadamente el promedio de los pesos del más ligero y del más pesado. No obstante, en ese entonces, la limitación del agrupamiento por triadas tuvo que ver más con los pocos datos disponibles (es decir, con el número de elementos conocidos) que con el concepto en sí mismo.

Por otra parte, John Alexander Reina Newlands (1864) fue el primero en percatarse de que al colocar los elementos químicos conocidos en orden ascendente de sus pesos atómicos existen propiedades similares en cada octavo elemento, como en la escala musical. Este hecho parecía funcionar muy bien con los elementos ligeros, por lo que logró agrupar la triada litio-sodio-potasio propuesta por Döbereiner, pero falló al incluir a los elementos más pesados de una octava superior. La teoría se desplomó porque sugería, de alguna forma, que la estructura atómica interna del átomo se repite, lo cual contradice la exitosa teoría atómica de Dalton.

Pero el paso más importante en el desarrollo de una clasificación periódica de los elementos no su-

#### **Peso atómico**

El cociente del promedio de las masas de los átomos de un elemento de una muestra con respecto a la doceava parte de la masa de un átomo de carbono-12.

<sup>1</sup> Este apartado se basó en la lectura de Scerri (2006).

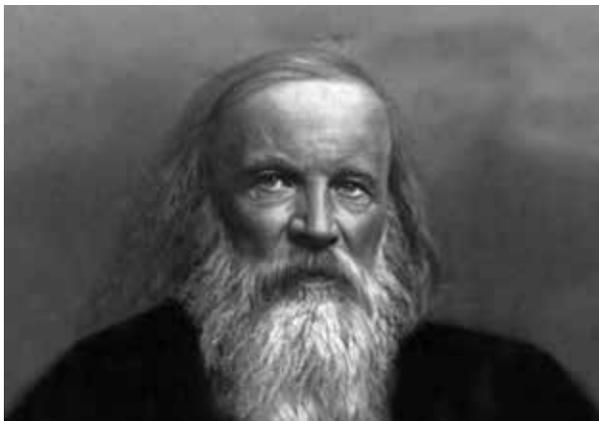


Figura 2. Dmitri Ivánovich Mendeléeiev.

cedió hasta que, en los años siguientes, Dmitri Ivánovich Mendeléeiev (véase la Figura 2) se dedicó a estudiar la relación entre los pesos atómicos de los elementos conocidos hasta entonces y sus propiedades químicas, con énfasis especialmente en la clase de compuestos que cada elemento forma. Mendeléeiev colocó a los elementos en orden creciente de sus pesos atómicos de manera horizontal y agrupó de manera vertical a los elementos con propiedades químicas semejantes, al notar que, salvo ligeras diferencias, las propiedades químicas se repetían en intervalos regulares.

Al publicarla en 1869 (véase la Figura 3), Mendeléeiev dejó huecos en su tabla y predijo –con acierto– que serían ocupados una vez que se descubrieran y aislaran novedosos elementos químicos que hacían falta. Es impresionante observar cómo Mendeléeiev fue capaz de prever las propiedades de algunos de estos elementos “faltantes”; es decir, no conocidos en su momento histórico. Por ejemplo, en la Tabla 1 se muestran algunas de sus predicciones para un elemento que denominó eka-aluminio (más allá del aluminio), las cuales se cumplen correctamente en el elemento correspondiente: galio (Ga), que se descubrió después (1875).

Mendeléeiev llegó a proponer que algunos elementos cambiaran de lugar en la tabla de acuerdo con sus propiedades químicas, aunque por su masa tendrían el orden inverso, como en el caso del telurio (Te, 127.6 g/mol) y el yodo (I, 126.9 g/mol), pues consideró que en el ordenamiento lo más importante es con-

**ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,**  
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Ti=50	Zr= 90	?=180.
		V=51	Nb= 94	Ta=182.
		Cr=52	Mo= 96	W=186.
		Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,1.
		Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
		Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199.
H=1		Cu=63,4	Ag=108	Hg=200.
	Be= 9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112
	B=11	Al=27,3	?=68	Ur=116
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118
	N=14	P=31	As=75	Sb=122
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137
		?=45	Ce=92	
		?Er=56	La=94	
		?Yt=60	Di=95	
		?In=75,6	Th=118?	

Д. Менделѣевъ

Figura 3. Tabla periódica de Mendeléeiev, 1869.

Tabla 1. Comparación entre el eka-aluminio y el galio

Elemento	Eka-aluminio (Ea)	Galio (Ga)
Peso atómico	68	69.2
Propiedades	Metal, que fundirá a una temperatura bastante baja y será más ácido que el eka-boro (Sc)	Metal, con punto de fusión de 29.78 °C y que es más ácido que el escandio (Sc)
Fórmula de óxido	Formará óxidos: (Ea) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Forma óxidos: Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Propiedades químicas		
	1. Soluble en ácido	Soluble en ácido
	2. Formará sales: (Ea)X <sub>3</sub>	Forma sales: GaX <sub>3</sub>
	3. Tendencia a formar sales básicas	Forma sales básicas
	4. Debe formar alumbre (sulfatos triples)	Forma alumbres
	5. Su cloruro debe ser más volátil que ZnCl <sub>2</sub>	GaCl <sub>3</sub> es más volátil que ZnCl <sub>2</sub>

servar las similitudes químicas; así, el yodo (I) debía quedar en la familia de los halógenos (grupo 17) y el telurio (Te), en la de los calcógenos (grupo 16), y no al revés (véase la Figura 1). Con lo anterior, una vez más se manifiesta que el ordenamiento de los elementos químicos tiene como base la reactividad química.

Por otra parte, en forma independiente a Mendeléeiev, J. Lothar Meyer elaboró en 1864 su propia



## El personaje central de la historia:

### Dmitri Ivánovich Mendeléiev

La celebración actual del Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos se debe al 150 aniversario de su publicación por Dmitri Ivánovich Mendeléiev. Este personaje nació el 8 de febrero de 1834 en Tobolsk, capital histórica de Siberia, y murió en San Petersburgo el 2 de febrero de 1907, donde actualmente existe un monumento en su honor (véase la Figura 4); por lo tanto, toda su vida transcurrió en la Rusia zarista. Fue el menor de 17 hermanos, se casó en 1862 y en su segundo matrimonio tuvo cuatro hijos. En sus últimos años, fue diagnosticado con tuberculosis y falleció casi ciego.

No sólo fue un extraordinario químico, sino también un relevante fotógrafo, asesor en economía, coleccionista, interesado en aeronáutica, destacado maestro de miles de alumnos, desarrollador rural y viajero. Debido a su origen siberiano, no pudo ingresar ni a la universidad de Moscú ni a la de San Petersburgo, por lo que su formación académica se desarrolló en el Instituto Pedagógico de San Peter-

burgo. Más adelante, Mendeléiev obtuvo una beca para estudiar en Alemania y ahí realizó investigaciones con científicos famosos, como Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen.

Dicen sus biógrafos que tenía muy mal carácter, aunque era un trabajador incansable; mientras estaba en sus labores, gritaba, gruñía y se alteraba, pero él decía que eso le evitaba las úlceras.

Mendeléiev estuvo involucrado en la construcción de la primera refinería de petróleo de Rusia y a él se le atribuye la frase que dice: “quemar petróleo es semejante a prender una estufa con billetes de banco”. En otros aspectos de su vida profesional y civil, alentó en su país el uso de fertilizantes, lo cual puso en práctica en su propiedad rural. En asuntos bélicos, estuvo encargado, por el gobierno ruso, de preparar “pólvora sin humo al piro colodión” y desarrolló una fórmula propia. Adicionalmente, tuvo la fortuna de conocer a los esposos Pierre y Marie Curie en París y participó en la construcción de barcos para el Ártico. Su gran diversidad intelectual también lo llevó a viajar a Estados Unidos para involucrarse y conocer los procesos de extracción de petróleo, y en 1887 intentó hacer un viaje en globo para estudiar el eclipse solar.

Sin embargo, a pesar de su grandeza y logros, nunca fue admitido en la Academia Rusa de Ciencias y, por diversas razones, aun cuando fue recomendado por el comité del Nobel de Química, la Academia Sueca de Ciencias le negó el premio en 1906; ello se debió principalmente a que Svante August Arrhenius (premio Nobel en 1903) convenció a la Academia de no otorgárselo, pues tenía un conflicto personal con Mendeléiev, porque el químico ruso había criticado algunos de los puntos de vista científicos del sueco.

No obstante, sus investigaciones en torno al análisis de los espectros de los elementos y los problemas de la química-física relacionados con los volúmenes de los gases, entre otras razones, lo llevaron a profundas reflexiones que dieron lugar a su gran logro: el desarrollo de la tabla periódica de los elementos químicos, que fue publicada en 1869.

Con respecto a sus convicciones personales, Mendeléiev tenía, para su época, grandes ideas li-



Figura 4.- Monumento a Mendeléiev en San Petesburgo.



**Figura 5.** Recientemente, en un laboratorio universitario en Escocia, se descubrió la tabla periódica impresa más antigua que se conoce, publicada en Viena en 1869 (Dvorsky, 2019).

berales, en aspectos tanto económicos como sociales, y fue un defensor del impulso a la industria y del proteccionismo para el desarrollo de los países. En consecuencia, Dmitri Ivánovich Mendeléiev no sólo es considerado una gran figura de la química, por lograr el análisis intelectual que dio lugar a la tabla periódica, sino que también fue un hombre polifacético, humanista y defensor de los derechos de las personas.

**Verónica García Montalvo**

Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

vgm@unam.mx

**Raymundo Cea Olivares**

Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

cea0@unam.mx

**Lecturas recomendadas**

Dayah, M. (1997), *Ptable: The Interactive Periodic Table*, <<https://www.phtable.com/?lang=es>>. Consultado el 20 de agosto de 2019.

Dvorsky, G. (2019), *World's Oldest Known Periodic Table Found During Cleanup of Scottish Lab*, <<https://gizmodo.com/world-s-oldest-known-periodic-table-found-during-cleanu-1831848121>>. Consultado el 20 de agosto de 2019.

EcuRed (2019), *Dmitri Mendeléiev*, <[https://www.ecured.cu/Dmitri\\_Mendeléiev](https://www.ecured.cu/Dmitri_Mendeléiev)>. Consultado el 20 de agosto de 2019.

Royal Society of Chemistry (2019), *Development of the periodic table*, <<http://www.rsc.org/periodic-table/history/about>>. Consultado el 20 de agosto de 2019.

Royal Society of Chemistry (2019), *Periodic Table*, <<http://www.rsc.org/periodic-table>>. Consultado el 20 de agosto de 2019.

Scerri, E. R. (2006), *The Periodic Table: Its Story and Its Significance*, Nueva York, Oxford University Press.

Wikipedia (2019), *Dmitri Mendeléyev*, <[https://es.wikipedia.org/wiki/Dmitri\\_Mendel%C3%A9yev](https://es.wikipedia.org/wiki/Dmitri_Mendel%C3%A9yev)>. Consultado el 20 de agosto de 2019.

Wikipedia (2019), *Peso atómico*, <[https://es.wikipedia.org/wiki/Peso\\_at%C3%B3mico](https://es.wikipedia.org/wiki/Peso_at%C3%B3mico)>. Consultado el 20 de agosto de 2019.

Wikipedia (2019), *Tabla periódica de los elementos*, <[https://es.wikipedia.org/wiki/Tabla\\_peri%C3%B3dica\\_de\\_los\\_elementos](https://es.wikipedia.org/wiki/Tabla_peri%C3%B3dica_de_los_elementos)>. Consultado el 20 de agosto de 2019.

**Recursos en línea**

Pon a prueba tus conocimientos: <<https://www.thatquiz.org/es/practice.html?periodictable>>

Descarga la aplicación de la tabla periódica en tu celular o tableta: <<http://www.rsc.org/periodic-table>>

Explora una tabla periódica interactiva: <<https://www.phtable.com/?lang=es>>