

**ESPECIAL**

---

# La tabla periódica

# ESPECIAL

# La tabla periódica



## CONTENIDO

Nuestra selección de artículos sobre el desarrollo de la **tabla periódica**, una de las herramientas más emblemáticas de la ciencia

### La prehistoria de la tabla periódica

Jennifer Rampling  
*Investigación y Ciencia*, abril 2019

### Las mujeres de la tabla periódica

Brigitte van Tiggelen y Annette Lykness  
*Investigación y Ciencia*, agosto 2019

### Hahn y Meitner en la Alemania nazi

José Manuel Sánchez Ron  
*Investigación y Ciencia*, abril 2019

### Los pesos atómicos y la tabla periódica

Agustín Nieto-Galan y Joaquim Sales  
*Investigación y Ciencia*, octubre 2019

### Evolución del sistema periódico

Eric R. Scerri  
*Investigación y Ciencia*, noviembre 1998

### La tabla periódica

Eric R. Scerri  
*Investigación y Ciencia*, abril 2008

### El elemento 110

Peter Armbruster  
*Investigación y Ciencia*, mayo 1995

### La síntesis de los elementos superpesados

Peter Armbruster  
*Investigación y Ciencia*, noviembre 1998

### Fisuras en la tabla periódica

Eric R. Scerri  
*Investigación y Ciencia*, agosto 2013

### La isla de los pesos pesados

Christoph E. Düllmann y Michael Block  
*Investigación y Ciencia*, mayo 2018

### Disputas en la tabla periódica

Edwin Cartlidge  
*Investigación y Ciencia*, mayo 2019

### La tabla periódica: una obra inacabada

Eric R. Scerri  
*Investigación y Ciencia*, junio 2019

### El arte de coleccionar elementos químicos

Marc Boada Ferrer  
*Investigación y Ciencia*, julio 2019

#### EDITA

Prensa Científica, S.A.  
Muntaner, 339 pral. 1ª, 08021 Barcelona (España)  
precisa@investigacionyciencia.es  
www.investigacionyciencia.es

Copyright © Prensa Científica, S.A. y Scientific American, una división de Nature America, Inc.

ESPECIAL n.º 45 ISSN: 2385-5657

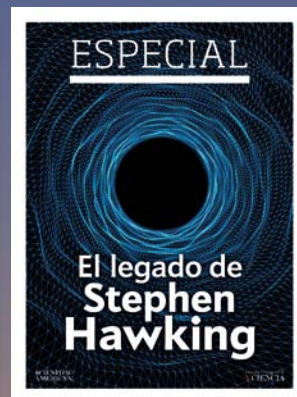
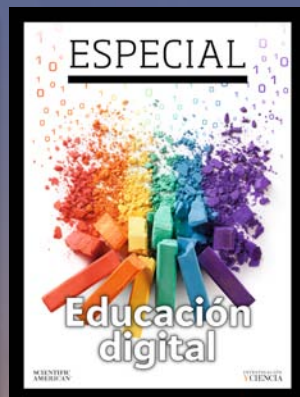
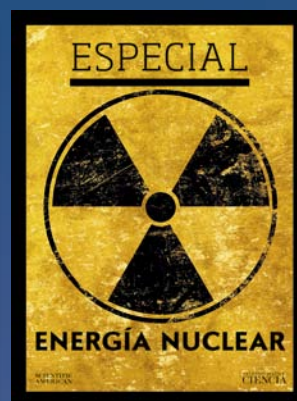
En portada: Getty Images/AF-studio/iStock | Imagen superior: Getty Images/lucadp/iStock



# ESPECIAL

## MONOGRÁFICOS DIGITALES

Descubre los monográficos digitales que reúnen nuestros mejores artículos (en pdf) sobre temas de actualidad



[www.investigacionyciencia.es/revistas/especial](http://www.investigacionyciencia.es/revistas/especial)



Prensa Científica, S.A.



HISTORIA DE LA CIENCIA

# La prehistoria de la tabla periódica

Más de 2000 años de ideas y teorías sobre la indivisibilidad y la naturaleza última de la materia

Jennifer Rampling

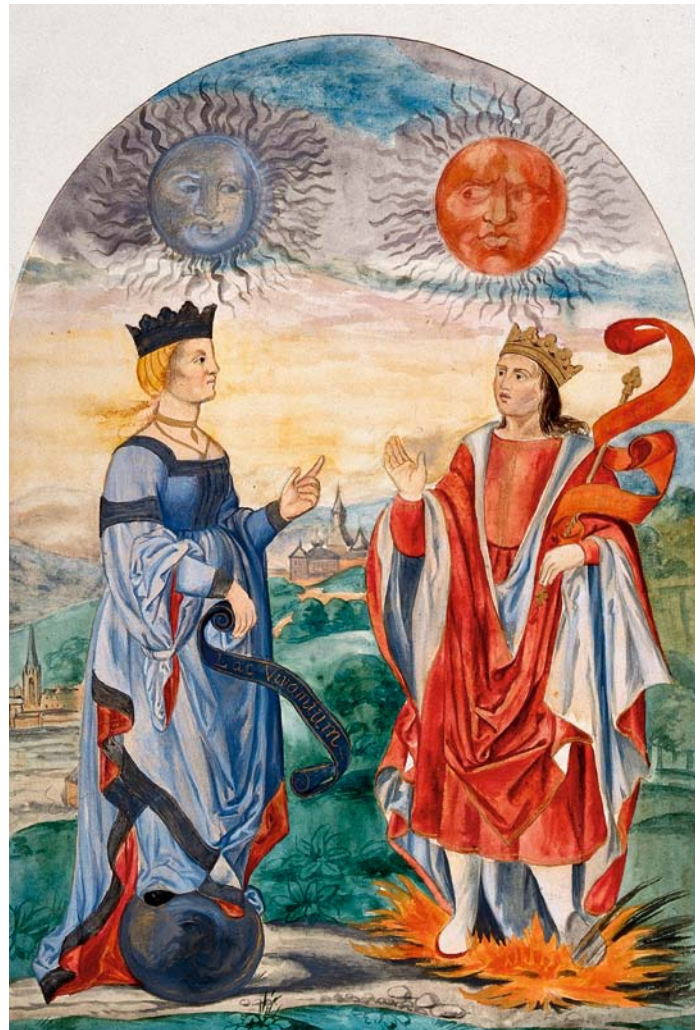
**E**STE AÑO SE CELEBRA EL AÑO INTERNACIONAL DE la Tabla Periódica. Dos milenios antes de que los científicos la concibieran, los filósofos de la antigüedad se preguntaban ya por la naturaleza de la materia. ¿Eran todas las sustancias reducibles a una única materia universal? De ser así, ¿cómo se distinguía una sustancia de otra? Desde la Grecia clásica hasta la Europa del Renacimiento, los sucesivos intentos por responder a estas preguntas generaron una profusión de conceptos coexistentes, desde elementos a principios, pasando por átomos o corpúsculos. Al intentar resolver un problema específico, cada uno de ellos creaba nuevas dificultades.

En el siglo IV a.C., Aristóteles trató el problema en su *Física*: ¿cuántas veces podemos dividir una pieza de oro hasta que deja de ser oro? Intuyó que la materia no puede subdividirse más allá de cierto nivel de simplicidad sin perder el carácter que la define. Este es el «mínimo natural», la partícula más pequeña de cualquier sustancia que podemos identificar como tal. Si fuera más pequeña, ya no tendría las características que hacen que el oro sea oro, por ejemplo.

Un razonamiento similar se halla en la base de la concepción moderna del átomo como unidad fundamental de los elementos químicos. Pero dichas analogías pueden ser equívocas. Aristóteles atacó la teoría de los «átomos» indivisibles de Demócrito por su imposibilidad matemática. Las sustancias no tenían una estructura atómica, sino que se componían de materia y forma. La forma imprimía la materia, que constaba, a su vez, de cuatro «elementos»: tierra, agua, fuego y aire.

## PRIMEROS PRINCIPIOS

Aristóteles no fue el primer filósofo que trató de conceptualizar un sistema de elementos. Empédocles, filósofo presocrático, ya lo había intentado en el siglo V a.C. Sus elementos incluían un sustrato material subyacente al mundo de las formas, inaccesible a nuestros sentidos. Aunque elementales, eran divisibles y constaban de dos pares de cualidades contrarias: caliente/frío y húmedo/seco. Un elemento se transformaba en otro cuando se al-



PERSONIFICACIÓN de los principios del mercurio y el azufre, siglo XVI.



teraban sus propiedades. Así, conforme el calor desplaza al frío, el agua (fría y húmeda) se transforma en aire (caliente y húmedo). En la cosmología aristotélica, esta capacidad de cambio, intrínseca a la física terrestre, explica la complejidad y diversidad de los elementos.

Este modelo mantuvo su prestigio hasta el final de la Edad Media, erigiéndose en fundamento de la filosofía natural islámica y cristiana. No obstante, no podía explicar ciertas observaciones químicas. La transformación de una forma sustancial en otra debería ser un proceso irreversible: el vino se pica en vinagre pero el vinagre no puede volver a transformarse en vino. Aun así, como bien sabían los filósofos y aquellos que manipulaban los metales, muchas operaciones eran reversibles. Tras ser disuelta en ácido nítrico, es posible recuperar la plata pura; también el mercurio puede ser recuperado tras su transformación en un precipitado rojo.

Los alquimistas adoptaron una posición intermedia, inspirada por el tratado aristotélico *Acerca del cielo. Meteorológicos*. La teoría del «azufre-mercurio», formulada en los textos árabes alquímicos del siglo VIII que se atribuyen a Jābir ibn Hayyān, iba a dominar durante cinco siglos las teorías sobre la generación metálica. En el siglo XII fue traducida al latín junto con otros textos científicos árabes.

La teoría se basa en dos principios emparejados, azufre y mercurio, que no siempre se corresponden con los elementos del mismo nombre. El mercurio es frío y húmedo; el azufre, caliente y seco. Su combinación genera los siete metales principales: oro, plata, bronce, estaño, hierro, plomo y mercurio. Los dos principios representan un estadio intermedio de la materia. Están compuestos por los cuatro elementos, pero poseen cualidades que determinan las de los metales. El hierro, por ejemplo, funde a altas temperaturas y desprende chispas al ser golpeado. Según la teoría, debe contener en una elevada proporción el principio caliente y seco del azufre.

De modo análogo a la transmutación alquímica, la medicina ofreció un contexto para pensar las estructuras de la materia, particularmente a partir del siglo XVI. En su *Opus Paramirum*, el médico reformista suizo Paracelso (1493-1541) añadió a la díada azufre-mercurio un tercer principio, la sal. Afirmó que estas «tres primeras cosas» subyacían a toda la materia, no solo los metales. En el marco de una cultura profundamente religiosa, esta

tríada se correspondía, convenientemente, a la Trinidad cristiana de Padre, Hijo y Espíritu Santo.

Paracelso no propuso una forma universal de la materia. Argumentó que toda sustancia se podía reducir a formas particulares de azufre, mercurio y sal. La sal de la madera no es la misma que la del oro y, por lo tanto, tienen propiedades farmacológicas distintas. El sistema atendía básicamente a las necesidades de los profesionales médicos. En cambio, la filosofía mecánica del siglo XVII trataría de justificar las transformaciones de la materia a partir de la interacción mecánica entre corpúsculos. El filósofo natural y sacerdote francés Pierre Gassendi intentó incorporar el atomismo antiguo a la tradición cristiana, mientras que René Descartes propuso un universo mecánico formado por un continuo de partículas puntuales.

En la práctica, un químico podía seleccionar ciertos aspectos de todos estos sistemas en apariencia contradictorios. El médico flamenco Jan Baptista van Helmont (1580-1644) explicó en términos mecanicistas cómo los metales se disolvían en ácidos minerales, reduciéndose a partes más pequeñas. Pese a criticar la medicina paracelsiana, acusó también la influencia de la noción de principios de Paracelso. Pero su experiencia práctica le llevó a cuestionar la idea de que el azufre, el mercurio y la sal eran constituyentes de todas las sustancias, considerando, en cambio, que eran meros productos de procesos químicos o metalúrgicos.

El punto de vista de Van Helmont influyó, a su vez, en Robert Boyle, miembro fundador de la Real Sociedad y defensor del mecanicismo, que expresó dudas similares en *El químico escéptico* (1661). Boyle equiparó elementos y principios en una definición deliberadamente ambigua: «Cuerpos primitivos y simples que forman los cuerpos mixtos o compuestos, y en los cuales pueden resolverse finalmente». Rechazó los principios paracelsianos como constituyentes físicos de los cuerpos compuestos, y no halló indicio alguno de la sal de Paracelso. Sin embargo, convencido como estaba de que la transmutación era posible, Boyle estaba dispuesto a considerar la posibilidad de que los metales contuvieran «mercurio» y «azufre», y posteriormente llegó a afirmar que había extraído diversos «mercurios» metálicos él mismo.

Boyle propuso como solución una «materia católica» universal que formaba

«corpúsculos» semipermanentes. Estos cuerpos eran las partículas más pequeñas humanamente accesibles, así que su propia composición no podía ser investigada. Los corpúsculos funcionaban como átomos, a la vez que obviaban la objeción matemática de la indivisibilidad. Sin embargo, constituían la sede de propiedades como el tamaño o el movimiento, lo que permitía a Boyle y otros filósofos mecanicistas relacionar las propiedades de los materiales con la textura de sus corpúsculos.

Química, medicina y filosofía mecánica contribuyeron a resolver el problema de la materia. En la década de 1660, la experimentación no bastaba para revelar la estructura íntima de la materia, como bien reconoció Boyle. Dicha estructura no solo era invisible al ojo humano, sino que ni siquiera una técnica avanzada de reciente introducción, como el microscopio, podía desvelarla. Estos retos facilitaron la innovación teórica, permitiendo a los filósofos naturales combinar diversos modelos y explicaciones hasta el siglo XVIII. Desde los trabajos de Joseph Priestley en Inglaterra sobre la separación de gases, hasta las ingeniosas balanzas diseñadas por Antoine Lavoisier en Francia, este pluralismo propició la creación teórica y el desarrollo experimental, a partir de los cuales emergería una nueva visión de la estructura atómica. ■

Artículo original publicado en *Nature* vol. 565, págs. 563-564, 2019.

Traducido con el permiso de Nature Research Group © 2019

Con la colaboración de **nature**

#### PARA SABER MÁS

**The aspiring adept: Robert Boyle and his alchemical quest.** Lawrence M. Principe. Princeton University Press, 1998.

**Elements, principles and corpuscules: A study of atomism and chemistry in the seventeenth century.** Antonio Clericuzio. Kluwer Academic Publishers, 2000.

**Alchemy tried in the fire: Starkey, Boyle, and the fate of Helmontian chemistry.** William R. Newman y Lawrence M. Principe. University of Chicago Press, 2002.

**Atoms and alchemy: Chemistry and the experimental origins of the scientific revolution.** William R. Newman. University of Chicago Press, 2006.

**Alchimie et paracelsisme en France à la fin de la Renaissance (1567-1625).** Didier Kahn. Librairie Droz, 2007.

**Brigitte van Tiggelen** es historiadora de la química y directora para Europa del Instituto de Ciencia e Historia de Filadelfia.

**Annette Lykkness** es profesora de didáctica de la química e historiadora de la química en la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, en Trondheim. Han coordinado *Women in their element: Selected women's contributions to the periodic system* (publicado este mes por World Scientific).



HISTORIA DE LA CIENCIA

# Las mujeres de la tabla periódica

Un homenaje a las investigadoras que contribuyeron al descubrimiento de los elementos químicos y sus propiedades

*Brigitte van Tiggelen y Annette Lykkness*

**L**A HISTORIA DE LA CLASIFICACIÓN DE DOCENAS DE ELEMENTOS en una tabla periódica no se ciñe a una persona ni a un momento en el tiempo. Los científicos habían clasificado y predicho la existencia de los elementos antes de que Dimitri Mendeléiev propusiera su esquema en 1869, y siguieron haciéndolo después. Fueron muchos los que trabajaron para descubrir y explicar el comportamiento de las nuevas sustancias. Los gases nobles, la radiactividad, los isótopos, las partículas subatómicas y la mecánica cuántica todavía no se habían descubierto a mediados del siglo XIX.

Para celebrar el Año Internacional de la Tabla Periódica, dedicamos este artículo a algunas de las mujeres que revolucionaron nuestra concepción de los elementos. Marie Curie es la más famosa, por sus investigaciones sobre la radiactividad y el descubrimiento del radio y el polonio, que le valieron el Nobel en dos ocasiones. La mayoría, sin embargo, son poco conocidas. Tampoco suele apreciarse la tenacidad y diligencia que requiere el

trabajo experimental, la valoración de datos y la reconsideración de las teorías vigentes.

Demostrar la existencia de un nuevo elemento no es tarea fácil. El primer paso consiste en detectar una actividad inusual; un comportamiento químico o una propiedad física (las emisiones radiactivas y las líneas espectrales, por ejemplo), que no se corresponda con la de ningún elemento conocido. Luego hay que aislar el nuevo elemento, o un compuesto de él, en cantidades lo suficientemente grandes como para poder pesarlo y convencer a la comunidad científica.

## DESCUBRIR Y ORDENAR

Marie Curie no andaba a la búsqueda de nuevos elementos cuando inició su tesis doctoral sobre los «rayos del uranio», en 1897. Quería explorar la radiactividad, un fenómeno descubierto por Henri Becquerel en 1896. Pero sospechó de la existencia de otros elementos al observar que la radiactividad de la pechblenda, un mineral de uranio, era superior a la que cabía esperar de su



LA QUÍMICA ALEMANA IDA NODDACK, que abandonó un puesto en la industria para investigar los elementos, participó en el descubrimiento del renio.