

Eric Scerri

La tabla periódica

Una breve introducción



Alianza editorial
El libro de bolsillo

Título original: *The Periodic Table. A Very Short Introduction*

Publicada originalmente en inglés en 2011. Segunda edición publicada en 2019. Esta traducción se ha realizado por acuerdo con Oxford University Press.

Primera edición: 2013

Segunda edición: 2025

Diseño de colección: Estrada Design

Diseño de cubierta: Manuel Estrada

Ilustración de cubierta: Tabla de los elementos de John Dalton (1803)

© Bettmann/Getty Images

Selección de imagen: Carlos Caranci Sáez

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeran, plagiaran, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.



© Eric R. Scerri, 2011

© de la traducción: Miguel Paredes Larrucea, 2013, 2025

© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2013, 2025

Calle Valentín Beato, 21

28037 Madrid

www.alianzaeditorial.es

ISBN: 978-84-1148-844-0

Depósito legal: M. 22.952-2024

Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: alianzaeditorial@anaya.es

Índice

9	Agradecimientos
11	Prólogo
17	Prólogo a la segunda edición
19	1. Los elementos
30	2. Breve panorámica de la tabla periódica moderna
55	3. El peso atómico, las tríadas y William Prout
69	4. Pasos hacia la tabla periódica
88	5. El genio ruso: Mendeléiev
106	6. La física invade la tabla periódica
121	7. La estructura electrónica
138	8. La mecánica cuántica
153	9. La alquimia moderna: de los elementos faltantes a los elementos sintéticos
170	10. Las distintas formas de la tabla periódica
195	Lecturas suplementarias
197	Índice de ilustraciones
201	Índice analítico

Agradecimientos

Agradezco a todos los directores de edición y demás personal de Oxford University Press la ayuda que me han prestado, y a Jeremy Lewis por haber propuesto la idea de escribir una breve introducción a la tabla periódica.

Vaya también mi agradecimiento a los colegas, alumnos y bibliotecarios que me ayudaron durante la preparación del libro.

Por último (aunque no por orden de importancia), quiero expresar mi agradecimiento a mi esposa Elisa por su amor y su paciencia.

Prólogo

Sobre las excelencias de la tabla periódica se lleva ya mucho escrito. He aquí algunos ejemplos:

La tabla periódica es la piedra de Rosetta de la naturaleza. Para el no iniciado es solo un centenar largo de recuadros numerados, cada uno de ellos con una o dos letras, dispuestos con una extraña simetría asimétrica. Pero para el químico revela los principios organizativos de la materia, es decir, los principios organizativos de la química. En un nivel básico, toda la química está contenida en la tabla periódica.

Eso no quiere decir, claro, que toda la química resulte evidente a partir de la tabla periódica. Ni mucho menos. Sin embargo, la estructura de la tabla refleja la estructura electrónica de los elementos y por tanto sus propiedades químicas y su comportamiento. Lo más apropiado sería decir que toda la química comienza con la tabla periódica. (Rudy Baum, *Número especial de C&EN sobre los elementos*).

El astrónomo Harlow Shapley escribe lo siguiente:

La tabla periódica es probablemente la compilación de conocimientos más compacta y significativa que haya elaborado hasta ahora el hombre. La tabla periódica es a la materia lo que la tabla de las eras geológicas al tiempo cósmico. Su historia es la historia de las grandes conquistas del hombre en el microcosmos.

Robert Hicks, historiador de la química, dice así en un podcast de Internet:

El icono más reconocible de toda la ciencia tal vez sea la tabla periódica de los elementos. Esta carta se ha convertido en nuestro modelo de cómo se organizan los átomos y las moléculas para crear la materia tal como la conocemos, de cómo está organizado el mundo en el nivel más bajo. La tabla periódica ha cambiado a lo largo de la historia. Nuevos elementos se fueron añadiendo a la tabla a medida que fueron descubiertos, mientras que otros fueron rechazados y modificados o eliminados. La tabla periódica funciona así como un almacén de la historia de la química, un molde para la evolución actual y una base para el futuro de las ciencias químicas... un mapa de los bloques de construcción más fundamentales del mundo.

Veamos por último lo que dice el físico y químico C. P. Snow, conocido por sus escritos sobre «las dos culturas»:

[Al oír una explicación de la tabla periódica] Por primera vez vi ponerse en orden un popurrí de hechos hasta en-

tonces caóticos. Ante mis ojos iban encajando en ese esquema todos los embrollos, recetas y galimatías de la química inorgánica de mi infancia, como si, estando al borde de una selva, esta se transformara de pronto en un jardín holandés.

Lo más notable de la tabla periódica es su simplicidad y la sensación de familiaridad que transmite, además del puesto verdaderamente fundamental que ocupa en la ciencia. A su simplicidad se alude en las citas anteriores. Parece como si la tabla periódica organizara los componentes fundamentales de toda la materia.

Por otro lado, la tabla le es familiar a la mayoría de las personas. Casi todo el mundo, por muy elementales que sean sus conocimientos de química, es capaz de recordar la existencia de la tabla periódica, aun después de olvidar todo lo aprendido anteriormente de esta materia. La tabla periódica resulta casi tan familiar como la fórmula química del agua. Se ha convertido en un verdadero icono cultural que es utilizado por artistas, publicitarios y, por supuesto, por todos los científicos.

Al mismo tiempo, la tabla periódica es algo más que un instrumento para la enseñanza y el estudio de la química. Refleja el orden natural de las cosas en el mundo y, por lo que sabemos, en todo el universo. Se compone de grupos de elementos dispuestos en columnas verticales. El químico o incluso el estudiante de química que conozca las propiedades de un elemento representativo de cualquier grupo —el sodio, por ejemplo— tendrá una buena idea de las propiedades de todos los de-

más elementos del grupo: el potasio, el rubidio y el cesio.

En un plano más fundamental, el orden inherente a la tabla periódica condujo a un profundo conocimiento de la estructura del átomo y a la noción de que, en esencia, los electrones giran alrededor del núcleo en capas y orbitales específicos. Estas distribuciones de los electrones sirven a su vez para racionalizar la tabla periódica. Explican por qué, hablando en términos generales, los elementos sodio, potasio, rubidio, etc., pertenecen de entrada al mismo grupo.

Pero hay algo más importante, y es que la comprensión de la estructura atómica a la que se llegó inicialmente al tratar de entender la tabla periódica se aplicó en muchos otros campos de la ciencia. Este conocimiento contribuyó en primer lugar al desarrollo de la vieja teoría cuántica y después a la de su pariente más maduro, la mecánica cuántica, un corpus de conocimientos que sigue siendo aún hoy la teoría fundamental de la física, capaz de explicar el comportamiento no solo de toda la materia, sino de todas las formas de radiación tales como la luz visible, los rayos X y la luz ultravioleta.

A diferencia de la mayoría de los descubrimientos científicos realizados en el siglo XIX, la tabla periódica no se ha visto refutada por los nuevos descubrimientos realizados en los siglos XX y XXI. Al contrario, los descubrimientos de la física moderna, en particular, han servido para afinar la tabla periódica y subsanar algunas anomalías que aún subsistían. Su forma general y su validez se han mantenido intactas, como un testimonio más de

la potencia y profundidad de este sistema de conocimientos.

Antes de examinar la tabla periódica, vamos a estudiar sus ocupantes, es decir, los elementos. Después echaremos un rápido vistazo a la tabla periódica moderna y a algunas de sus variantes, y a partir del capítulo 3 examinaremos su historia y cómo se llegó al nivel de comprensión actual.

Prólogo a la segunda edición

Los encargados de la serie *Very Short Introduction* me pidieron preparar una segunda edición coincidiendo con el 150 aniversario de la formulación de Mendeléiev de la tabla periódica madura y con la proclamación de 2019 como Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos por la UNESCO.

Huelga decir que he aprovechado con gusto esta oportunidad para corregir algunos errores señalados por los lectores en la primera edición y también para actualizarla, porque desde su publicación ha habido nuevos resultados en el estudio de la tabla periódica y en otros temas afines.

Por ejemplo, la importante cuestión de la ocupación de los orbitales $4s-3d$ en relación con la interpretación moderna de la tabla periódica ha encontrado una explicación satisfactoria que da plena cuenta del orden relativo de llenado y de ionización de estos orbitales atómicos.

Por otro lado, la relevancia del principio de Aufbau y de sus anomalías ha sido objeto de una nueva conceptualización que se explica brevemente en esta nueva edición.

También se han producido cambios en el campo de los elementos sintéticos. Por ejemplo, desde la aparición de la primera edición se ha ratificado la existencia y el nombre de los elementos 113, 115, 117 y 118: nihonio, moscovio, téneso y oganesón. Esto significa también haber completado por primera vez, desde la formulación de la tabla periódica, el séptimo período. No obstante, se ha empezado ya a trabajar en la síntesis de elementos del siguiente período, que comienza con los elementos 119 y 120. Los elementos del bloque g comenzarán, al menos formalmente, justo detrás de ese punto, en el elemento 121.

Finalmente, se han registrado algunos cambios en relación con la cuestión de qué elementos deberían formar parte del grupo 3 de la tabla periódica, y ha habido nuevos experimentos que tienen importancia para la cuestión del lugar ocupado por el helio.

Espero que el lector se anime a ponerse en contacto conmigo para hacerme llegar cualquier pregunta o sugerencia en relación con cualquiera de los asuntos tratados en el libro.

Eric Scerri
Los Ángeles
2019

1. Los elementos

Los antiguos filósofos griegos conocían solo cuatro elementos: la tierra, el agua, el aire y el fuego, todos los cuales sobreviven en la subdivisión astrológica de los doce signos del zodiaco. Algunos de aquellos filósofos creían que estos elementos estaban formados por componentes microscópicos de variadas formas y que eso explicaba la diversidad de sus propiedades. Pensaban que las formas básicas de los cuatro elementos eran las de los sólidos platónicos (Figura 1), cuyas caras son polígonos regulares iguales (triángulos, cuadrados, etc.). Los griegos creían que la tierra consistía en partículas microscópicas cúbicas, porque, de todos los sólidos platónicos, el cubo es el que tiene las caras de mayor superficie. La liquidez del agua se explicaba por la forma más suave del icosaedro, mientras que el fuego se decía que era doloroso al tacto porque consistía en partículas puntiagudas en forma de tetraedros. El aire se pensaba que consistía en oc-

taedros, porque este era el único sólido platónico que quedaba. Algún tiempo después los matemáticos descubrieron un quinto sólido platónico, el dodecaedro, lo cual llevó a Aristóteles a proponer la posible existencia de un quinto elemento, o quintaesencia, que recibió también el nombre de éter.

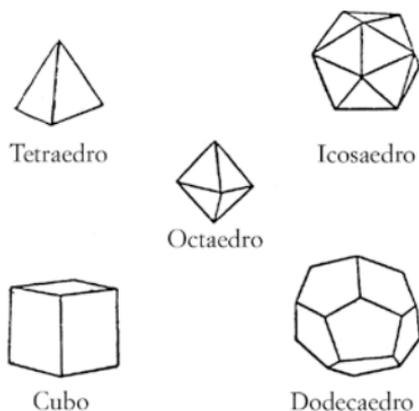


Figura 1. Los sólidos platónicos, cada uno de ellos asociado a uno de los antiguos elementos.

La noción de que los elementos están compuestos de sólidos platónicos se considera hoy día incorrecta, pero fue el origen de una idea fecunda: que las propiedades macroscópicas de las sustancias están determinadas por la estructura de los componentes microscópicos de los que están formadas.

Los cuatro elementos de los antiguos griegos sobrevivieron hasta bien entrada la Edad Media e incluso después, con la adición de algunos otros descubiertos por los alquimistas, los precursores de los químicos actuales. El objeti-

vo más conocido de los alquimistas era la trasmutación de los elementos. En concreto intentaban transformar el plomo, un metal común, en oro, un metal noble cuyo color, rareza e inactividad química hicieron de él una de las sustancias máspreciadas desde los albores de la civilización.

Pero además de considerarlos como sustancias que realmente podían existir, los filósofos griegos concebían los elementos como principios, como tendencias y potencialidades que daban lugar a sus propiedades observables. Esta distinción más bien sutil entre la forma abstracta de un elemento y su forma observable desempeñó un papel importante en el desarrollo de la química, aunque el significado más sutil no lo entienden muy bien hoy día ni siquiera los químicos de profesión. Lo cierto es que la noción de elemento abstracto fue una guía fundamental para algunos de los pioneros de la tabla periódica, como por ejemplo Dimitri Mendeléiev, su principal descubridor.

En la mayoría de los libros de texto se dice que la química solo empezó de verdad cuando volvió la espalda al antiguo saber griego y a la alquimia y a esa idea aparentemente mística de la naturaleza de los elementos. Generalmente se considera que el triunfo de la ciencia moderna descansa en la experimentación directa, en la que solo cuenta lo que es observable. No es de extrañar que la acepción más sutil y quizás más fundamental del concepto de elemento haya sido en general rechazada. Antoine Lavoisier, por ejemplo, consideraba que los elementos debían definirse sobre la base de la observación empírica, relegando así el papel de los elementos abstractos o de los elementos en tanto que principios. Lavoisier sostenía que los elementos debían definirse como sustancias

materiales que había que descomponer en componentes más fundamentales. En 1789 publicó una lista de treinta y tres sustancias simples, o elementos, de acuerdo con este criterio empírico (Figura 2). De su lista de elementos desaparecieron, con razón, los antiguos elementos de tierra, agua, aire y fuego, que para entonces se había demostrado que consistían en sustancias más simples.

Muchas de las sustancias de la lista de Lavoisier reúnen los requisitos necesarios para ser consideradas como elementos de acuerdo con los criterios actuales, mientras que otras, como *lumière* ('luz') y *calorique* ('calor'), ya no se consideran elementos. Los rápidos avances logrados en los años siguientes en las técnicas de separación y caracterización de sustancias químicas ayudaron a los químicos a ampliar esta lista. La importante técnica de la espectroscopia, que sirve para medir los espectros de emisión y absorción de varios tipos de radiación, proporcionaría con el tiempo un medio muy preciso para identificar cada elemento a través de su huella digital. Hoy día conocemos alrededor de noventa elementos naturales. Aparte de ellos, se han sintetizado artificialmente unos veinticinco más.

El descubrimiento de los elementos

Algunos elementos, como el hierro, el cobre, el oro y la plata, se conocen desde los albores de la civilización, lo que se explica por el hecho de que se encuentran nativos o son fáciles de separar de los minerales en que aparecen en la naturaleza.

1. Los elementos

	<i>Noms nouveaux.</i>	<i>Noms anciens correspondans.</i>	
<i>Substances simples qui appartiennent aux trois règnes, & qu'on peut regarder comme les éléments des corps.</i>	Lumière	Lumière.	
	Calorique	Chaleur.	
		Principe de la chaleur.	
		Fluide igné.	
	Oxygène	Feu.	
		Matière du feu & de la chaleur.	
		Air déphlogistiqué.	
		Air empiréal.	
		Air vital.	
	Azote	Base de l'air vital.	
Gaz phlogistiqué.			
Mofète.			
Hydrogène	Base de la mofète.		
	Gaz inflammable.		
	Base du gaz inflammable.		
<i>Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Soufre	Soufre.	
	Phosphore	Phosphore.	
	Carbone	Charbon pur.	
	Radical muriatique .	Inconnu.	
	Radical fluorique . .	Inconnu.	
	Radical boracique . .	Inconnu.	
	Antimoine	Antimoine.	
	Argent	Argent.	
	Arsenic	Arsenic.	
	Bismuth	Bismuth.	
	Cobalt	Cobalt.	
	Cuivre	Cuivre.	
	Etain	Etain.	
	<i>Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Fer	Fer.
		Manganèse	Manganèse.
		Mercure	Mercure.
		Molybdène	Molybdène.
Nickel		Nickel.	
Or		Or.	
Platine		Platine.	
Plomb		Plomb.	
Tungstène		Tungstène.	
Zinc		Zinc.	
<i>Substances simples salifiables terreuses.</i>		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 vitrifiable.	

Figura 2. Lista de elementos como sustancias simples, según Lavoisier.

Los historiadores y los arqueólogos han dado a determinadas épocas de la historia humana el nombre de Edad del Hierro o Edad del Bronce (el bronce es una aleación de cobre y estaño). Los alquimistas añadieron algunos elementos más a la lista, entre ellos el azufre, el mercurio y el fósforo. En tiempos relativamente recientes, el descubrimiento de la electricidad permitió a los químicos aislar muchos de los elementos más reactivos que, a diferencia del cobre y el hierro, no podían obtenerse calentando el mineral con carbón vegetal (carbono).

En la historia de la química ha habido una serie de episodios importantes a raíz de los cuales se descubrieron seis elementos o más en el plazo de unos años. Por ejemplo, el químico inglés Humphry Davy utilizó la electricidad, específicamente la técnica de la electrólisis, para aislar cerca de diez elementos, entre ellos el calcio, el bario, el magnesio, el sodio y el cloro.

El descubrimiento de la radiactividad y la fisión nuclear dio lugar al descubrimiento de nuevos elementos. Los últimos siete que se aislaron dentro de los límites de los elementos naturales fueron el protactinio, el hafnio, el renio, el tecnecio, el francio, el ástato y el prometio, entre los años 1917 y 1945. Uno de los últimos huecos que se llenó fue el correspondiente al elemento 43, que recibió el nombre de tecnecio, del griego *tekhnitós*, que significa 'artificial'. El tecnecio fue «fabricado» mediante reacciones radioquímicas que no habrían sido posibles antes del advenimiento de la física nuclear. Actualmente parece que el tecnecio existe también en la corteza terrestre, aunque en cantidades minúsculas.