

Peter Atkins

¿Qué es la química?



Alianza editorial
El libro de bolsillo

Título original: *What is Chemistry? First Edition*
Traducción de Miguel Paredes Larrucea

Publicado originalmente en inglés en 2013. Esta traducción se ha realizado por acuerdo con Oxford University Press.

Primera edición: 2015
Primera reimpresión: 2020

Diseño de colección: Estudio de Manuel Estrada con la colaboración de Roberto Turégano y Lynda Bozarth
Diseño de cubierta: Manuel Estrada
Fotografía de Juan Manuel Sanz

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 reprodujeren, plagiaren, 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.

© Peter Atkins Limited 2013
© de la traducción: Miguel Paredes Larrucea, 2015
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2015, 2020
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15
28027 Madrid
www.alianzaeditorial.es



ISBN: 978-84-206-9799-4
Depósito legal: M. 429-2015
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	Prólogo
15	1. Sus orígenes, ámbito de estudio y organización
33	2. Sus principios: los átomos y las moléculas
54	3. Sus principios: la energía y la entropía
70	4. Sus reacciones
93	5. Sus técnicas
112	6. Sus logros
141	7. Su futuro
155	Tabla periódica
157	Glosario
163	Índice analítico

Prólogo

Espero, querido lector, que este libro te abra los ojos y te muestre un mundo fascinante e importante desde el punto de vista intelectual y económico: el mundo de la química.

La química, he de admitirlo, tiene mala reputación. La gente la recuerda, de sus años de escuela, como una asignatura bastante incomprensible, llena de datos pero difícil de entender, maloliente y muy alejada del mundo real de las vivencias y los placeres, hasta el punto de parecer absurdo tener que aceptar sus inmundos conceptos, fórmulas, reglas y recetas. Más tarde en la vida, esa mala reputación se torna muchas veces aún peor al tomar uno conciencia del impacto ambiental de esos nefastos productos químicos que escapan a la naturaleza y provocan desastres en las bucólicas praderas llenas de tréboles que en otro tiempo fueron hogar de la brillante amapola y del baile de las

mariposas, convirtiendo en inhóspito fango las orillas donde antes crecía el tomillo silvestre, produciendo lodos tóxicos y fangos deletéreos allí donde ondulaban límpidos arroyos, y poniendo un olor acre allí donde antes había aire con fragancia de eólica alegría; en resumen, echándolo todo a perder.

Lo que me gustaría es cambiar esa idea, animar al lector a que mirara la química de otra manera, con una visión moderna y sin prejuicios, arrumbando esos recuerdos y actitudes y sustituyéndolos por comprensión y aprecio. Quisiera mostrarle el mundo desde la perspectiva de un químico para que entienda sus conceptos fundamentales y vea cómo la química contribuye no sólo al bienestar material sino también a la cultura humana. Quiero explicarle cómo piensa el químico y cómo lo que descubre acerca de la materia –en todas sus formas, desde las rocas hasta el ser humano– añade placer a la percepción que tenemos del mundo. Me gustaría enseñarle cómo los químicos transforman un tipo de materia –ya sea aspirada o excavada de la tierra o extraída de los cielos– en otro tipo distinto, para poder vestirnos, para alimentarnos o simplemente para deleitarnos.

Quisiera transmitir al lector la idea de que la química constituye la infraestructura del mundo moderno. Apenas hay objeto de la vida cotidiana que no lo proporcione la química o que no se base en materiales creados por ella. Quitemos la química y su brazo funcional, la industria química, y habremos suprimido los metales y demás materiales de construcción, los semi-

conductores utilizados en la computación y en las comunicaciones, los combustibles de la calefacción, de la generación de energía y del transporte, los textiles del vestido y de los muebles y los pigmentos artificiales de ese mundo nuestro lleno de color. Quitemos la contribución de la química a la agricultura y estaremos dejando que la gente muera, porque la industria proporciona los fertilizantes y pesticidas que permiten que la tierra, cada vez más escasa, mantenga a una población cada vez más numerosa. Quitemos su rama farmacéutica y estaremos abriendo la puerta al dolor al eliminar los anestésicos y privando a la gente de la posibilidad de curarse al eliminar los medicamentos. Imaginemos un mundo sin productos químicos (entre ellos el agua pura): retrocederíamos a antes de la Edad del Bronce, a los tiempos de la Edad de Piedra: sin metales; sin combustibles excepto la madera; sin tejidos, únicamente pieles; sin medicamentos, salvo hierbas; sin métodos de computación, excepto los dedos, y con muy pocos alimentos.

Los avances tecnológicos exigen materiales con propiedades nuevas y complejas, ya sea materiales con mejores propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas o mecánicas o simplemente materiales de mayor pureza. Los progresos en el mantenimiento de la salud humana, susceptibles de reducir la demanda de infraestructura física que representan los hospitales y sus sofisticados y costosos equipos, dependen del descubrimiento y la producción de medicamentos mejores y más refinados. Sin la química que proporcione la infraestructura mate-

rial no habría avances en la generación, utilización y conservación de la energía.

Sin embargo, es evidente que la extraordinaria diferencia que media entre la naturaleza pura y aquello en lo que la química la transforma para mejorar y prolongar la vida tiene un precio, y es ese precio el que preocupa y en el que se basa justamente la alarma por el impacto ambiental de la química. En su versión más cruda, los productos de la química aumentan la capacidad de matar y de mutilar, porque el armamento mejora con el perfeccionamiento de nuevos explosivos y otros agentes. Lo que a menudo es causa de una preocupación más permanente y visible es el innegable impacto ambiental de los productos y procesos de producción. La química pone en manos de las sociedades la capacidad (por decisión de los gobernantes) de hacer la guerra de manera más eficaz; la capacidad (a través de presiones comerciales) de producir artefactos de forma más agresiva; y la capacidad (por decisión personal) de despilfarrar de manera más desenfrenada y deteriorar así el ecosistema, que es único e irremplazable.

En las páginas que siguen voy a ocuparme de esa preocupación, corolario del progreso en la industria química y de la presencia en el medio ambiente no sólo de sus productos sino también de los residuos de producción. Es importante, sin embargo, tener siempre en mente una imagen acabada y completa de la química, no solo de su lado oscuro. Sin la química la vida sería

fea, brutal y breve. Con la química puede ser agradable, entretenida y bien alimentada. El transporte puede ser eficiente; el vestido, atractivo. Las vidas pueden ser más prolongadas. Sin ignorar el lado oscuro y negativo de la química voy a tratar de que el lector aprecie también el lado brillante y positivo.

En todas estas contribuciones hay otra dimensión: la de la comprensión. La química permite penetrar en el corazón de la materia y mostrar cómo son las cosas. El químico puede mirar una rosa y entender por qué es de color rojo, y mirar una hoja y saber por qué es verde. Puede mirar el vidrio y entender por qué es frágil y mirar una tela y entender por qué es flexible. Por supuesto que es posible experimentar las glorias de la naturaleza sin ese conocimiento interno, lo mismo que se puede disfrutar de la música sin analizarla, pero el conocimiento que aporta la química sobre las propiedades de la materia en todas sus formas puede servir en su momento para lograr un deleite más profundo. Mi intención es transmitir al lector algo de ese conocimiento y mostrarle que incluso un poco de química puede añadir algo a su placer cotidiano.

Ese es, en términos generales, el viaje en el que quisiera embarcar al lector. Tratar de desalojar los recuerdos semiconscientes, quizá desagradables, de su primer encuentro con la química. Al terminar de leer el libro no tendrá un título de química (porque se trata de una disciplina profunda a la vez que amplia, cuantitativa además de cualitativa, sutil a la vez que superficial), pero tengo la esperanza de que acabará por

¿Qué es la química?

apreciar su estructura, sus conceptos fundamentales y sus contribuciones a la cultura, el placer, la economía y el mundo.

Finalmente, me gustaría expresar mi agradecimiento al profesor David Phillips, del Imperial College, por una serie de útiles comentarios.

Peter Atkins
Oxford, 2013

1. Sus orígenes, ámbito de estudio y organización

En este capítulo, después de examinar brevemente los orígenes alquímicos de la química, se explica que actualmente todos los análisis en esta disciplina se hacen en términos de átomos, el pan nuestro de cada día de la química moderna. A medida que emergió, la química moderna se fue escindiendo en una serie de subdisciplinas interrelacionadas, fundamentalmente la química física, la inorgánica y la orgánica, cuyos objetos de estudio se describen. Por otro lado, la química es una ciencia central que toma sus conceptos de la física y que arroja luz sobre la biología, y el presente capítulo, de carácter introductorio, concluye con un comentario acerca del lugar que ocupa la química dentro del panorama de la ciencia.

La codicia. Fue la codicia lo que llevó a la humanidad a embarcarse en un viaje extraordinario que afecta hoy a todos y cada uno de nosotros. La clase concreta de codicia a la que me refiero es el ansia de inmortalidad.

dad junto a la ambición de riquezas sin límites. La presunta ruta hacia ambas cosas consistía, para lo primero, en la manipulación de la materia para conseguir elixires con que superar las enfermedades del cuerpo, y para lo segundo, en recetas para convertir en oro casi todo lo que guardase cierto parecido con él, ya fuese por su color, como la orina y la arena, o por el peso, como el plomo. Ninguno de los dos objetivos se logró nunca, pero la incesante manipulación de la materia proporcionó a los alquimistas un considerable conocimiento de ella y fue el terreno abonado (a menudo en sentido literal) del que iba a emerger una verdadera ciencia: la química.

El principal instrumento de la transición de la alquimia a la química fue la balanza. La posibilidad de pesar con precisión las cosas permitió asignar números a la materia. La importancia de este logro no debe pasarse por alto, porque, en efecto, no deja de ser extraordinario que se puedan asignar números significativos al aire, al agua, al oro o a cualquier otra clase de materia. Así, mediante la asignación de números, el estudio de la materia y de sus transformaciones (el ámbito actual de la química) pasó al dominio de las ciencias físicas, donde los conceptos cualitativos se pueden representar cuantitativamente y contrastar rigurosamente con las teorías en que se hallan inmersos y a partir de las cuales cobran sentido.

Pesando la materia antes y después de transformarse de una sustancia en otra se llegó al principal concepto que subyace en todas las explicaciones de la

química: el *átomo*. El concepto de «átomo» había flotado sin fundamento alguno en la mente humana durante más de dos mil años, desde que los antiguos griegos aventuraron, sin ninguna prueba, que el mundo se componía en último término de algún tipo de partículas indivisibles. Su especulación quedó anclada en la ciencia gracias a John Dalton (1766-1844), quien, analizando el peso de las sustancias antes y después de una reacción, llegó a la conclusión de que los elementos, los bloques fundamentales de la materia, se componen de átomos inmutables cuyo rastro, al transformar una sustancia en otra, es posible seguir mediante el simple expediente de pesar dichas sustancias.

Los átomos son ahora el pan nuestro de cada día de la química. Prácticamente todas las explicaciones de la química hacen referencia a ellos, ya sea en su forma individual o en las combinaciones que llamamos *moléculas*. Los átomos son los constituyentes de toda la materia: todo lo que podemos ver y tocar está compuesto por átomos. Y aunque son pequeños, es un error decir que son invisibles a simple vista. Miremos un árbol: lo que vemos son átomos. O una silla: lo que vemos son sus átomos. O esta página: lo que vemos son átomos (incluso si se está viendo en una pantalla). Toquémonos la cara: lo que tocamos son átomos. Palpemos una tela: lo que palpamos son átomos. Evidentemente, un átomo es demasiado pequeño para poder verlo; pero la materia está compuesta por multitudes de átomos, y esas multitudes son visibles a simple vista en la forma de las sustancias que nos rodean. Más ade-

lante, en el capítulo 5, explicaremos cómo ahora los químicos sí son capaces de ver imágenes de átomos *individuales*.

Existen algo más de cien tipos diferentes de átomos. Lo que queremos decir exactamente con la palabra «tipos» lo explicaremos en el próximo capítulo, cuando examinemos los átomos por dentro e identifiquemos las diferencias de estructura interna que los hacen distintos unos de otros. Cada tipo de átomo corresponde a un elemento distinto. Por lo tanto, al igual que existen los elementos hidrógeno, carbono, hierro, etc., existen también los átomos de hidrógeno, de carbono, de hierro, y así sucesivamente hasta el elemento descubierto en fecha más reciente (2013), que es el absolutamente inútil y extremadamente efímero elemento que hace el número ciento catorce, el livermorio. (Se trata, para ser más precisos, del elemento 116, porque dos de los que le preceden no han sido aún descubiertos). La idea clave en química es que cuando una sustancia se transforma en otra los átomos propiamente dichos no se modifican: simplemente cambian de pareja o entran a formar parte de nuevos arreglos. La química va toda ella de divorcios y nuevas nupcias.

Aunque la palabra «átomo» proviene del vocablo griego que significa «indivisible», «que no se puede cortar», los átomos sí se pueden cortar. Incluso una simple especulación de salón conduce a ese corolario, porque la existencia de diferentes tipos de átomos implica la existencia de estructuras diversas, de manera

que con suficiente ingenio debe ser posible desintegrar un átomo e identificar las *partículas subatómicas* que lo forman. Esta especulación está confirmada empíricamente, y en el capítulo 2 veremos algo del interior de los átomos y por consiguiente del origen de sus diferentes personalidades. Es aquí donde la química se apoya de manera más marcada en la física, porque fueron los físicos quienes descubrieron la estructura del átomo. Los químicos utilizan esa información para explicar las moléculas que forman y las reacciones que experimentan los átomos.

Esta última aseveración apunta al ámbito de estudio de la química. Implica que para entender la química es necesario importar conceptos de la física. Así es, y la química hace abundante uso de muchos de los conceptos desarrollados por los físicos (a cambio, nosotros, los químicos, les proporcionamos la materia con la que hacer sus juegos malabares). En todo este comercio hay dos importaciones enormemente significativas, una relacionada con el comportamiento de los átomos individuales y de sus componentes subatómicas y la otra relacionada con la materia bruta, es decir, con porciones tangiblemente grandes de materia, como puede ser una jarra de agua o un bloque de hierro. Hablando técnicamente, son los mundos *microscópico* y *macroscópico*, respectivamente.

El producto fundamental importado de la física para explicar las propiedades del mundo microscópico de los átomos y moléculas individuales es la *mecá-*

nica cuántica. Gran parte de la química se desarrolló ya en el siglo XIX, pero sin entender demasiado por qué determinadas cosas ocurrían mientras que otras, en cambio, no. En aquel entonces, la reina era la «mecánica clásica» de Isaac Newton (es decir, los procedimientos matemáticos utilizados para explicar el movimiento de los cuerpos), porque era capaz de explicar satisfactoriamente las órbitas de los planetas y el vuelo de los proyectiles; y se creía que al reducir los planetas y los proyectiles a átomos se encontrarían explicaciones de la química y que los dominios de Newton incluirían también a esta disciplina. La atención prestada por Newton (infructuosamente) a la manipulación alquímica es tal vez señal de que pensaba lo mismo. Sin embargo, a finales del siglo XIX y principios del XX se comprobó que al pasar de los planetas y proyectiles a los átomos, la mecánica clásica fracasaba por completo: incluso los conceptos fundamentales de la mecánica newtoniana fallaban al aplicarlos a los átomos y sus constituyentes. Tales son los peligros de una imprudente extrapolación.

Luego, a principios del siglo XX, alrededor de 1927, nació una nueva mecánica que ha demostrado ser enormemente eficaz a la hora de explicar correctamente cómo actúan los átomos y las partículas subatómicas. Hasta la fecha, esa teoría, la mecánica cuántica, no ha sido superada por ninguna otra en poder de predicción ni en precisión numérica. Su carácter en gran parte abstruso es sin duda un fastidioso inconveniente, pero más adelante haremos lo posible por des-

tilar lo imprescindible para entender el comportamiento de los átomos y por tanto la química en su conjunto. Veremos que cuando los químicos agitan y hierven sus líquidos lo que hacen es incitar a los átomos a que se comporten de acuerdo con las extrañas leyes de la mecánica cuántica.

La otra importación fundamental de la física –en este caso con el objeto de explicar las propiedades del mundo macroscópico de la materia bruta– es la *termodinámica*. La termodinámica es la ciencia de la energía y de las transformaciones que puede sufrir la energía. Surgió en gran parte de lo mucho que se dependía en la época victoriana de la máquina de vapor para impulsar las sociedades, tanto en sentido literal como económico. Pero la termodinámica no tardó en demostrar que era una parte fundamental del tejido de la química. El tejido material de nuestra disciplina son los átomos, pero los cambios que experimentan están bajo el control y el impulso de la energía. Veremos que la energía, no sólo es algo que se libera cuando se quema un combustible –un aspecto obvio, útil, pero primitivo, de la relación de la energía con la química–, sino que también gobierna la manera en que se comportan los átomos en general, las estructuras que pueden formar, los cambios de organización que pueden sufrir y la velocidad a que pueden producirse esos cambios. De una manera sutil, la energía resulta ser también la fuerza motriz de la química, en el sentido de que impulsa las reacciones, de una forma que explicaremos en el capítulo 3. Teniendo en cuenta la imbrici-

cación tan estrecha que existe entre la energía y la estructura misma de la química, no es de extrañar que la termodinámica, a pesar de sus orígenes ingenieriles, desempeñe aquí un papel.

Mientras que la química recurre por abajo a la física para sus explicaciones (y a través de la física, también a las matemáticas en lo que hace a su formulación cuantitativa), por arriba recurre a la biología para muchas de sus aplicaciones más extraordinarias. Esto último no debería resultar sorprendente, porque la biología no es más que una elaboración de la química. Antes de que los biólogos estallen indignados ante este comentario (que podría parecer algo así como afirmar que la sociología es una elaboración de la física de partículas), permítanme que lo precise. Los organismos están compuestos de átomos y moléculas, y esas estructuras las explica la química. Los organismos funcionan (es decir, están vivos) gracias a la compleja red de reacciones que tienen lugar en su interior, y esas reacciones las explica la química. Los organismos se reproducen mediante estructuras y reacciones moleculares, que son en ambos casos parte de la química. Los organismos responden a su entorno (por ejemplo, a través del olfato y la visión) con cambios en la estructura molecular, y por lo tanto esas respuestas —nuestros cinco sentidos (o los que sean)— son elaboraciones de la química. Incluso ese fenómeno hipermacroscópico que es la evolución y el origen de las especies puede considerarse como una elaborada consecuencia de la segunda ley de la termodinámica y por

lo tanto es un aspecto de la química. Algunos organismos (pienso principalmente en los seres humanos) reflexionan sobre la naturaleza del mundo, y los procesos mentales que subyacen en estas cogitaciones y que se manifiestan como tales se deben a complejas redes de reacciones químicas. Por consiguiente, la biología es en efecto una elaboración de la química. No voy a intentar probar el punto de vista (independientemente de lo que yo crea) de que todos los asuntos por los que se interesan los biólogos, como el comportamiento animal en general, tampoco son más que química elaborada; me limitaré más bien a la afirmación de que todas las estructuras, respuestas y procesos de los organismos son de naturaleza química. Así pues, la química impregna la biología y ha contribuido de manera inconmensurable a nuestra comprensión de los organismos.

Nosotros, los seres humanos, organismos socialmente elaborados, construimos cosas. Fabricamos artefactos, extraemos rocas de la tierra, bombeamos líquidos de las profundidades, recogemos gases de los cielos, y el objetivo es convertir esa materia prima en lo que queramos. La conversión de esa materia prima en sustancias que se puedan moldear, amartillar, hilar, pegar entre sí, comer o simplemente quemar es una parte de la química. Los químicos pueden hacerse a un lado y dejar que moldeen los moldeadores, que martillen los martilleadores, que den forma los formadores y en general que fabriquen los fabricantes para crear el artefacto final. Pero son ellos, los químicos,

quienes proporcionan en primer lugar la materia prima, la infraestructura de la sociedad tecnológica moderna, y quienes de ese modo han contribuido enormemente a las economías del mundo y a la vida de los individuos y las naciones.

Como ya subrayé en el prólogo, en medio de toda esta luz hay por supuesto lunares y puntos negros. Es indudable que la química ha contribuido también a la capacidad humana de mutilar y matar, y no sería apropiado, en esta exposición de lo que es la química, barrer debajo de la alfombra de sus páginas el arsenal de explosivos y de gases nerviosos y sus agresiones (accidentales o intencionadas) a nuestro frágil medio ambiente. De estas cuestiones me ocupo más adelante, pero en este momento –para subrayar la importancia del juicio personal– invito al lector a que borre mentalmente todas las aportaciones que ha hecho la química al mundo moderno (devolviéndonos a los dolorosos, peligrosos, incómodos y poco ambiciosos tiempos de la Edad de Piedra) y se pregunte después por el peso relativo de los claros y de los oscuros actuales.

El ámbito de estudio de la química es tan enorme que la presente introducción (y la disciplina misma) se revolverían amorfas cual indefensas ballenas varadas si no se impusiera algún tipo de estructura. Los químicos han ido adoptando una estructura que les ayuda a llevar a cabo su trabajo, reunirse en grupos de ideas afines y desarrollar sus procedimientos de forma muy parecida a como los países organizan su política y su

economía. Pero a diferencia de la mayoría de los países, las fronteras aquí son difusas, y a menudo se realizan avances sorprendentes en las zonas de superposición de dos culturas. Eso suele ocurrir en disciplinas tan maduras como lo es la química actual, donde todas las áreas de actividad están exploradas a fondo y la inspiración puede surgir de manera más fructífera (como ocurre en el arte) en las fértiles zonas de superposición de fronteras y allí donde la disciplina (en este caso la química) se solapa con otras.

Para nuestros propósitos, y para entender la estructura general de la química en el marco de esta introducción, es útil considerarla dividida en varias ramas y ver a grandes rasgos de qué se ocupa cada una de ellas. Estas divisiones de la química siguen estando presentes en los departamentos y cursos universitarios y en las revistas encargadas de publicar los descubrimientos, de modo que su descripción sigue siendo un componente importante de la guía del visitante. Pero cuidado: las fronteras, tanto intelectuales como entre departamentos, se están desvaneciendo.

La división más general de la química, la más importante y tradicional y la que suele utilizarse aún hoy día es la que distingue tres ramas: la física, la orgánica y la inorgánica.

La *química física* se encuentra en la interfaz entre la física y la química (de ahí su nombre) y se ocupa de los principios de esta última, que, como hemos visto, consisten básicamente en la mecánica cuántica (para explicar la estructura de los átomos y las moléculas) y la