

Artículo invitado

LA MAGIA DE LA TABLA PERIÓDICA

Plinio Sosa Fernández

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México, D. F.

E-mail: plinio@unam.mx

DE LA ANTIGÜEDAD A MENDELÉYEV

Los seres humanos siempre hemos estado interesados en tratar de entender al mundo y a nosotros mismos. Una primera distinción fue lo material (las cosas y los seres que nos rodean) y lo inmaterial (las ideas, los sentimientos, las emociones). Es decir, la materia y todo lo demás.

La materia primera o primigenia era el principio del cual proceden todas las cosas: el origen y el fin del Universo. Toda la inmensa variedad de materiales con los que interactuaban nuestros ancestros no eran más que distintas presentaciones de una misma y única cosa: la materia.

LOS PENSADORES GRIEGOS

Seguramente, en distintos momentos de la historia, la humanidad se habrá preguntado: ¿exactamente cuál es esa materia primigenia? Es el caso de algunos pensadores griegos que vivieron entre los siglos VII y V a. C. Tales de Mileto (625–547 a. C.) pensó que la materia de la que se derivan todas las cosas era el *agua*. Más tarde, Anaxímenes de Mileto (590–524 a. C.) reflexionó que la materia que constituye todo lo habido en el mundo era el *aire*. Jenófanes (580–470 a. C.), por su parte, razonó que esa materia primera tendría que ser la *tierra*. Mientras que Heráclito de Éfeso (535–484 a. C.), en cambio, creía que esa materia elemental –origen y fin del universo– era el *fuego*.

Más tarde, Empédocles de Sicilia (495 a 435 a. C.) llegó a la conclusión de que lo que había que rechazar era la idea de que existe únicamente una sola materia. Ni el agua ni el aire son capaces, por sí solos, de convertirse en un rosal o en una mariposa, razón por la cual resulta imposible que la Naturaleza tenga un solo elemento. Empédocles pensaba que, en la Naturaleza, existían cuatro elementos: el aire (lo gaseoso, en términos actuales), el agua (lo líquido), la tierra (lo sólido) y el fuego (la energía).

Empédocles creía que todos los cambios de la Naturaleza se deben a que estos cuatro elementos se mezclan y se vuelven a separar, pues todo está compuesto de tierra, aire, fuego y agua en distintas proporciones. Cuando muere una flor o un animal, los cuatro elementos vuelven a separarse. La tierra, el aire, fuego y el agua quedan completamente inalterados o intactos con todos esos cambios en los que participan.

No fue por casualidad que Empédocles pensara que los elementos de la Naturaleza fueran precisamente aire, agua, tierra y fuego. Quizá vio cómo ardía un trozo de madera. Era el fuego. Oyó cómo la madera crujía y gorgoteaba. Era el agua. Algo se convertía en humo. Era el aire. Algo quedaba cuando el fuego se consumía. Era la ceniza, o la tierra.

Suponer que todo estaba constituido por más de una materia o elemento, permitía no solo explicar la enorme variedad de materiales existentes, sino también algunas propiedades de la materia. Lo *húmedo* provenía de la combinación del agua y el aire. Lo *frío* del agua y la tierra. La tierra y el fuego eran los responsables de lo *seco*. Y el fuego y el aire generaban la sensación de lo *cálido*.



Figura 1. Los cuatro elementos de Empédocles

THEOPHRASTUS BOMBAST VON HOHENHEIM, PARACELSO

Mucho tiempo después, Paracelso (1493–1541), médico y alquimista suizo, propuso otra explicación. Él pensaba que todas las sustancias estaban constituidas, no por cuatro elementos, sino por tres principios o cualidades: lo azufroso, lo mercurioso y lo salino.

En el *principio azufre* radicaban el calor y la capacidad de los cuerpos

para quemarse. Del *principio mercurio* dependían la pesantez y la capacidad de los cuerpos para ser líquidos y volátiles. Finalmente, el *principio de la sal* causaba la solubilidad y la estabilidad ante el fuego.

Con estas ideas, Paracelso explicaba la incandescencia de los cuerpos de la siguiente manera:

Si quemáis la madera y observáis el resultado, veréis que hay una cosa que arde –el azufre–, una cosa que despide humo –el mercurio– y otra cosa que queda convertida en ceniza –la sal.

A pesar de que Paracelso hablaba más bien de principios, estos elementos estaban indiscutiblemente ligados a tres sustancias reales y concretas reconocidas, ahora, en la actualidad: el azufre, el mercurio y el cloruro de sodio. Parece ser el principio de la evolución de nuestra concepción de los elementos, pensados, en un principio, como algo abstracto e inmaterial hasta algo, más bien, concreto y real.

ANTOINE LAURENT LAVOISIER

El siguiente gran brinco conceptual se da con Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794). Como colofón de su elegante explicación de lo que ocurre cuando algo se quema (la combustión), Lavoisier precisa varias ideas dentro de la práctica química:

“Todas las sustancias que no hemos podido descomponer todavía por ningún medio, son, para nosotros, elementos”

Distingue por primera vez en la historia, con toda claridad, dos tipos de sustancias: las simples y las compuestas. Pero no solo eso, con él desaparece la definición abstracta de los elementos. Ya no son principios místicos ni cualidades sino sustancias concretas que se pueden comprar, vender y almacenar

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
	Lumière	Lumière. Chaleur.
	Calorique	Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu. Matière du feu & de la chaleur.
Substances simples qui ap- partiennent aux trois ré- gnes, & qu'on peut regarder comme les élé- mens des corps.	Oxygène	Air déphlogistiqué. Air empiréal. Air vital. Base de l'air vital.
	Azote	Gaz phlogistiqué. Mofète. Base de la mofète.
	Hydrogène	Gaz inflammable. Base du gaz inflammable.
	Soufre	Soufre.
Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.	Phosphore	Phosphore.
	Carbone	Charbon pur.
	Radical muriatique	Inconnu.
	Radical fluorique	Inconnu.
	Radical boracique	Inconnu.
	Antimoine	Antimoine.
	Argent	Argent.
Substances simples métal- liques oxidables & acidifiables.	Arsenic	Arsenic.
	Bismuth	Bismuth.
	Cobalt	Cobalt.
	Cuivre	Cuivre.
	Etain	Etain.
	Fer	Fer.
	Manganèse	Manganèse.
	Mercure	Mercure.
	Molybdène	Molybdène.
	Nickel	Nickel.
Or	Or.	
Substances simples siliceo- siles terreuses.	Platine	Platine.
	Plomb	Plomb.
	Tungstène	Tungstène.
	Zinc	Zinc.
	Chaux	Terre calcaire, chaux.
	Magnésie	Magnésie, base du sel d'epsom.
	Baryte	Barote, terre pesante.
Alumine	Argile, terre de l'alun, base de l'alun.	
Silice	Terre siliceuse, terre vitifiable.	

Figura 2. Los 33 elementos propuestos por Lavoisier.

JOHN DALTON

Al ser humano siempre le ha inquietado mucho el problema de si la materia es una especie de "pasta continua" o si está formada por una sucesión de partículas y huecos (el vacío). Durante muchos siglos, fue imposible contestar con certeza esta interrogante. Cualquiera de las dos respuestas era igualmente posible y lógica. Sin embargo, no había manera de comprobar una o refutar la otra porque faltaba información. Lo más que se podía hacer era reflexionar.

Tuvieron que pasar miles de años para que la humanidad pudiera encontrar una respuesta a esa inquietud. En 1808, el naturalista inglés John Dalton (1766–1844), resolvía definitivamente el viejo dilema.

A partir del trabajo de Lavoisier, se generó lo que, en términos actuales, llamaríamos una considerable base de datos respecto de las masas de reactivos y productos involucradas en las reacciones químicas llevadas a cabo por los distintos investigadores de la época.

Con esta valiosa información, a Dalton se le ocurrió una ingeniosa manera de explicar no solo la composición de las sustancias sino también qué es lo que ocurre en las reacciones químicas. Aclaró lo siguiente:

- Las sustancias simples están constituidas por átomos iguales.
- Las sustancias compuestas están constituidas por átomos diferentes.
- Las reacciones químicas consisten en el intercambio y rearreglo de átomos.
- Los átomos de distintos elementos tienen masas diferentes.

Y además Dalton generó la primera tabla de masas atómicas relativas. Por ejemplo, para el caso del agua, Dalton supuso –por sencillez– que sus moléculas eran diatómicas, es decir que estaban constituidas únicamente por dos átomos: uno de hidrógeno y otro de oxígeno. La fórmula del agua sería, entonces, simplemente HO. Y la masa de un átomo de oxígeno sería ocho veces mayor que la de uno de hidrógeno.

Hoy sabemos que no es así. Pero, en la época de Dalton, no había modo de saber la fórmula del agua. Él supuso la más simple.

STANISLAO CANNIZZARO Y LOS DESCUBRIDORES DE LA PERIODICIDAD QUÍMICA.

En **1860**, durante el primer congreso internacional de química de la historia celebrado en la ciudad alemana de Karlsruhe, **Stanislao Cannizzaro** (1826–1910) esclareció la confusión que había respecto de las fórmulas y las masas de las distintas sustancias químicas. A partir de las hipótesis de otro químico, **Amedeo Avogadro** (1776–1856), y mediante un elegante trabajo experimental, Cannizzaro pudo establecer un conjunto de fórmulas químicas y masas atómicas sumamente confiables.

Los resultados de Cannizzaro detonaron la investigación química de los siguientes años, incluyendo los trabajos que derivarían en el descubrimiento de la periodicidad química de los elementos.

En **1862**, el mineralogista francés **Alexandre de Chancourtois** (1820–1886) fue el primero en ordenar los elementos químicos según su masa atómica. Los acomodó en una espiral (con una inclinación de 45°) sobre la superficie de un cilindro de cartón. Con este arreglo, elementos similares quedaban ubicados en la misma línea vertical. Chancourtois fue el primer descubridor de la periodicidad química.

En **1863**, el químico inglés **John Newlands** (1837–1898) generó una tabla en la que, al ordenar los elementos según sus masas atómicas, cada 8 elementos se parecían químicamente. Newlands propuso que los elementos mostraban un comportamiento periódico similar al que se observa en las notas musicales. A esta propuesta, él le llamó la *ley de las octavas*.

En **1864**, el químico inglés **William Odling** (1829–1921) propuso otra tabla periódica basada en la comparación de las diferencias de masas entre pares de elementos. En este caso, también era evidente que había grupos de elementos que se parecían mucho en su comportamiento químico.

También en **1864**, **Julius Lothar Meyer** (1830–1895) publicó la primera edición de un libro de texto de química, *Die Modernen Theorie der Chemie*, en el que incluía dos tablas de elementos químicos: una, de 28 elementos, acomodados en orden ascendente de sus masas atómicas; y, otra, de 22 elementos, que no estaba ordenada de acuerdo con las masas atómicas. Esta última correspondía a los metales de transición que conocemos en la actualidad.

Sin embargo, la primera era muy parecida a la que, más tarde, construiría el químico ruso, Dimitri Mendeléyev. Lothar Meyer también hizo algunos ajustes, tomando en cuenta, el parecido químico de los elementos. También dejó algunos huecos en su tabla. Y también estimó la posible masa atómica de los elementos faltantes.

Quizá, lo más relevante de la tabla de Lothar Meyer fue que también encontró una evidente periodicidad en algunas propiedades físicas, muy especialmente en el volumen atómico de los elementos.

Unos años después, en **1867**, el químico alemán, **Gustavus Detlef Hinrichs** (1836–1923) propuso otra clasificación de los elementos a partir de una idea muy original: relacionar las frecuencias de las líneas de emisión de los espectros atómicos con sus tamaños y sus masas relativas. Él no propone una tabla sino un diagrama radial en el que en los radios de la figura se encontraban precisamente los elementos que eran parecidos químicamente.

DIMITRI MENDELÉYEV

Mendeléyev, al igual que Lothar Meyer, era un reconocido investigador y un apasionado docente. A él también se le ocurrió su clasificación de los elementos mientras escribía su libro de texto, *The Principles of Chemistry*, con el fin de explicarles a sus lectores la reactividad de los elementos químicos.

La tabla de Mendeléyev –publicada hace 150 años– en 1869 contenía los 64 elementos conocidos en ese entonces. Al igual que la de Meyer, estaba construida en orden ascendente de las masas atómicas de los elementos, cuidando que los elementos similares químicamente quedaran debidamente agrupados.

La tabla del científico ruso era la más completa de todas las realizadas, contenía los 64 elementos conocidos en ese entonces. Él sí hizo un énfasis especial (que nadie más hizo) acerca de que debería de haber otros elementos que ocuparían los huecos que aparecían en la tabla. También predijo algunas propiedades de dichos elementos e, incluso, detectó y corrigió las masas atómicas de algunos de los elementos ya conocidos. Pero, indiscutiblemente fue él quien tuvo la visión y comprendió la real importancia y la enorme trascendencia que tendría la periodicidad química para el futuro desarrollo de esta disciplina, como ciencia y como industria.

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104.4	Pt = 197.4
			Fe = 56	Ru = 104.4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pt = 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 = 27.4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210
	O = 16	S = 32	Se = 79.4	Te = 128?	
Li = 7	F = 19	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 = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75.6	Th = 118?		

Figura 3. La tabla periódica de Mendeléyev de 1869.

EL ORIGEN DE LOS ELEMENTOS

Tal y como lo señaló Dalton, los átomos de distintos elementos son diferentes. Por ello, todos los átomos de una sustancia elemental son de un mismo elemento y, por lo tanto, idénticos. Así mismo, las sustancias compuestas están compuestas (valga la redundancia) por átomos de distintos elementos. Todos los átomos (sean del elemento que sea) tienen una parte positiva (los protones) concentrada en un núcleo, rodeada por una parte negativa (los electrones). Lo que hace distinto a un átomo de otro (y, por tanto, a un elemento de otro) es el número de protones. A este número se le llama *número atómico* y corresponde con la casilla que ocupan los elementos en la tabla periódica. Además de los protones, en los núcleos atómicos hay otras partículas sin carga eléctrica llamadas neutrones.

Modificar el número de protones de los átomos no es cosa fácil. Para ello se requiere de reacciones nucleares. Por eso, los alquimistas fracasaron en su empeñoso afán por transmutar la materia.

Sin embargo, en las estrellas las reacciones nucleares se dan de manera natural. En las estrellas como el Sol, los núcleos de hidrógeno se transforman constantemente en núcleos de helio. La energía que se libera de este proceso ha impedido (durante 5 mil millones de años) que el Sol se colapse debido a la atracción gravitacional. Y se sabe que hay suficiente hidrógeno en su interior para mantenerlo así otros 5 mil millones de años.

En las Gigantes Rojas (que es en lo que se va a convertir nuestro amado Sol cuando se le acabe el hidrógeno), a partir de los núcleos de helio, se forman los elementos cuyo número atómico va desde 3 hasta 26, es decir, desde el litio hasta el hierro. Del cobalto al uranio (92 protones), los núcleos no liberan energía al formarse; más bien la absorben. Por eso, no es posible que se formen en las Gigantes Rojas, sino que se producen en las espectaculares explosiones estelares conocidas como Novas y Supernovas.

LOS ELEMENTOS TERRÍCOLAS

Hay otro lugar en el universo donde se forman elementos: en el planeta Tierra. En los años 50, los científicos de la época crearon los elementos 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100 y 101. Esto se logró mediante dos tipos de reacciones nucleares: el decaimiento *beta* y la captura *alfa*. En el primero, se bombardean núcleos de elementos pesados con neutrones. Cada neutrón capturado se transforma en un protón y un electrón (partícula *beta*). Como resultado se crea un nuevo elemento con un protón de más, es decir, con el siguiente número atómico al del elemento original. En el segundo, los núcleos pesados son bombardeados con núcleos de helio (partículas *alfa*) haciendo que el número atómico se incremente dos unidades cada vez.

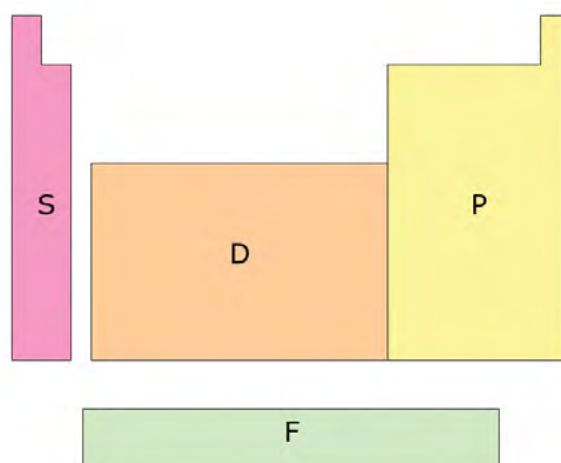
De 1958 a 1974, se sintetizaron desde el elemento 102 hasta el 106. Para ello, bombardearon los núcleos recién creados con iones de elementos ligeros como el boro. Para lograrlo, se requirió el desarrollo de grandes aceleradores de partículas. Más allá del elemento 106, fue imposible crear nuevos núcleos con esta técnica.

En 1974, un grupo de investigadores dirigidos por Yuri Oganessian en Dubna, Rusia descubrió una técnica que podía servir para la síntesis de nuevos elementos. Se les ocurrió invertir los papeles: usar como proyectiles a los núcleos pesados y como blanco a los iones de elementos ligeros. Esto permitía colisiones "frías" que no liberaban tanta energía dando tiempo a que se estabilizaran los nuevos núcleos.

Esta técnica se empezó a utilizar a partir de 1975 cuando se abrió el UNILAC (Universal Linear Accelerator) en Darmstadt, Alemania con el cual se podía acelerar incluso los iones más pesados hasta alcanzar las más altas energías. Con este poderoso equipo, el grupo alemán dirigido por Peter Armbruster logró a principios de los 80 sintetizar los elementos 107, 108 y 109. Hubo que esperar hasta 1996 para crear los elementos 110, 111 y 112. Finalmente, en los últimos 6 años, entre el grupo ruso y el grupo alemán, han logrado sintetizar los elementos 113, 114, 115, 116, 117 y 118.

LA TABLA PERIÓDICA ACTUAL

La Tabla Periódica de los Elementos es una representación gráfica que agrupa a los elementos según la distribución de sus electrones alrededor del núcleo. Consiste en 118 casillas organizadas en 4 bloques: S, P, D y F. Cada casilla corresponde a un elemento. El número de casilla coincide con el número de protones del elemento correspondiente.



Las columnas de los bloques S, P y D corresponden a grupos de elementos con propiedades químicas similares. Se numeran del 1 al 18 (sin tomar en cuenta al bloque F). Los renglones de la tabla periódica se denominan periodos y corresponden con las capas electrónicas de las partículas mononucleares.

En el bloque F hay otros dos grupos, en este caso en secuencia horizontal: los lantanoides y los actinoides. El bloque F está entre los bloques S y D, pero –por comodidad– se acostumbra a situarlo debajo de los otros 3 bloques.

LA MAGIA DE LA TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

La Mecánica Cuántica, a principios del Siglo XX, nos mostró que los electrones se acomodan alrededor del núcleo por capas de distinta capacidad. En la 1ª capa, caben solo dos electrones. En la 2ª y en la 3ª, caben 8 electrones. El número máximo de electrones que pueden estar en la 4ª y en la 5ª capas es 18. Y, por último, en la 6ª y en la 7ª capas puede haber un máximo de 32 electrones.

Es decir, una tabla, creada casi 60 años antes, en términos de la masa atómica y de las propiedades químicas, refleja con toda claridad la estructura electrónica de los átomos. Esta relación entre propiedades y estructura es la que nos permite a los químicos predecir algunas reacciones químicas. La tabla periódica funciona como una escala de reactividad en dos dimensiones. Abajo a la izquierda se encuentran los elementos más grandes y que pierden electrones con mayor facilidad, mientras que arriba a la derecha se encuentran los elementos más pequeños que tienen mayor facilidad para capturar electrones. Como en todas las escalas de reactividad química, entre más separadas estén dos sustancias, más violentamente reaccionarán. Y, entre más cerca,

tendrán una menor tendencia a reaccionar.

Los químicos no necesitamos aprendernos de memoria la tabla periódica. Lo único que hacemos es colgarla en nuestros laboratorios y en nuestros cubículos y, cuando lo necesitamos, simplemente volteamos a verla, ubicamos el elemento que nos interesa y de ahí inferimos con quién va a reaccionar, en qué medida y qué otras sustancias se pueden llegar a producir.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Raviolo, A., Garritz, A. y Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica". *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8, 3, 240–254.
- Scerri, E. (2007). *The Periodic Table. Its story and its significance*. Oxford University Press, Inc., New York.
- Scerri, E. R. (2008). El pasado y el futuro de la tabla periódica. *Educación Química*, 19, 3, 234–241.
- Sosa, P. (2000). Elemental, mi querido Watson, *Horizontes*, 5, 10, 35–39.
- Sosa, P. (2007). *Conceptos base de la Química. Libro de apoyo para bachillerato*. Dirección General del Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM, Ciudad de México.