

VLADIMIR
SÁNCHEZ
@BreakingVlad

REACCIONES SIN FIN

NO ES MAGIA,
ES QUÍMICA

PAIDÓS
para curiosos

Vladimir Sánchez

@BreakingVlad



No es magia, es química

PAIDÓS

1.^a edición, noviembre de 2023

La lectura abre horizontes, iguala oportunidades y construye una sociedad mejor. La propiedad intelectual es clave en la creación de contenidos culturales porque sostiene el ecosistema de quienes escriben y de nuestras librerías. Al comprar este libro estarás contribuyendo a mantener dicho ecosistema vivo y en crecimiento. En Grupo Planeta agradecemos que nos ayudes a apoyar así la autonomía creativa de autoras y autores para que puedan seguir desempeñando su labor. Dirígete a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesitas fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puedes contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

© Vladimir Pablo Sánchez Gonzaga, 2023

© de las ilustraciones, Javier Pérez de Amézaga Tomás, 2023

© de todas las ediciones en castellano,

Editorial Planeta, S. A., 2023

Paidós es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

Avda. Diagonal, 662-664

08034 Barcelona, España

www.paidos.com

www.planetadelibros.com

ISBN: 978-84-493-4159-5

Maquetación: Realización Planeta

Depósito legal: B. 17.518-2023

Impresión y encuadernación en Limpergraf, S. L.

Impreso en España – *Printed in Spain*



El papel utilizado para la impresión de este libro está calificado como papel ecológico y procede de bosques gestionados de manera sostenible.

SUMARIO

Introducción	7
Capítulo 1. Entender lo que te rodea	13
Capítulo 2. ¿Qué creemos que es la materia?	31
Capítulo 3. Sí, electrones, ¿y qué pasa?	65
Capítulo 4. ¿Qué tiene en común una cuchara con el aire?	95
Capítulo 5. ¡Ostras! ¡Cambia de color!	121
Capítulo 6. ¿Esta reacción no termina?	161
Capítulo 7. Reacción lista. ¿Y ahora qué?	189
Capítulo 8. Las diferentes ramas de la química	215
Capítulo 9. Ahora es tu turno	237



CAPÍTULO 1

**ENTENDER
LO QUE TE
RODEA**

Con los años, ese niño curioso, esa esponja de conocimiento, fue evolucionando y ahora soy doctor en Química y dedico mi tiempo libre a enseñar y divulgar esta rama de la ciencia. Ese chico que quería comerse el mundo y salvar a la humanidad terminó madurando, viendo realmente la dificultad que hay detrás de todo esto y, sobre todo, aprendiendo que no es un proceso de un día ni de una sola persona.

Seamos sinceros, si de pequeño no te dio por mezclar cosas, la química puede producirte bastante recelo. Con esos nombres raros, casi jeroglíficos, que nadie entiende, y ese montón de botes en los que pone «sin químicos» o «100 % natural». Y, claro, tampoco ayuda el hecho de que a lo largo de la historia haya habido un montón de accidentes, o malos usos de la ciencia (ya se haya hecho queriendo o por desconocimiento). Es muy sencillo pensar en la química como en esa ciencia a la que le da igual el medio ambiente o la salud de las personas ya que emite gases tóxicos, contamina ríos, produce plásticos que van a parar a los mares, y una larga lista de et céteras.

Y, seguramente, en este momento te estés preguntando: «Oye, pero ¿esto no iba de divulgar química y no de hablar mal de ella?». Así es, lo que pasa es que no podemos meternos de lleno en la química sin traspasar este bache. Es una realidad que estas cosas suceden y hay que afrontarlas.

Por ejemplo, en cuanto a la contaminación, los químicos sabemos perfectamente lo perjudiciales que son algunos productos. Me atrevería a decir que, de hecho, somos mucho más conscientes que la mayoría de las personas. A cada producto —tanto a los nuevos como a los ya existentes— se le somete a un control de calidad y a un estudio de seguridad, lo que permite conocer sus propiedades desde el principio. En el pasado, muchas de estas propiedades contaminantes no se conocían y esos productos se usaban de manera habitual en la industria. Esto realmente es un problema porque muchos de los procesos industriales están pensados para usar esos compuestos que se ha descubierto que son tóxicos y hay que averiguar cómo sustituirlos. Y hoy en día somos nosotros mismos, los químicos, los que trabajamos en solucionar los problemas que estos productos y procesos han ido causando a lo largo del tiempo.

Ejemplos de estos compuestos que no se sabía que eran tóxicos y se les daba algún tipo de uso serían el plomo para las tuberías, el mercurio para las amalgamas dentales o el amianto para la construcción. Tras investigar y descubrir que estos productos tenían efectos en la salud, de nuevo los químicos tuvimos que aparecer para ofrecer alguna alternativa mejor, que cumpliera el mismo objetivo, pero sin ser perjudicial. Del mismo modo, ha habido también catástrofes por desconocimiento en productos aplicados en medicina o en alimentación. Pero la solución a dichos problemas ha pasado siempre por las manos de los químicos.

En ocasiones se comparan los accidentes químicos con los vuelos de avión. Cada día hay miles de vuelos y no hay accidentes, sin embargo, cuando se produce uno, al ser tan aparatoso, se hace mucho eco. De ahí que sea bastante frecuente tener miedo a volar en avión, cuando es estadísticamente mucho más seguro que viajar en coche. En química sucede algo similar, ya que la mayoría del tiempo va todo sobre rue-

DATO CURIOSO

Pictogramas

Todos los productos químicos suelen adjuntar una ficha de seguridad que incluye mucha información importante sobre ellos, desde puntos de fusión, ebullición y solubilidades hasta toxicidad.

Además, todos los recipientes suelen venir con un símbolo que indica qué tipo de peligrosidad presenta un compuesto. A cada producto químico que se comercializa se le somete a un exhaustivo análisis de peligrosidad y estudio de sus propiedades, y se resumen en lo que conocemos como pictogramas de seguridad. Estos suelen tener la siguiente forma:



Figura 1. Pictogramas de seguridad

Y cada uno tiene un significado diferente. Así sabemos si un compuesto es tóxico, cancerígeno, irritante, combustible, o cualquier otra opción, antes de abrirlo. Y según sus propiedades, lo tratamos de una manera u otra. Si la ficha de seguridad nos indica que es volátil y que es tóxico, lo abriremos en una vitrina de extracción de gases.

das, pero, cuando hay una explosión o algún caso de intoxicación, de repente la química se vuelve el foco de atención. Sin embargo, desde mi punto de vista, el caso en la química es algo diferente, sobre todo por el desconocimiento que durante mucho tiempo la rodeó. Cuando un avión con pasajeros despega, ha sido sometido a muchas pruebas y muchos controles para garantizar la seguridad. Sin embargo, en química, sobre todo en el pasado, muchas veces no se llevaban a cabo controles, y no por mala fe de los trabajadores, sino porque no se sabía siquiera que hiciera falta hacer una determinada prueba.

Ahora sabemos que el CO_2 es un gas de efecto invernadero. Pero durante la revolución industrial eso ni siquiera se planteaba. Me imagino la respuesta de los científicos de la época si se les hubiera preguntado al respecto: «¿Por qué tendrían que calentar el planeta las emisiones de los tubos de escape?». Han tenido que pasar años para poder establecer una correlación entre el aumento de la temperatura global y el de la cantidad de CO_2 en la atmósfera. Y, evidentemente, desde el momento en el que lo hemos sabido, la química ha estado trabajando en desarrollar procesos más eficientes, con menos producción de este gas e, incluso, desarrollando maneras de reciclarlo para usarlo con otros objetivos. Eso sí, estos cambios no se pueden llevar a cabo de un día para otro porque no solo afectan a la química, sino también a la economía y a la política, ámbitos que quedan muy lejos del objetivo de este libro.

Lo que quiero decir con todo esto es que los químicos sabemos que hay muchos errores del pasado que hay que solucionar, sabemos que a veces las soluciones no son perfectas y sabemos que, con el tiempo, las soluciones que damos hoy pueden plantear problemas en el futuro, y entonces habrá que volver a buscar nuevas soluciones.

Pero así es la ciencia, en este caso la química. Por muy dogmática que pueda parecer, con sus teorías y postulados,

realmente está en constante cambio. Un claro ejemplo son los modelos atómicos, que veremos en el siguiente capítulo.

Ahora bien, aunque hay muchos problemas que sí son reales, también hay muchos mitos detrás de esta ciencia. Uno de los principales problemas que tiene la química, como comentaba antes, es que utilizamos un lenguaje que muchas veces no entendemos ni nosotros mismos.

Verás, te invito a buscar «azúcar» en Google. Si la cosa no ha cambiado mucho con respecto a 2022, te saldrá «sacaro-sa» y un poco más abajo: Denominación de la IUPAC: (2R,3R,4S,5S,6R)-2-[(2S,3S,4S,5R)-3,4-dihidroxi-2,5-bis(hidroximetil)oxolan-2-il]oxi-6-(hidroximetil)oxano-3,4,5-triol. Pues claro, alma de cántaro, con ese nombre para querer decir «azúcar» muy fácil no lo estás poniendo, la verdad.

El inconveniente de este lenguaje tan extraño, que en breve veremos por qué es tan necesario, es que crea muchos malentendidos, muchas confusiones entre quienes lo desconocen. Eso deriva en miedo y desconfianza. De nuevo, te animo ahora a coger tu bote de champú o gel de baño y mirar la parte de «composición» o «ingredientes» y verás cosas raras como: Sodium laureth sulfate, cocamidopropyl betaine, sodium chloride, glycerin, dimethiconol, parfum, sodium benzoate o TEA-Dodecylbenzenesulfonate, entre muchos otros. Es posible que en tu champú en concreto haya otros productos que no sean estos, pero coincidiremos en que, además de estar en inglés, son todo nombres bastante rarunos. Y, claro, viendo todo eso, lo primero que piensas es: «Leches, se me va a caer el pelo con tanta historia rara, solo le falta uranio».

Y entre el desconocimiento y estos jeroglíficos, es fácil que se empiecen a propagar bulos o falsa propaganda, como el caso de los parabenos o los productos «sin químicos». Los parabenos son unos conservantes que se utilizaban en algunos productos cosméticos, pero en un momento dado se dijo que podían ser perjudiciales para la salud, y aunque los resul-

tados no eran alarmantes por lo que respecta a su efecto en humanos, algunas marcas decidieron sustituirlos por otros conservantes y añadir la etiqueta «sin parabenos». El simple hecho de poner esa etiqueta hace pensar al comprador que las marcas que tenían parabenos eran peores, así que al final, por marketing, más marcas se sumaron al carro.

Sin embargo, lo realmente importante tras esta historia es que el jabón igualmente necesita conservantes, porque, si no los llevara, se oxidaría y se degradaría muy rápidamente, e imagino que tú, como usuario, prefieres que el jabón te dure meses en lugar de semanas. Así que, si no son parabenos, será otro compuesto que, al igual que estos, debe cumplir todos los requisitos que imponga la normativa. En resumen, que estamos en las mismas.

Otra moda es la del sinsentido de los productos «sin químicos». De hecho, es tan absurdo que no voy a dedicarle más de tres líneas. Basta con decir que todo tiene productos químicos. El agua es un producto químico, como todo lo que forma el universo.

Pero, entonces, vamos a ver, si genera tanta confusión en la gente e induce a tanta duda e incluso misticismo, ¿por qué usamos esos nombres tan raros? Si volvemos al ejemplo del azúcar y el interminable nombre que escribí antes, lo entenderás muy fácilmente. Si yo te digo «dame el azúcar», tú piensas inmediatamente en ese saco de tu despensa que pone «azúcar». Sin embargo, ¿qué te parece si te digo que hay muchos tipos de azúcares? Sí, en plural. Pues así es. Si, como te dije, buscaste la palabra en Google, seguramente te apareció «sacarosa», que es un tipo de azúcar. Pero hay muchos más. Quizá el que más te suene es la glucosa, que puedes encontrarlo en la miel. Y muchas salsas contienen «jarabe de glucosa» entre sus ingredientes. Otro muy popular es la lactosa, pero también existen la xilosa, la manosa, la galactosa y muchos más.

De manera que cuando los químicos tenemos que trabajar

con una sustancia en concreto, no nos basta con decir «dame 3 g de azúcar», sino que hemos de concretar y decir «dame 3 g de manosa», o especificar el azúcar que necesitamos.

Sin embargo, todavía hay un problema más. Y es que hay sustancias que, aunque tengan la misma cantidad de átomos de cada tipo, pueden tener estructuras totalmente diferentes. Por poner un ejemplo que se pueda entender fácilmente, podríamos generalizar que todos los vehículos con cuatro ruedas y de entre tres y cinco metros de largo son coches. Sin embargo, no es lo mismo un Ford que un Ferrari, o un Volkswagen que un Seat, los modelos y sus características varían. Y podríamos hilar mucho más fino. Un Ford Focus tampoco es lo mismo que un Ford Mondeo. Sucede exactamente lo mismo con las moléculas. A medida que queremos referirnos a una en particular, exclusivamente a esa molécula, tenemos que identificarla con precisión y no dar lugar a confusiones.

Por poner ejemplos químicos, hay principalmente dos compuestos que tienen cloro y hierro: FeCl_2 y FeCl_3 . El primero tiene dos átomos de cloro y el segundo tiene tres. Así que no basta con decir «cloruro de hierro» sino que, además, hay que especificar el número de átomos de cloro, en este caso se llamarían dicloruro de hierro y tricloruro de hierro, respectivamente. En muchos casos es sencillo, pero buscar un método general y sistemático para dar un nombre único a cada molécula del universo tiene su dificultad. Aquí es donde entra la IUPAC (las siglas en inglés de Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), que básicamente es el grupo de científicos que, entre otras cosas, se han puesto de acuerdo para dar unas normas generalizadas aplicables a cualquier molécula. Esto es lo que seguramente hayas estudiado en el instituto como «nomenclatura y formulación». Y, ojo, que como normalmente se descubren siempre sustancias con estructuras y formas nuevas, es fácil ver actualizaciones y reglas nuevas incorporadas que permiten englobarlas a todas.

También puede suceder que moléculas que tienen exactamente el mismo número de átomos pueden ser diferentes. Un claro ejemplo de esto podría ser los octanos (en plural) de la gasolina. Estos octanos son cadenas con ocho átomos de carbono y veintidós de hidrógeno. Estos elementos pueden enlazarse de muchas maneras diferentes, del mismo modo que ocho eslabones de una cadena pueden unirse de diferentes maneras pudiendo dar incluso ramificaciones. Esto tiene nombre y se llama isomería. Cuando existen diferentes posibilidades de conexión de los mismos átomos, se dice que tiene isómeros.

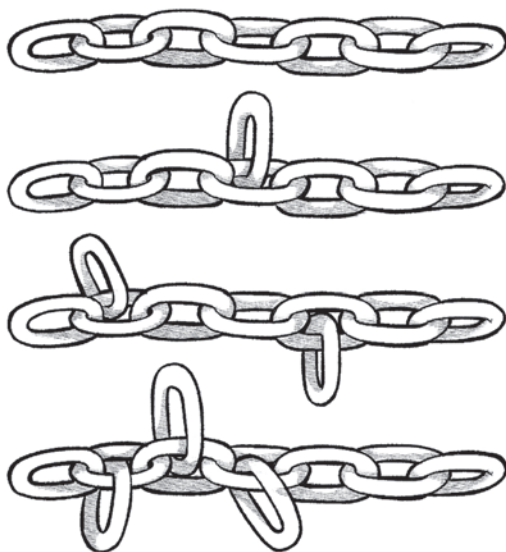


Figura 2. Cuatro de las diferentes formas de enlazar ocho eslabones para dar distintas cadenas

Las moléculas que representan estas cadenas son diferentes y tienen propiedades distintas, de manera que no pueden tener el mismo nombre; hay que identificarlas a cada una por separado.

Te puedes imaginar que no es tarea sencilla, pero por eso es por lo que surgen estos ladrillos de nombres como el del

azúcar (es decir, (2R,3R,4S,5S,6R)-2-[(2S,3S,4S,5R)-3,4-dihidroxi-2,5-bis(hidroximetil)oxolan-2-il]oxi-6-(hidroximetil)oxano-3,4,5-triol). El tema es que, siguiendo las instrucciones que se extraen de ese inefable nombre, un químico con algo de pericia puede acabar dibujando exactamente la molécula que te salió en Google.

Bueno, ahora que ya me he disculpado por ese idioma propio, tan cerrado y extraño, que usamos los químicos, tengo que decirte que ya he cubierto el cupo de fórmulas en este libro. Quería poner tres o cuatro, y ya las he gastado. Se bromea con que cada fórmula escrita hace que se pierda un 50 % de los lectores, así que, ¡enhorabuena!, debes de estar dentro del 6 % que todavía continúa con el libro entre las manos. Pero ahora en serio, es posible que tenga que utilizar alguna fórmula más, porque... bueno... esto es química, aunque trataré de evitarlas a toda costa. Esto va a ser, cuando menos, divertido.

De momento te he explicado la importancia de la química, cómo está presente en todo lo que nos rodea y los problemas a los que se enfrenta esta disciplina en la actualidad. Y he tratado de explicarte también por qué genera tanto recelo generalizado.

Aun así, creo que la lección principal de lo que te he ido contando hasta ahora es que, para no caer en bulos, para que no te la cuelen con historias raras sin sentido, debes de tener mentalidad crítica. No creer todo lo que se dice y acostumbrarte a contrastar, a contrastarlo todo. Sí, incluso este libro. Si lees, escuchas o ves algo que no te acaba de convencer, infórmate, contrástalo con otras fuentes, ya sea por internet (de fuentes fiables), en bibliotecas o con expertos.

Y es que el hecho de conocer o entender al menos los fundamentos de la química te va a ayudar a no caer en muchas de estas movidas sin sentido. E incluso puede evitar que la «lifes parda» mezclando productos de limpieza indebidos.

DATO CURIOSO

La chica que la lió parda

Ya he mencionado antes esta anécdota (por suerte quedó en eso) y es que en su momento fue muy viral. Quizás te suene, pero puesto que fue una noticia de 2008, es posible que no, así que te lo cuento.

Una chica, socorrista de una piscina, salió en la televisión diciendo que la había «liado parda» al mezclar sulfuro y lejía en una piscina. Se produjo un gas amarillo que empezó a intoxicar a la gente. Por suerte no pasó nada y todo quedó en una anécdota.

Si buscas «La he liado parda socorrista» en internet podrás apreciar este gracioso momento televisivo. En esa reacción se produce cloro, un gas amarillo muy tóxico que, de hecho, fue utilizado como arma química en la primera guerra mundial.

En la vida cotidiana, sobre todo en la limpieza del hogar, trabajamos con bastantes productos químicos: lejía, sulfuro, amoníaco, sosa cáustica, ácido sulfúrico, ácido acético... Y hay que tener una mínima noción de química porque, según lo que mezcles, te puedes estar poniendo en peligro.

Sin embargo, todo el conocimiento que acumula esta ciencia, y todos estos términos que he ido intentando esquivar como elementos, átomos o moléculas, no han surgido por arte de magia. Los científicos investigan cada año en lo más profundo de la materia para entender de qué está hecha, cómo está hecha y poder deducir sus propiedades. Y con el tiempo se ha montado toda la estructura que hay actualmente para entender lo mejor posible cómo suceden las cosas.

Como comentaba antes, la ciencia es algo cambiante, y para darse cuenta no hay más que desplazarse atrás en el tiempo y ver cómo se hacía en el pasado lo que hoy llamamos ciencia. Pensemos en los personajes de la antigua Grecia,

como Demócrito, Aristóteles, Arquímedes... Por lo general, la manera de hacer «ciencia» en aquella época era a base de pensamiento y observación del entorno. Es muy frecuente, al leer biografías de estas personalidades, encontrar que son «físicos, astrónomos, inventores, matemáticos, químicos, filósofos», una serie de títulos que ahora sería imposible sacárselos en toda una vida.

Esto sucede por dos motivos principalmente. En primer lugar, porque antiguamente la barrera que separaba las diferentes ciencias y ramas del conocimiento era muy difusa, y no se distinguía entre física y química, o filosofía y matemáticas. Y puesto que no había una metodología definida, era fácil relacionar o buscar sentido en cosas que realmente no tenían relación. Las historias de la mitología son un claro ejemplo: en estas épocas, los ciudadanos podían entender las cosechas exitosas en función del comportamiento de los dioses que representaban los diferentes astros.

En segundo lugar, porque con el paso del tiempo el conocimiento ha ido creciendo, lógicamente, y cada vez ha sido más difícil para una mente humana ser capaz de acumularlo todo. De manera que los pensadores empezaron a especializarse en distintas ramas y surgieron los alquimistas, los astrónomos, los físicos... Sin embargo, toda la ciencia seguía muy fundamentada en la observación y el pensamiento, y debido a la todavía fuerte presencia de la mentalidad de los pensadores anteriores y al hecho de tener que compaginar todos los supuestos con la religión, su evolución se ralentizó bastante.

Si bien es un terreno bastante difuso, con una escala de matices muy grande y en muchos aspectos discutible, se podría decir que no fue hasta el siglo XVII, con Galileo y Bacon, cuando se introdujo lo que comúnmente conocemos como «método científico». Esto supuso todo un cambio de perspectiva, porque ya no estamos hablando de ciencia basada en el pensamiento, sino en el experimento. Como comentaba previa-

mente, es un terreno de discusión en la filosofía de la ciencia porque hay ciencias, como las matemáticas o la paleontología, que no siguen el método científico rigurosamente hablando, y sí, siguen siendo ciencias. Del mismo modo, el propio método científico en sí mismo es discutible ya que simplifica un poco el trabajo de los científicos, que normalmente no se limita a una serie de pasos que llevan al éxito. Sin embargo, esto es lo que se suele enseñar en los institutos y aplica unas bases bastante fundamentadas para empezar a entender el proceder de la ciencia. Básicamente el método científico se resume en:

- Observar un problema o un hecho.
- Plantear una hipótesis de por qué sucede lo que sucede: en esta etapa se busca información sobre el problema y se documenta.
- Experimentar, medir resultados y comprobar si la hipótesis es cierta.
- Si no es cierta, replantear la hipótesis y volver a comenzar.
- Y, en el momento en el que la hipótesis quede demostrada experimentalmente, publicar el resultado.

Puede parecer algo muy complicado o algo ajeno, de lo que ya se encargarán los científicos. Pues bien, te voy a mostrar que esto es algo que absolutamente todo el mundo hace de manera inconsciente.

Un día después de comer estás viendo la televisión y de repente la pantalla se pone en negro.

- Observas un problema: el televisor no funciona.
- Planteas una hipótesis: quizá ha saltado la luz.
- Experimentas: vas a comprobar si ha saltado el diferencial y ves que no era eso.
- Replantear la hipótesis: buscas en internet y descubres que ese modelo de televisor a veces se desconecta y

para arreglarlo hay que pulsar un botón de reset que hay en la parte de atrás.

- Experimentas: buscas el botón y lo pulsas. La tele no se arregla, pero ves que había una zona un poco quemada.
- Vuelves a replantear la hipótesis: quizá se ha quemado un fusible.
- Experimentas: quitas el fusible y lo cambias por uno nuevo, y el televisor vuelve a funcionar.
- Ahora que has solucionado el problema, puedes compartir de nuevo por internet tu solución para otra persona que tenga el mismo problema.

Este procedimiento es algo que todos hacemos sin darnos cuenta en cualquier momento que tenemos un problema. Y nuestro pensamiento y la lógica se van formando a medida que la experiencia nos demuestra un resultado.

Este cambio en el modo de hacer ciencia ayudó a que avanzara mucho más y más rápido, y, con ella, la concepción de todo lo que nos rodea. Y esta es nuestra manera de solucionar problemas hoy en día. Seguramente con el paso del tiempo el método evolucionará a algo todavía mejor, algo que hoy no podemos ni siquiera imaginar.

Como has visto, si incluso la propia forma de pensar, el propio método de trabajo, cambia con el tiempo, ¿cómo no va a cambiar la ciencia e incluso sus conclusiones?

Sin embargo, en algo estábamos todos de acuerdo desde la época de los griegos, y es que realmente para poder entender todo lo que nos rodea —desde la existencia de los colores o las estrellas hasta el funcionamiento de las baterías o los motores de combustión, pasando por descubrir por qué una piedra es sólida, por qué los metales brillan o por qué cuando mezclo vinagre y bicarbonato salen burbujas...— debemos ir a lo más pequeño de la materia, descubrir sus características más pro-

DATO CURIOSO

Microscopía

El problema que hay a la hora de sacarle una fotografía a un átomo es que la longitud de onda de la luz es mayor que un átomo. Sería como intentar detectar los mosquitos que hay en el aire disparando bolas de cañón y viendo cuánto se frenan las bolas. De hecho, los microscopios que utilizan luz visible tienen un límite máximo de resolución de 0,2 micras (0,0002 mm), que ya es bastante pequeño, pero para poder ver cosas aún más pequeñas hay que recurrir a otro tipo de microscopios que no utilicen luz.

En este sentido, los microscopios más populares son los electrónicos. En lugar de iluminar la muestra con luz y detectarla a través de un sistema óptico, lo que se hace es lanzar un chorro de electrones a muy alta velocidad contra la muestra. Los electrones son mucho más pequeños que los átomos, así que permiten ver cosas mucho más pequeñas que la luz.

¿Cómo funciona este sistema? Pues algunos electrones chocan y rebotan, pero otros atraviesan la muestra sin más. Y en función de los electrones que atraviesan, se puede ver lo que sería la «sombra» de la muestra que se colocó y deducir su forma.

Con este sistema se pueden ver cosas del orden de 0,1-0,2 nm; es decir, que permite ver cosas unas mil veces más pequeñas que lo que permite ver un microscopio óptico. Y, aun así, no permite distinguir átomos individuales.

Se han conseguido sacar fotografías de átomos utilizando microscopios de efecto túnel. Estos utilizan las propiedades de la física cuántica para recorrer una superficie como si fuera la aguja de un tocadiscos antiguo y, en función de cuándo y cuánto sube o baja la aguja, se determina la posición exacta del átomo.

fundas. Al margen de los nombres raros, el tema de los átomos es otra de las cosas más difíciles de digerir de la química, y aunque en el siguiente capítulo lo trataremos más en profundidad, es perfectamente comprensible que sea difícil imaginarse algo tan pequeño que, literalmente, es imposible de ver. Se ha demostrado que existen, pero son tan diminutos que es imposible sacarles una foto.

Por eso mismo, el estudio del átomo ha sido el centro de la física y la química en el siglo xx. Entendiendo bien el átomo, sabemos por qué se comporta como se comporta y por qué hace todo lo que hace.

Creo que, sin más dilación, podemos empezar a escudriñar este pequeño ladrillo que construye el universo.