

# Deborah García Bello

Autora del blog [dimetilsulfuro.es](http://dimetilsulfuro.es)

# TODO ES CUESTIÓN DE QUÍMICA

... y otras maravillas  
de la tabla periódica

27 58 933 1.8 <b>Co</b> COBALTO 2.3 1425 2900 8.9	28 58 71 1.8 <b>Ni</b> NIOBELIO 2.3 1463 2730 8.9	29 63.54 1.9 <b>Cu</b> COBRE 1.2 1083 2595 8.96
46 106.4 2.2 <b>Pd</b> PALADIO 2.4 1552 3960 12.03		

PAIDÓS  
para curiosos

					8 15 9994 3.5 <b>O</b> OXIGENO -2 -218.2 -183 1.14				
					16 32 064 2.5 <b>S</b> AZUFRE ±2,4,6 112.8 444.5 2.07				2 4.0026 <b>He</b> HELIO -268.7 268.9 0.126
					34 78.96 2.4 <b>Se</b> SELENO -2,4,6 217 685 4.78				10 20.183 <b>Ne</b> NEÓN -248.5 -246 1.204
					5 10.811 2.0 <b>B</b> BORO 3 2250 2950 2.31	6 12 0111 2.5 <b>C</b> CARBONO 2,±4 3727 4830 2.26	7 14.0069 3.0 <b>N</b> NITRÓGENO ±3,4,5 209.5 -195.8 0.908	9 18.9984 4.0 <b>F</b> FLUOR -1 -218.6 -188.2 1.11	17 35.453 3.0 <b>Cl</b> CLORO ±1,3,5,7 -101 -34.7 1.58
					13 26.9815 1.5 <b>Al</b> ALUMINIO 3 660 2450 2.70	14 28 086 1.8 <b>Si</b> SILICIO 4 1410 2600 2.33	15 30 9738 2.1 <b>P</b> FOSFORO ±3,5 44.2 280 1.82	18 39.948 <b>Ar</b> ARGÓN -189.4 -185.8 1.40	
					30 65.37 1.6 <b>Zn</b> CINCO 2 419.5 906 7.14	31 69.72 1.8 <b>Ga</b> GALIO 3 29.8 2237 5.91	32 72.59 1.8 <b>Ge</b> GERMANIO 4 937.4 2830 5.36	33 74.922 2.0 <b>As</b> ARSENICO ±3,5 613 817 5.72	35 79.909 2.8 <b>Br</b> BROMO ±1,3,5 -7.2 58.8 3.12
					47 107.87 1.9 <b>Ag</b> PLATA 1.2 960.8 2210 10.5	48 112.4 1.7 <b>Cd</b> CADMIO 2 320.9 765 8.64	49 114.82 1.7 <b>In</b> INDIO 3 156.2 2070 7.31	50 118.69 1.8 <b>Sn</b> ESTAÑO 2,4 231.9 2270 7.31	51 121.75 1.9 <b>Sb</b> ANTIMONIO ±3,5 630.5 1390 6.62
45 102.905 2.2 <b>Rh</b> RODO 2.3,4 1966 4500 12.42					52 127.60 2.1 <b>Te</b> TELURIO ±2,4,6 450 1990 6.24	53 126.904 2.5 <b>I</b> YODO ±1,5,7 113.5 184.3 4.94	54 131.30 <b>Xe</b> XENÓN -118.5 -108.0 3.06		

**Deborah García Bello**

**TODO ES  
CUESTIÓN  
DE QUÍMICA**



**PAIDÓS**

Barcelona  
Buenos Aires  
México

Diseño de la cubierta: Departamento de Arte y Diseño, Área Editorial  
del Grupo Planeta

Ilustración de la cubierta: © Edmon de Haro

*1ª edición, febrero 2016*

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal). Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar con CEDRO a través de la web [www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com) o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

© del texto, Deborah García Bello, 2016

© de las ilustraciones del interior, Javier Pérez de Amézaga Tomás, 2016

© 2016 de todas las ediciones en castellano,

Espasa Libros, S. L. U.,

Avda. Diagonal, 662-664. 08034 Barcelona, España

Paidós es un sello editorial de Espasa Libros, S. L. U.

[www.paidos.com](http://www.paidos.com)

[www.planetadelibros.com](http://www.planetadelibros.com)

ISBN: 978-84-493-3188-6

Fotocomposición: Anglofort, S. A.

Depósito legal: B. 698-2016

Impresión y encuadernación: Limpergraf, S. L.

El papel utilizado para la impresión de este libro es cien por cien libre de cloro y está calificado como papel ecológico

Impreso en España – *Printed in Spain*

# SUMARIO

Introducción.....	11
Capítulo 1. El mundo de lo pequeño. El átomo y los modelos atómicos .....	15
Capítulo 2. La perfección detrás del caos aparente. La tabla periódica .....	29
Capítulo 3. Un misterio digno de película. La tabla periódica se avanza en el tiempo .....	45
Capítulo 4. En busca de la estabilidad. El enlace químico de los elementos.....	59
Capítulo 5. Lo extraordinario de lo ordinario. La estructura atómica de los materiales .....	69
Capítulo 6. ¿Qué es exactamente lo orgánico? La materia viva y la materia inerte .....	99
Capítulo 7. Desmontando mitos. Lo natural <i>versus</i> lo sintético.....	125
Capítulo 8. Transformar unas sustancias en otras. Las reacciones químicas .....	159
Capítulo 9. Del zumo de limón a la lluvia ácida. Las reacciones de ácidos y bases.....	179
Capítulo 10. De las pilas a las esculturas de bronce. Las reacciones de oxidación y reducción.....	195

Capítulo 11. Química, color y arte .....	223
Capítulo 12. Un laboratorio en la cocina .....	255
A modo de cierre .....	279
Bibliografía .....	281

**D**urante mi infancia, los domingos de verano solía ir con mi familia a una playa. Mi hermano y yo la llamábamos la playa de las *arenas gordas* porque sobre el manto de arena fina se sucedían cúmulos de arena gruesa. Recuerdo que siempre éramos los primeros en llegar. Estábamos rodeados de vegetación y montículos de tierra naranja que hacían de parapeto ante cualquier sonido que no fuese el de la brisa y de las olas del mar.

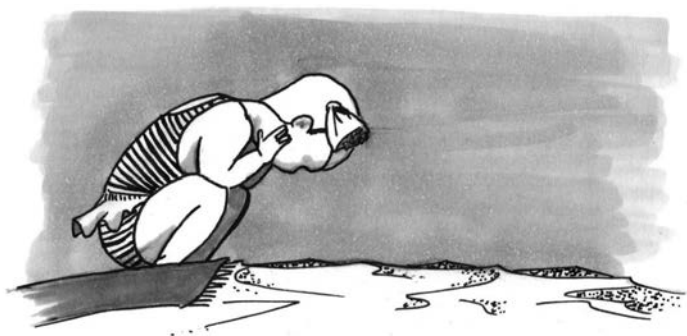
Era tan temprano que el mar nos parecía todavía demasiado bravo para nuestros cuerpos destemplados, así que nos quedábamos tendidos sobre las toallas: mis padres leyendo la prensa, y mi hermano y yo jugando con la arena. Yo solía ir a buscar un puñado de arena gorda a la orilla y lo mantenía a resguardo en mi mano hasta regresar a la toalla. Allí me recostaba, dejando mi espalda al sol, y abría el puño. Con los dedos de la otra mano movía los granos de arena para verlos desde todos los ángulos y descubría que no había ninguno igual a otro: en ese universo minúsculo cada piedrecilla poseía una identidad propia. Las había pequeñas y grandes, algunas estaban erosionadas y otras no, podían ser suaves o ariscas, angulosas o planas, translúcidas u opacas, pero lo realmente fascinante era la cantidad de colores que podían esconder: desde una pequeña veta verde que cruzaba una piedra blanca hasta un enredado varicoso que teñía de rojo una amarilla. Había piedras negras, piedras que parecían grises, pero que al entornar los ojos se veían blancas con infinitas motas negras, y otras que parecían hojaldres de purpurina plateada. Lo sorprendente es que eran tan minúsculas que al caminar sobre ellas, a la distancia que separa nuestros ojos del suelo, se nos mostraban como un manto de arena blanca y homogénea. Un manto impoluto que si se observaba con detenimiento, albergaba todo un universo en miniatura, una inmensa belleza contenida en esa expresión mínima de una piedra.

Con el tiempo aprendí que esos pequeñísimos granos de arena estaban compuestos por partículas todavía más diminutas. Por mucho que acercase esa arena fina a mis ojos, hasta casi tocar la palma de mi mano con la punta de la nariz, no conseguía ver cada detalle. Y es que cuanto más fino es algo, más difícil nos resulta verlo. Somos incapaces de observar el polvo que se posa sobre los muebles de una habitación, no vemos ni sus matices ni sus colores, y sólo podemos observar la harina como un continuo blanco y polvoriento, incapaces de distinguir sus granos. Cuanto más pequeño, más inalcanzable. Aun así, resulta fácil suponer que todos esos matices del mundo de las cosas grandes continúan estando ahí, en el mundo de lo pequeño.

Si entre nuestros torpes ojos y esos granos de arena colocamos un microscopio, podemos hacer grande lo pequeño. Pero hay cosas de un tamaño todavía menor, tanto que son del orden de las cosas que componen nuestros propios ojos. No podemos ver algo que es infinitamente pequeño, al menos no de la misma manera que vemos los objetos ampliados a través de una lupa, porque tanto la lente de esa lupa como nuestros ojos están hechos de cosas tan pequeñas como las que queremos observar.

A esas pequeñas cosas que lo componen absolutamente todo, que las consideramos la parte más pequeña, la división última de cualquier elemento, la fracción mínima que podemos conseguir, las llamamos *átomos*.

No podemos ver un átomo, no hay microscopio capaz de mostrarnos cómo es un átomo. Se han hecho miles de experimentos para tratar de descubrir cómo son. Los hemos irradiado con luz de todo tipo, los hemos hecho chocar unos contra otros, y de esta manera hemos logrado representarnos una idea de cómo son, pero no los hemos visto, no de la forma en la que vemos todo lo demás.



En función de todos esos experimentos se fueron creando diferentes ideas sobre cómo son los átomos, a las que llamamos «modelos», porque no son ni fotografías ni imágenes reales que alguien haya podido tomar, sino representaciones de cómo imaginamos que son los átomos.

Hemos pasado de pensar que los átomos eran pequeñísimas esferas rígidas e indivisibles a llegar a la conclusión de que en realidad son partículas, un tanto difusas, que a su vez están formadas por otras partículas todavía más pequeñas. Hoy por hoy parece que el universo de lo pequeño es inabarcable y que cuanto más reducimos la escala, más partículas van apareciendo; partículas que, a su vez, podemos dividir.

Si pensamos en la arena, podemos imaginarnos que es posible machacarla tanto que el polvo sea tan fino como un átomo, pero, en ese caso, se nos plantearían algunas dudas, como por ejemplo ¿cómo cogemos un único átomo? No existen unas pinzas suficientemente precisas. La superficie sobre la que machacaríamos la arena está a su vez compuesta de átomos, tan pequeños que los apreciamos como un continuo, como una superficie sólida y homogénea, ¿seríamos capaces de saber dónde está ese átomo solitario que componía la arena y aislarlo? No podríamos, porque



el mundo de lo pequeño, de lo tan pequeño, se vuelve invisible a nuestros ojos.

**La arena blanca está mayoritariamente formada por mineral de sílice ( $\text{SiO}_2$ ). Un fino grano de arena que quizá no alcance la masa de 1 mg, contiene más de 30.000.000.000.000.000 átomos.**

Cuando el sol comenzaba a ponerse en aquellas tardes de domingo en la playa recogíamos todas las cosas y nos íbamos a casa. Durante el tiempo que duraba el trayecto en coche, aproximadamente una hora, a mi hermano y a mí nos gustaba sacar las manos por las ventanillas y sentir cómo la brisa las golpeaba. Al ganar velocidad la brisa se volvía viento, empujaba nuestras manos hacia atrás, revoleaba nuestro pelo; podíamos cerrar un poco la mano, como si sujetásemos una pelota y sentir una bola de aire frío deshacerse entre nuestros dedos. No vemos el aire, no con los ojos, no como vemos los granos de arena de la playa, pero sabemos que nos empuja las manos, lo sentimos porque lo estamos tocando, porque nos acaricia la piel. No lo vemos porque el aire está formado por cosas muy pequeñas, tan pequeñas que se hacen invisibles a nuestros ojos. Si miramos nuestras manos, sabemos que entre ellas y nuestros ojos hay un manto de aire que ocupa ese espacio, y a pesar de éste podemos ver con nitidez las dobleces, los colores y los poros de nuestra piel. El aire también está formado por átomos, tan pequeños que cuesta imaginar que realmente están ahí.

En aquella época sólo podía imaginar que la cosa más pequeña era como una mota de polvo infinitesimal. Ahora sé que a esa cosa indivisible y con identidad propia la puedo llamar átomo. Puedo imaginar que el aire está formado por esos minúsculos átomos

flotando, suficientemente separados entre sí como para dejar pasar la luz, tan sutiles que parece que no pesan, que no están. Y en cambio, si pienso en una enorme piedra, me la imagino formada por millones de átomos fuertemente unidos, tan pegados que no dejan pasar ni un ápice de luz entre sí. Los imagino compactos.

## LOS PRIMEROS MODELOS ATÓMICOS

Hasta el siglo XIX se creía que todo estaba formado por unas partículas minúsculas, indestructibles e indivisibles llamadas átomos, que podían estar suficientemente separadas entre sí y ser invisibles, como en el caso del aire, o fuertemente unidas y compactadas, tan pegadas que no dejaran pasar ni un ápice de luz, como en el caso de una enorme piedra.

Pero a finales del siglo XVIII, el químico John Dalton descubrió que no todos los átomos eran iguales: los átomos podían tener diferente identidad, diferente masa y comportamiento. El aire se diferencia de una piedra no sólo porque la unión de los átomos que los conforman es distinta, sino porque la naturaleza misma de esos átomos es también diferente. A estos diferentes tipos de átomos los llamó *elementos químicos*.

Es difícil imaginarse la materia compuesta por algo que no sean átomos compactos, indivisibles e indestructibles, pero cuando se comenzó a estudiar cómo la electricidad interfería con las cosas, cambió la forma de entender estas partículas minúsculas que lo componen todo.

La primera sorpresa fue descubrir, en 1897, que había unas partículas mucho más pequeñas que los átomos y que formaban parte de ellos. Es decir, que los átomos no eran indivisibles e in-

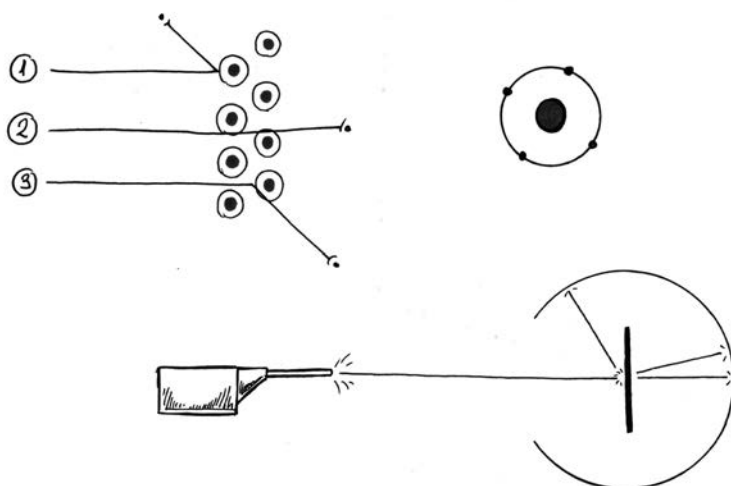
destruibles, sino que estaban formados por partículas todavía más pequeñas. Estas partículas de menor tamaño eran los *electrones*, unas partículas con carga negativa.

En 1904 el científico británico Joseph John Thomson desarrolló una primera idea de cómo sería un átomo, un primer modelo atómico que consideraba que los átomos estaban formados por partículas más pequeñas. Según sus experimentos, Thomson llegó a imaginarse los átomos como una esfera maciza positiva con partículas negativas incrustadas llamadas *electrones*. Para justificar fenómenos como la electricidad o el funcionamiento de los tubos de rayos catódicos (como los de los monitores de televisión antiguos), Thomson propuso que estos electrones incrustados podían entrar y salir del átomo, de manera que éste podía tener carga positiva o negativa según la cantidad de electrones que tuviese incrustados, y que los electrones podían viajar de unos átomos a otros dando lugar a lo que conocemos como *corriente eléctrica*.

En 1910, un grupo de investigadores dirigido por el químico neozelandés Ernest Rutherford realizó un experimento conocido como *el experimento de la lámina de oro* y consiguió perfilar el modelo ya propuesto por Thomson. La primera vez que me explicaron este experimento me impresionó lo simple que parecía y lo lógico de sus interpretaciones. El experimento consistía en dirigir un haz de partículas positivas, llamadas partículas alfa, sobre una lámina de oro muy fina, de sólo unos pocos átomos de grosor. Estas partículas positivas se obtenían de una muestra radiactiva de polonio contenida en una caja de plomo provista de una pequeña abertura por la que sólo podía salir un haz de partículas alfa. Éstas, al incidir sobre la lámina de oro, la atravesaban y llegaban a una pantalla de sulfuro de zinc, donde quedaba registrado su impacto como si de una placa fotográfica se tratara. Tras estudiar

la trayectoria de las partículas alfa registradas en la pantalla, Rutherford observó que éstas se comportaban de tres maneras diferentes: o bien pasaban a través de la lámina de oro y llegaban a la pantalla como si nada les entorpeciese el camino, o bien chocaban contra la lámina de oro y salían rebotadas, o bien al atravesar la lámina de oro se desviaban levemente de su trayectoria original.

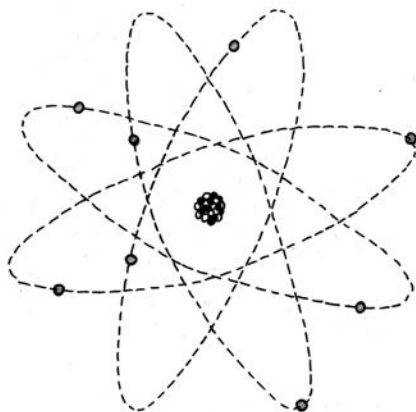
Si los átomos hubiesen sido esas esferas macizas que proponía Thomson, habría sido imposible que las partículas alfa los atravesasen, con desviación o sin ella, porque se suponía que no había espacio vacío entre los átomos que conformaban aquella sólida lámina de oro. Así que Rutherford propuso un modelo atómico nuevo, una nueva idea de cómo eran los átomos, y fue tan revolucionaria que cambió la forma de interpretar cómo eran las cosas.



Experimento de Rutherford

En su modelo los átomos dejaron de verse como algo compacto y pasaron a ser como una serie de partículas minúsculas (entre ellas los electrones de Thomson) que se movían unas con respecto a otras dejando huecos entre sí. Del experimento se deducía que tenía que haber espacio libre, huecos por los que se colaban las partículas alfa. Y ésa fue la gran revolución: descubrir que los átomos no son algo rígido y compacto, sino que son, en su mayor parte, vacío.

Según el modelo propuesto por Rutherford, los átomos constan de dos partes: un núcleo donde se concentra la carga positiva, los llamados *protones*; y una corteza donde orbitan las partículas negativas, los *electrones*. Con este modelo se podía explicar que algunas partículas alfa rebotasen tras chocar contra el núcleo, que otras pasasen de largo, al no chocar contra nada, y otras se desviasen por atracción con los electrones o por repulsión con el núcleo. Este modelo suele dibujarse como una especie de sistema solar, en el que el núcleo positivo sería el Sol, y los electrones, suficientemente alejados del núcleo y orbitando a su alrededor, serían los planetas.



Modelo de Rutherford

El problema de este modelo residía en el núcleo, ya que si las cargas opuestas se atraen pero las que son iguales se repelen, entonces ¿cómo se explica que los protones del núcleo no se repelan? La respuesta parece estar en los *neutrones*, unas partículas que fueron detectadas en 1932 por James Chadwick, un colaborador de Rutherford. Los neutrones son partículas sin carga que actúan como el pegamento del núcleo.

Así que, en resumen, y teniendo en cuenta el descubrimiento de Chadwick, el modelo del átomo de Rutherford estaba formado por un núcleo que contenía protones (partículas positivas) y neutrones (partículas neutras), alrededor del cual orbitaban los electrones (partículas negativas). Esta imagen del átomo, aunque nos pueda parecer más o menos familiar, en realidad es muy diferente a la idea intuitiva que tenemos de cómo son las cosas íntimamente. Puede resultar difícil imaginar que en realidad la tinta que descansa sobre el papel de estas páginas, de unos pocos átomos de grosor, es esencialmente vacío, y que las partículas que la componen, además de estar separadas entre sí, se hallan en movimiento, circulando unas alrededor de las otras.

## HACIA LOS MODELOS ATÓMICOS MODERNOS

Con el tiempo la tecnología ha ido evolucionando y nos ha permitido llegar a saber más cosas sobre cómo son estos átomos por dentro. No porque los hayamos podido ver con un potente microscopio, ya que eso sigue siendo algo imposible, pero sí nos hemos hecho una idea quizá más cercana a la realidad, una idea que podemos entender.

A efectos prácticos el modelo atómico actual es similar al mo-

delo planteado por Rutherford, si bien hemos descubierto otras cosas, como que los protones y los neutrones están formados por partículas todavía más pequeñas, que llamamos *quarks*, y que los electrones no se mueven siguiendo órbitas alrededor del núcleo, tal y como hacen los planetas alrededor del Sol. En realidad, aún no sabemos dónde se encuentran los electrones en cada momento y ni siquiera parece posible llegar a saber dónde están.

El llamado Principio de incertidumbre, algo que pertenece al campo la física teórica, nos explica que cuando tratamos de observar algo tan pequeño como un electrón, el mismo hecho de observarlo interfiere en su posición. Es como si estuviésemos a oscuras y tratásemos de averiguar dónde está una bola de billar lanzando otras bolas contra ella. En cuanto una de las bolas lanzadas impactase contra la que queremos «ver», escucharíamos el choque, pero el impacto haría cambiar su posición inicial.

Esto es parecido a lo que pasa con las cosas pequeñas, que hasta la luz que usamos para verlas interfiere y las cambia de sitio. La luz sería como esas bolas de billar que lanzamos, que tienen suficiente energía como para chocar contra los electrones de los átomos y cambiarlos de sitio, y como no podemos ver algo si no lo podemos iluminar, lo único que hemos podido hacer hasta el momento es establecer unas zonas donde la probabilidad de que estén estos electrones parece mayor. A esas zonas las hemos llamado *orbitales*.

Esos orbitales donde se encuentran los electrones son fundamentales para entender cómo se enlazan unos átomos con otros, ya que ello repercute en cómo son las cosas a gran escala. Por eso se suele decir que a los químicos sólo nos interesan los electrones, porque a fin de cuentas son los responsables de que los átomos se unan, y de que tras unirse muestren diferentes formas y colores, dando lugar a todo lo que nos rodea.

Esos átomos, que son esencialmente vacío y que están compuestos por partículas en movimiento que ocupan posiciones indefinidas, son los que lo forman todo. Forman los granos de arena de la playa, y su forma de enlazarse unos con otros es la razón por la que los granos son de un color determinado, la razón de que sean más o menos suaves. También forman el aire, ese aire que nos acaricia y nos empuja, que sentimos pero que no podemos ver. Y también nuestras manos, nuestra piel y nuestro aliento. Todo, absolutamente todo lo que nos rodea, está formado por átomos, y esos átomos son como esas arenas gordas que observadas desde cierta distancia se nos muestran como un manto homogéneo y lustroso. A pesar de lo que pueda parecer a simple vista, la intimidad de todo lo que nos rodea está vibrando, y es más «nada» que «algo». Hasta nosotros mismos somos ese «casi nada» vibrante.