

La química en 100 preguntas

Gabriel Estañ Cerezo



Colección: 100 preguntas esenciales
www.100Preguntas.com
www.nowtilus.com

Título: *La química en 100 preguntas*

Autor: © Gabriel Estañ Cerezo

Director de la colección: Luis E. Íñigo Fernandez

Copyright de la presente edición: © 2020 Ediciones Nowtilus, S.L.
Camino de los Vinateros, 40, local 90, 28030 Madrid
www.nowtilus.com

Elaboración de textos: Santos Rodríguez

Diseño de cubierta: NEMO Edición y Comunicación

Imagen de portada: XXXXXXXXXXXXXXXXX

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra (www.conlicencia.com; 91 702 19 70 / 93 272 04 47).

ISBN Papel: 978-84-1305-095-9

ISBN Impresión bajo demanda: 978-84-1305-096-6

ISBN Digital: 978-84-1305-097-3

Fecha de publicación: enero 2020

Impreso en España

Imprime: Podiprint

Depósito legal: M-XXXXXXXX-2019

Al doctor. Diego Alonso,
Por su guía intentando mostrarme los secretos de la química

A Santi, Ale y Marta,
Por su compañía en esos momentos y en tantos otros

Prólogo	15
Introducción	19
I. Historia de la Química. Átomos y partículas. Química Nuclear	
1. ¿Eran los primeros químicos unos brujos o <i>frikis</i> de laboratorio?	21
2. ¿Es posible entender la química?	23
3. ¿Existe algo que sea común a toda la materia del universo?	26
4. ¿Son las partículas subatómicas la última frontera del conocimiento?	30
5. ¿Los electrones giran libremente por todo el átomo?	34
6. Avogadro, ¿algo más que un número?	38
7. ¿Fue casualidad el descubrimiento de la radiactividad?	40
8. ¿Son las reacciones nucleares tan peligrosas como suenan?	41

9.	¿Es peligroso hacerse una resonancia magnética?	44
10.	¿Qué es y cómo funciona la radioterapia?	45
11.	¿Están las cosas organizadas o desorganizadas en la naturaleza?	47
12.	¿Qué podemos esperar de la química en el futuro? ...	51

II. Elementos

13.	¿Tiene el átomo más simple algo que enseñarnos? ...	53
14.	¿Qué características describen a los elementos alcalinos y alcalinotérreos?	57
15.	¿Qué son todos los elementos que ocupan el centro de la tabla periódica?	62
16.	¿Qué características tienen los elementos conocidos como térreos?	66
17.	La columna del carbono, ¿por qué es vital?	68
18.	El Grupo 15 de la tabla, ¿nitrógeno y qué más?	73
19.	El oxígeno y los elementos del Grupo 16, ¿un grupo único?	77
20.	¿Son los halógenos y los gases nobles algo más que unas luces?	80
21.	¿Qué son esas dos filas que salen de la tabla periódica?	86
22.	¿Existen elementos que no conocemos?	89

III. Química Inorgánica

23.	¿Pueden los electrones escaparse del átomo?	91
24.	¿Son los átomos capaces de compartir sus electrones?	93
25.	¿Tiene algo que ver el brillo de los metales con los electrones?	95
26.	¿Existen enlaces químicos intermoleculares?	99
27.	¿Es posible transformar la materia de manera controlada?	101
28.	¿Se puede atajar en una reacción química?	104
29.	¿Cuánta química hay en una piscina?	107

30.	¿Se pueden clasificar los principales tipos de reacciones químicas?	109
31.	¿Existe algún tipo de lluvia que sea corrosiva?	118
32.	¿Puede un compuesto sólido desaparecer?	120
33.	¿Hay alguna manera sistemática de describir los compuestos inorgánicos?	123

IV. Química Orgánica

34.	¿Podemos mezclar aceite y agua?	125
35.	¿Es el tetraedro la figura geométrica más importante químicamente hablando?	130
36.	¿Por qué hay muchos más compuestos de química orgánica que de inorgánica?	132
37.	¿Existe algún método para organizar los millones de compuestos en química orgánica? ...	137
38.	¿Son los hidrocarburos los peores amigos del hombre?	141
39.	¿Funcionan los coches gracias a los fósiles?	144
40.	¿Quiere que le ponga gasolina de 95 o de 98?	146
41.	¿Cuáles son los principales compuestos oxigenados en la química orgánica?	148
42.	¿Puede el nitrógeno formar compuestos orgánicos?	151
43.	¿Cuántos elementos pueden formar enlaces con el carbono en química orgánica?	155
44.	¿Puede una letra cambiarte la vida? El caso de la talidomida.	158
45.	¿Es la investigación de nuevos fármacos un proceso sistemático o es producto del azar?	161
46.	¿Hasta qué punto es importante el ozono?	166

V. Bioquímica

47.	¿Necesito ingerir hidratos de carbono y grasas en mi dieta?	169
48.	¿Qué son y para qué sirven las proteínas?	176

49.	¿Por qué a los marineros se les caían los dientes?	183
50.	¿Existe alguna moneda energética?	186
51.	¿Es posible considerar a los virus como seres vivos? ...	190
52.	¿Podrían existir seres vivos que no estuvieran basados en la química del carbono?	193
53.	¿Es el ADN todo lo que somos?	205
54.	¿Quién trabaja para que el ADN cumpla con su función?	201
55.	¿Existe alguna manera de modificar el ADN? ¿Es legal?	205
56.	Transgénicos, ¿una palabra gafada?	209
57.	¿Qué pasó con la oveja Dolly?	213
58.	¿Puede una bacteria poco conocida haber cambiado la genética para siempre?	216

VI. Química analítica

59.	¿Eureka? ¿Es posible medir correctamente en química?	219
60.	¿Cuáles son los principios que rigen la cromatografía?	223
61.	¿Qué tenemos que hacer para ofrecer correctamente los datos en química?	227
62.	¿Los conceptos exactitud y precisión son sinónimos?	232
63.	¿Tiene un método analítico que ser validado de alguna manera concreta?	234
64.	¿Puedo morir por beber agua o café?	236
65.	¿Son fiables las pruebas de paternidad?	238
66.	¿Es posible cazar a los tramposos en el mundo del deporte?	240
67.	¿Científicos, policías o actores? ¿Qué sabemos del trabajo de la policía científica? ...	243
68.	¿Es posible saber si un fósil tiene un millón de años?	245
69.	¿De verdad somos capaces de conocer la composición de otro planeta?	248

VII. Química Física y Cuántica

70.	¿Deben los buceadores ir haciendo paradas cuando ascienden?	251
71.	¿Para qué se añade sal a la nieve?	253
72.	¿Empezó la electroquímica gracias a una rana?	256
73.	¿Por qué se produce una reacción química?	258
74.	¿Es posible medir la velocidad a la que se producen las reacciones químicas?	262
75.	¿Se comporta igual la materia a nivel atómico que a nivel macroscópico?	264
76.	¿En qué momento puedo encontrar la posición?	267
77.	¿Puede un gato estar vivo y muerto al mismo tiempo?	268
78.	¿Son los ordenadores esenciales en la química moderna?	270

VIII. Materiales

79.	¿Abrir el frigorífico descalzo entraña algún peligro?	275
80.	¿Puede un mismo elemento ser aislante o conductor eléctrico en función de las condiciones que le afectan?	277
81.	¿Existe alguna manera de evitar el fuego?	281
82.	¿Es selectivo el microondas a la hora de calentar?	284
83.	¿Quién es más duro, Chuck Norris o un diamante?	286
84.	¿Son la plasticidad y la elasticidad lo mismo?	288
85.	¿Conoces propiedades como la maleabilidad, ductilidad y tenacidad?	290
86.	¿Nunca te has parado a pensar por qué un vidrio es transparente?	291
87.	¿Sobreviviré si me disparan llevando un chaleco antibalas?	295
88.	¿Es la adhesión un fenómeno físico o químico?	298
89.	¿Sabes qué es realmente un plástico?	300
90.	¿Es el grafeno el nuevo oro?	304

91. ¿Existe un líquido que desafía la ley de la gravedad?	306
---	-----

IX. Nanotecnología

92. ¿Podemos escribir los 24 volúmenes enteros de la Enciclopedia Británica sobre la cabeza de un alfiler?	309
93. ¿Empezó la nanotecnología hace 800 años?	310
94. ¿El balón de fútbol más pequeño del universo?	312
95. ¿Existen seres más pequeños que los liliputienses? Historia de los nanoputienses	316
96. ¿Un coche más pequeño que un 600?	318
97. ¿Cabe un ascensor en una vena?	320
98. ¿Conoces la película más pequeña del mundo?	325
99. ¿Puede la nanotecnología salvar vidas?	328
100. ¿Podemos saber cuál será el futuro de la nanotecnología?	329
Glosario	333
Bibliografía consultada	340
Bibliografía recomendada	345
Agradecimientos	349

PRÓLOGO

¿Por qué decidí dedicarme a la química? La respuesta es bien sencilla. Porque incluso mucho antes de que supiera lo que es, siempre he querido dedicarme a ella. Desde que era un mocoso me encantaba hacer experimentos, fuegos de colores y explosiones que alertaban a mis padres y vecinos pero que hacían las delicias de mis amigos. Como a cualquier niño, por lo menos de los niños que estábamos todo el día en la calle, lo que me atrajo de la química es su magia, sus colores y sus infinitas posibilidades. Es una ciencia llena vida, estruendo y transformaciones sorprendentes. En una palabra, la química siempre ha sido para mí una aventura irresistible, ya desde que disfrutaba haciendo experimentos con los productos químicos que compraba en una droguería que había cerca de la casa de mis padres.

Ellos alimentaron mi vocación temprana por la experimentación con paciencia y tino. Un año me regalaron un Quimicefa enorme; un hecho que hoy sería catalogado poco más o menos de incitación al terrorismo. Con él, y todos los productos, utensilios y cachivaches que había reunido desde mi más tierna infancia, conseguí montar un pequeño laboratorio en la casa de mis padres que fue mi sala de juegos durante muchos años.

Pronto comprendí que necesitaba leer y aprender más si quería descubrir nuevos experimentos, entender por qué ocurría todo aquello que veía y sobre todo para evitar, digamos, sorpresas.

Recorría las librerías buscando un libro que me ayudara a entender todo lo que iba descubriendo y a responder las mil y una preguntas que me iban surgiendo. Pero era imposible que pudiera encontrar ese libro. Por un lado, no había entonces muchos de divulgación sobre química y sobre todo no sabía que debía buscarlo en la sección de ciencias, no en la de juegos, que obviamente es donde miraba yo, porque eso era lo que era para mí, la actividad que me ocupaba tras regresar del cole.

Este libro que tengo el placer de prologar, escrito por Gabriel Estañ Cerezo, exalumno de la universidad donde enseñé y hago investigación, mi querida Universidad de Alicante, me hubiera sido de gran utilidad entonces, sobre todo porque me hubiera ayudado a responder muchas de las preguntas que me hacía entonces; y lo que es más importante, a hacerme preguntas que en aquel momento no me podía ni imaginar.

La Química en 100 preguntas es sobre todo un intento conciso de reunir las principales cuestiones de la química. Destilar la esencia para quedarse solo con lo nuclear, con aquello que resulta no solo fundamental, sino también más atractivo. Este libro cubre desde los constituyentes de la materia, cómo se transforman hasta cómo mejoran nuestras vidas. Muchas de las preguntas que se hace el autor en este libro no son muy diferentes a las que se haría un niño lleno de curiosidad por el mundo que le rodea: «¿Por qué se le echa sal a la nieve?» o «¿Cómo trabaja la policía científica?». Con otras preguntas el autor ilustra cómo la química está presente en aspectos cotidianos de nuestras vidas. Este es el caso de «¿Cuánta química hay en una piscina?», «¿Quiere que le ponga gasolina de 95 o de 98?» o «¿son fiables las pruebas de paternidad?». Pero las mejores preguntas son aquellas que nos sorprenden y que nunca nos hubiéramos hecho como «¿Puede una letra cambiarte la vida?», «¿Por qué a los marineros se les caían los dientes?» o «¿Por qué un vidrio es transparente?».

En este libro hay intento claro por sistematizar, por identificar patrones y dar sentido a la infinidad de compuestos que constituyen la química. Cuando el autor responde si existe algún método para organizar los millones de compuestos en química orgánica, lo que realmente está haciendo es repasar, a la vez que nos recuerda la nomenclatura básica, algunas de las principales familias de compuestos, muchos de los cuales están muy presentes en nuestras vidas.

Pero el autor nos lleva más allá y responde también a lo que podemos esperar de la química en el futuro. Para ello nos lleva hasta los más recientes descubrimientos científicos como por ejemplo los nuevos materiales, la nanotecnología o el uso de la inteligencia artificial aplicada a la química.

Como cabría esperar de cualquier viaje por la química, este libro tiene una hoja de ruta que ordena y estructura su contenido. Esta es, como no podría ser de otra forma, la tabla periódica. Precisamente en 2019 se celebraron los 150 años de la tabla periódica que propuso Mendeleiev. Él también estaba escribiendo un libro, *Principios de Química*, cuando confeccionó la tabla periódica, precisamente para darle orden y sentido. Años más tarde, ya en el siglo XX, el profesor Enrique Moles utilizaba también la tabla periódica para estructurar los estudios de química en nuestro país. En la primera parte del libro que ahora tienes entre tus manos, Gabriel, como otros antes que él, nos conduce grupo a grupo por la vida secreta de los elementos que, si bien es diversa, no es caprichosa y sigue una ley periódica que da sentido a la química y nos ayuda a predecir propiedades y diseñar nuevos experimentos.

Quiero pensar que las clases que Gabriel estudió en la Universidad de Alicante, donde también realizó su doctorado, le animaron a escribir esta obra generosa que intenta responder a las principales preguntas de la química. Ojalá hubiera tenido yo un libro similar cuando aún no le ponía nombre a la química. Ahora tú también tienes la oportunidad de maravillarte con la ciencia de las cosas, de sus propiedades y sus transformaciones.

Javier García Martínez
Universidad de Alicante
Octubre de 2019

INTRODUCCIÓN

La química es la ciencia que estudia la materia y sus relaciones, es decir, las transformaciones y mezclas que se producen de los elementos o de los compuestos químicos. Dado que todo lo que nos rodea es química (desde nosotros mismos al aire que respiramos), abarca un enorme rango de complejidad: desde los átomos más sencillos a enrevesadas reacciones químicas. El estudio de la química se ha sistematizado desde sus inicios y comprender su funcionamiento es básico para entender la forma en que la materia interacciona entre sí.

Los seres humanos estamos vinculados a la química desde el inicio de nuestra especie y desde ese momento ha habido personas que la han estudiado. Desde la preparación de perfumes a la elaboración de los materiales con los que se fabricaron las vidrieras de las grandes catedrales hace siglos, las relaciones de la humanidad con esta ciencia son innumerables. El desarrollo de la química ha supuesto importantes avances para la humanidad, ya sea en medicina, ciencia de materiales o gracias al desarrollo de combustibles y otras formas de producir energía como empleando baterías. Hoy la química es una disciplina fundamental en la investigación y uno de los sectores industriales más potentes. Pero esta ciencia no se aplica únicamente en avanzados laboratorios y punteras empresas. También lo hace en nuestra cocina o cuando limpiamos

empleando lejía o jabones, ya que estamos llevando a cabo procesos que implican reacciones químicas.

Es una ciencia que combina un importante peso teórico con interesantes ejemplos prácticos. A veces resulta complicado entender los segundos sin el apoyo de la teoría. Este libro trata tanto de hacer comprensibles todos los conceptos más básicos como de dar a conocer los temas más punteros que pueden resultar más atractivos tanto para estudiantes como para personas curiosas en general o con interés en el fascinante mundo de la química.

Se desarrolla en nueve capítulos que tratan de abarcar desde la historia de esta ciencia y quienes han tomado parte de ella a cada una de las disciplinas en las que es posible subdividirla, como son la química orgánica, la inorgánica, la bioquímica o la química física. Uno de los apartados más importantes lo encontramos en el estudio sobre cómo medir en esta materia, es decir, el dedicado a la química analítica. También incluye sus respectivos apartados dedicados a la química de materiales o a la nanotecnología, donde encontramos algunos de los ejemplos de las más destacadas aplicaciones. Cada uno de estos apartados trata de recoger las cuestiones más relevantes y de hacerlas accesibles para los lectores de este libro. Incluye diversos ejemplos de aplicaciones y casos de estudio que tratan de remarcar algunos de los aspectos más interesantes de la química.

Esperamos, por tanto, que aprendáis con él y que disfrutéis con su lectura tanto como en la editorial Nowtilus hemos disfrutado con su elaboración. Os invitamos a continuar navegando en sus páginas para abriros al apasionante mundo de la química a través de sus cien preguntas esenciales.

I

HISTORIA DE LA QUÍMICA. ÁTOMOS Y PARTÍCULAS. QUÍMICA NUCLEAR

1

¿ERAN LOS PRIMEROS QUÍMICOS UNOS BRUJOS O FRIKIS DE LABORATORIO?

Si le preguntamos a cualquier persona hoy cómo ve a los químicos, seguramente su respuesta sea como unos *frikis* o unas ratas de laboratorio, vestidos con una bata blanca, unas gafas de seguridad, guantes y haciendo explotar toda clase de experimentos. Si les preguntamos por los químicos de la Antigüedad probablemente responderán que eran brujos. Pero ¿qué hay de cierto en esta afirmación?

No fue hasta finales del xvii cuando se sentaron las bases de la química moderna en el mundo occidental. Antes de esa fecha (y todavía hoy en muchas tribus) ha habido personas que han trabajado dentro de la química sin atenerse a lo dictado por los científicos que llevaron a cabo la clasificación y organización que nos llevan a entender esta ciencia actualmente.

Los druidas celtas o los chamanes africanos son ejemplos de personas que trataban de conocer la materia y sus propiedades. Estas personas conocían qué podían emplear de determinadas plantas para enfrentarse a infecciones y otras enfermedades. El uso de plantas para



Retrato de Nicolas Flamel de Baltazar Moncornet (1600-1668)

A partir de entonces se desarrolla y se organiza todo el conocimiento científico asociado a la química tal y como lo conocemos actualmente. Es importante señalar que a diferencia de los alquimistas, los científicos tratan de compartir su conocimiento de la manera más efectiva posible y ahí destaca el papel jugado por las revistas científicas que, elaboradas inicialmente por sociedades científicas, publicaban los resultados más punteros para que la ciencia fuese compartida y empleada como base para desarrollar nuevos y más sofisticados estudios. La primera revista científica, conocida como *Philosophical Transactions*, nace en Londres en 1665. Hoy día cuando un científico quiere comunicar sus descubrimientos lo sigue haciendo en alguna de las miles de revistas científicas que existen.

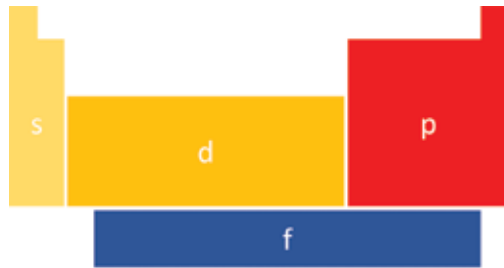
2

¿ES POSIBLE ENTENDER LA QUÍMICA?

La mayoría de cosas que nos rodean son compuestos químicos, que son la unión de elementos químicos. Por ejemplo, el agua está formada por los elementos hidrógeno y oxígeno. La cantidad de compuestos químicos es casi imposible de calcular, ya que cada día se descubren nuevos y actualmente ya hay más de cien millones de compuestos descritos. Pero el número de elementos químicos

Los elementos que componen la tabla periódica se encuentran organizados de manera tanto horizontal como vertical. El orden horizontal (cada una de las filas es llamada período) se creó en base al llamado número atómico, que es el número de protones que contiene un átomo y lo que define un elemento (es decir, todos los átomos que contengan tres protones son necesariamente átomos de litio).

Por otro lado, los elementos con propiedades parecidas se agrupan de manera vertical (cada columna también es llamada grupo). La propiedad que determina esta organización es la llamada configuración electrónica que responde a la organización que presentan los electrones de cada elemento. Este parámetro está fuertemente condicionado por los orbitales, que son las regiones en las que se pueden colocar cada uno de los electrones del átomo y en particular por la disposición de los electrones de la última capa. Los electrones más externos son los que más fácilmente pueden ser perdidos por un átomo. Además, junto a ellos se encuentran los orbitales en los que se pueden colocar los electrones que son tomados por un átomo. Existen diferentes tipos de orbitales y esto también afecta a la organización de la tabla periódica; en el siguiente diagrama se citan los orbitales que rigen las propiedades de cada grupo de elementos en función de su posición.

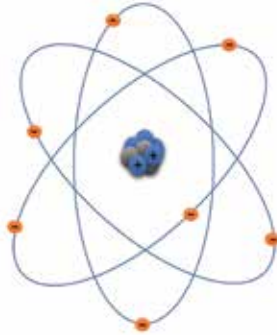


Esquema de la tabla periódica dividida en función de los orbitales en los que se colocan los últimos electrones de cada átomo

La combinación de la organización vertical y horizontal de la tabla periódica ha dibujado la figura tan conocida a día de hoy que difiere bastante geométricamente de la diseñada por Mendeléiev, pero que mantiene su espíritu intacto. En la tabla periódica además aparecen inscritos otros datos de gran relevancia para cada

veces mayor que la del electrón). Mientras que la carga positiva se debe exclusivamente a la presencia de los protones.

En la corteza se encuentran los electrones, que son partículas con carga negativa y con una masa muy pequeña. Esas partículas son de gran importancia en la química ya que rigen las relaciones de atracción entre los diferentes elementos químicos y son los responsables directos de la formación de los aniones o cationes y, por tanto, de los compuestos químicos, así como de la conductividad eléctrica.



Esquema de la estructura atómica. En el centro del átomo se encuentra el núcleo que posee la mayoría de la masa del átomo concentrada en un volumen muy pequeño. Posee dos tipos de partículas: los protones, con carga eléctrica positiva; y los neutrones, con carga neutra. Alrededor del átomo se organizan los electrones en lo que se conoce como la corteza, que ocupa la gran mayoría del volumen del átomo. Es importante señalar que los electrones no se encuentran siguiendo una órbita fija, sino que ocupan zonas concretas de la corteza (conocidas como orbitales) realizando órbitas erráticas.

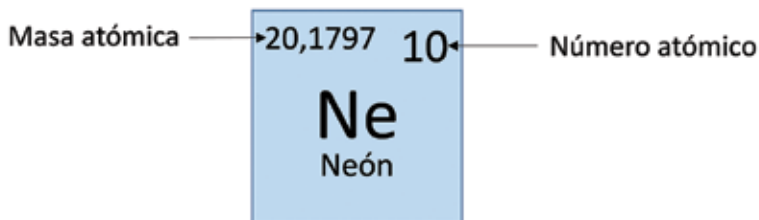
Ahora bien, para entender bien la estructura de los átomos hemos de recurrir a las matemáticas. La ciencia de los números rige todas las demás. En el caso de los átomos hay dos números a los que debemos prestar especial atención. Son los llamados número atómico y número másico.

Como hemos comentado, en cada átomo habrá un número de protones diferente. En función de ese número tendremos un elemento químico u otro. A esto se le llama número atómico.

Por el contrario, el número de neutrones es variable. Es decir, los átomos de un mismo elemento químico pueden tener diferente número de neutrones (pero deben tener el mismo número

de protones). Este hecho dota de propiedades diferentes a esos átomos. Los átomos de un mismo elemento químico con diferente número de neutrones se llaman isótopos. Por ejemplo, el hidrógeno posee únicamente un protón y un electrón, pero puede no tener neutrones o que sean uno en el caso del deuterio o dos en el caso del tritio, que son los nombres propios de los dos isótopos de este elemento químico. Estos tres isótopos tienen propiedades diferentes, muchas de las cuáles están relacionadas con la radiactividad.

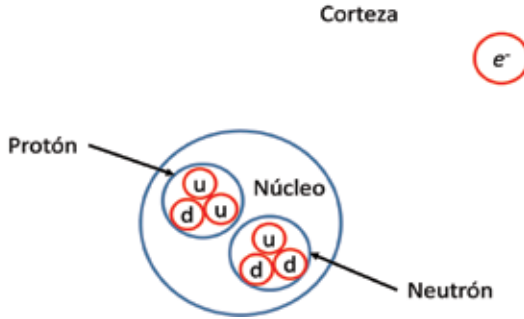
A la suma de protones y neutrones se le conoce como número másico, ya que ambas partículas constituyen la gran mayoría de la masa de las partículas. Un isótopo con un mayor número de neutrones tendrá una masa atómica mayor que otro con menos neutrones. El tritio tiene una masa mayor que el deuterio y este a su vez mayor que el hidrógeno.



Ejemplo de elemento con su número atómico y su masa atómica. Tanto el número atómico como el másico son siempre números enteros, pero la masa atómica de un elemento puede ser un número decimal. Esto es así porque los elementos en la naturaleza tienen diferentes isótopos (que poseen masas atómicas diferentes) que se encuentran en una proporción determinada y cuando se calcula la masa atómica se aplican esos porcentajes. Por ejemplo, en el caso del cloro, en la naturaleza hay dos isótopos: uno con número atómico 35 y otro con 37. Como las proporciones entre ambos son 3:1, la masa atómica ponderada del cloro es de 35,453 uma (unidades de masa atómica).

El número de neutrones que tiene un átomo se calcula restando el número atómico (número de protones) al número másico (número de protones y neutrones).

Por otro lado, en un átomo sin carga eléctrica encontraremos el mismo número de protones que de electrones. Los electrones que se encuentran en movimiento alrededor del núcleo pueden interactuar con otros átomos e incluso pueden abandonar el átomo para incorporarse a otro. En este fenómeno, en el que



Si analizamos el deuterio (que posee un protón, un neutrón y un electrón) en base a sus partículas elementales, observamos que posee el electrón en la corteza del átomo, mientras que el núcleo posee un protón (compuesto por dos quarks *up* (u) y un quark *down* (d)) y un neutrón formado por dos quarks *down* (d) y un quark *up* (u). Como los quarks *up* poseen una carga eléctrica de $+2/3$ y los *down* de $-1/3$, el protón en conjunto posee una carga positiva y el neutrón, sin embargo, mantiene carga cero (de ahí el nombre por su carácter neutro).

partículas que han sido ampliamente estudiadas en este campo de la física. Se trata de partículas sin carga, de masa muy pequeña y que casi nunca interaccionan con otras partículas (lo que dificulta su estudio). En el universo existen muchísimas de estas partículas y por ejemplo, la mayoría atraviesan nuestro planeta sin interaccionar con ninguna otra partícula.

En cuanto a los quarks es posible clasificarlos también en seis y sus nombres son: *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top* y *bottom*. Una de las curiosidades de estas partículas es que poseen carga eléctrica fraccionada. Así por ejemplo, el quark *up* posee carga $+2/3$ y el *strange* $-1/3$. Además, cada quark posee otro tipo de carga que se ha denominado «color».

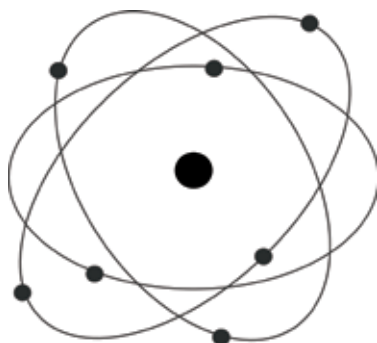
Es el momento de realizar una anotación sobre los electrones, protones y neutrones. Mientras que, como hemos visto, los electrones son partículas fundamentales (es decir, se trata de leptones que no se pueden descomponer en otras partículas), tanto los neutrones como los protones poseen otras partículas que han sido descritas por los científicos. Nos referimos a los quarks, de los que ya hemos comentado que existen al menos seis tipos. Cada protón y cada neutrón están compuestos por tres quarks. Dado que cada quark posee una carga eléctrica fraccionada y que los protones poseen carga $+1$ y los neutrones son neutros, cabe imaginar que están formados por quarks cuyo sumatorio en carga eléctrica provoca

5

¿LOS ELECTRONES GIRAN LIBREMENTE POR TODO EL ÁTOMO?

Hasta ahora hemos señalado que los electrones se encuentran en movimiento alrededor del núcleo del átomo (donde se concentran protones y neutrones). Sin embargo, la forma en que estos se mueven ha sido motivo de controversia a lo largo de la historia.

El modelo atómico de Rutherford (1871-1937) estableció que los protones se concentraban en el centro del átomo, como así sucede, y señaló que los electrones se encuentran dando vueltas alrededor de este. Se asemeja a un sistema solar donde cada electrón posee una órbita circular. Sin embargo, observaciones posteriores señalaron que los electrones poseen comportamientos diferentes y que eso no se ajusta al modelo de Rutherford.

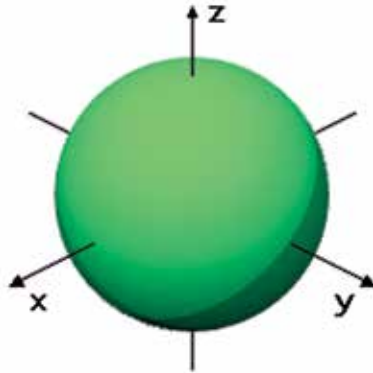


En el modelo atómico de Rutherford se postuló una estructura del átomo similar a un sistema solar, en cuyo centro se sitúa el núcleo que posee carga positiva. Según los cálculos de Rutherford el núcleo ocupa la milésima parte del volumen total del átomo. Alrededor del núcleo, girando en órbitas circulares se encontrarían los electrones, que poseen carga negativa. La suma de las cargas positivas del núcleo y de las negativas de los electrones sumaría cero para alcanzar el carácter neutro del átomo.

Actualmente está aceptado que los electrones se encuentran dentro de lo que se llama orbitales, que serán diferentes en función de cuántos electrones tenga un átomo. Además los electrones no tienen una órbita fija, sino que se mueven dentro de todo el orbital.

Por ejemplo, en el caso del hidrógeno, con un solo electrón, el orbital (llamado de tipo s) tiene forma esférica. Al ser el primero se conoce como 1s. Para describir el número de electrones de un átomo se emplea el término configuración electrónica y se representa así: H: $1s^1$, donde la letra es el tipo de orbital, el primer número hace referencia al período de la tabla periódica donde se encuentra el elemento, y el número en superíndice el número de electrones en ese orbital.

En este tipo de orbitales únicamente caben dos electrones, por tanto, con dos electrones (como tiene el compuesto químico helio) el orbital está completo y su configuración electrónica es He: $1s^2$.

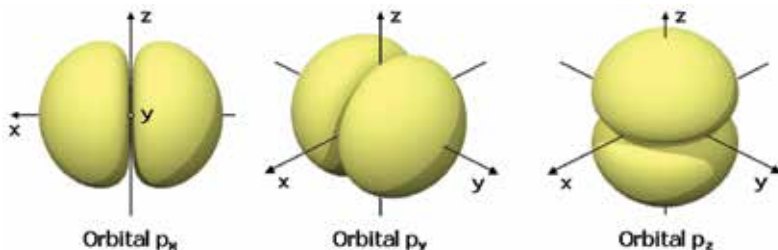


Los orbitales s tienen forma esférica teniendo su centro en el núcleo del átomo. Los diferentes orbitales s ($1s, 2s, 3s\dots$) se superpondrían de manera concéntrica. En ellos se puede colocar un máximo de dos electrones.

Así, por ejemplo, el helio posee una configuración electrónica de $1s^2$ y el berilio de $1s^2 2s^2$ teniendo ambos los orbitales completos. Extracto de Imagen generada con el programa Orbital Viewer, (C) David Manthey.

Este archivo se encuentra bajo la licencia Creative Commons Genérica de Atribución/Compartir-Igual 3.0.

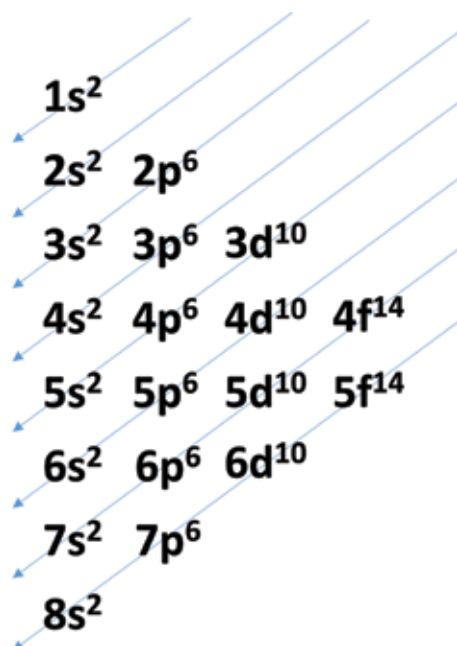
Además de los orbitales tipo s, existen los tipo p, d, f y cada uno posee un número diferente de orbitales. Por ejemplo, los tipo p son 3, mientras que los d son 5 y los f son 7. Cada orbital puede albergar un máximo de dos electrones, por lo que el número máximo de electrones en cada tipo de orbital es de seis, diez y catorce para los orbitales p, d y f respectivamente. Sus formas proceden de ecuaciones obtenidas por los químicos y físicos teóricos. A continuación presentamos la forma de los orbitales p:



Los orbitales p son tres y sus nombres hacen referencia a la disposición espacial que ocupan: p_x , p_y y p_z . Cada orbital puede alojar un máximo de dos electrones. Por tanto, los orbitales p pueden alojar un máximo de seis electrones. La llamada configuración electrónica de gas noble es la que posee los seis electrones máximos que estos orbitales pueden albergar.

Imagen generada con el programa Orbital Viewer, (C) David Manthey. Este archivo se encuentra bajo la licencia Creative Commons Genérica de Atribución/Compartir-Igual 3.0.

Existe una regla mnemotécnica para asignar los electrones a los diferentes orbitales:



Empleando este diagrama es posible asignar los orbitales a cualquier elemento. Tan solo tenemos que saber su número total de electrones y comenzar a asignar por la flecha que se encuentra en la parte superior (la que únicamente atraviesa $1s^2$). Por tanto, en ese orbital habrá dos electrones. A continuación se continúa por la siguiente línea y se siguen asignando los orbitales de los electrones. Cuando una línea acaba (en la parte izquierda del diagrama), se continúa por la siguiente línea desde la parte derecha del esquema.



Retrato de Amedeo Avogadro (1776-1856). Restaurado de la imagen original en 2005 por Anton, el archivo está disponible bajo la licencia CC BY-SA 3.0.

Los primeros cálculos del valor de este número se produjeron casi un siglo después de que Avogadro formulase su hipótesis, y fue el francés Jean Perrin (1870-1942) quien propuso el número de Avogadro. A día de hoy el mol está incluido en el Sistema Internacional de Unidades y el número de Avogadro es $6,022\,140\,758 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Coloquialmente se dice que este número se corresponde con la cantidad de átomos de hidrógeno que hay en un gramo de este elemento en su forma atómica, es decir, sin formar ningún enlace. Un gramo de hidrógeno tiene $6,022\,140\,758 \times 10^{23}$ átomos de hidrógeno, y supone a su vez un mol de esta sustancia.

Si tenemos un mol de otro elemento tendríamos el mismo número de átomos, pero un número diferente de gramos. Por ejemplo, en el caso del oxígeno, tendríamos 16 gramos de este elemento.

El concepto de mol también se utiliza para compuestos químicos, que son la unión de varios átomos, y por ejemplo en un mol de agua, cuya fórmula química con dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno es H_2O , tendríamos $6,022\,140\,758 \times 10^{23}$ moléculas y 18 gramos de agua.

El concepto de mol es fundamental en el mundo de la química, ya que ofrece una herramienta a la hora de comparar sustancias de manera adecuada para conocer sus relaciones y es básico a la hora de conocer las reacciones químicas.



Maria Salomea Sklodowska (1867-1934), después llamada Marie Curie, es una de las figuras más relevantes de la historia de la Química. Imagen de Tekniska museet bajo licencia Creative Commons Attribution 2.0 Generic.

Actualmente, sus hallazgos han servido de base tanto para el tratamiento de multitud de cánceres como para el diagnóstico de enfermedades y tienen aplicación también, por ejemplo, en los detectores de metales empleados en los aeropuertos.

Hoy día, además, las becas postdoctorales, es decir para personas que han terminado su doctorado, más importantes de la Comisión Europea reciben el nombre de Marie Sklodowska-Curie y forman a la próxima generación de excepcionales científicos que continuarán contribuyendo al avance de la ciencia y, con ella, de la humanidad al completo.

8

¿SON LAS REACCIONES NUCLEARES TAN PELIGROSAS COMO SUENAN?

En el imaginario colectivo al pensar en una reacción nuclear imaginamos una bomba atómica y una gran explosión. Pero ¿son siempre así?

No. No siempre son así. Aunque son procesos que liberan mucha energía no todos ellos se emplean para la fabricación de bombas atómicas.

Uno de los procesos que conlleva una reacción nuclear fue llevado a cabo por Rutherford, que bombardeó átomos de nitrógeno

11

¿ESTÁN LAS COSAS ORGANIZADAS O DESORGANIZADAS EN LA NATURALEZA?

A lo largo de este capítulo hemos hablado principalmente de elementos químicos como el hidrógeno, oxígeno o helio, que son sustancias químicas compuestas por un solo tipo de átomos. Ahora vamos a introducir dos conceptos: las moléculas y los compuestos químicos, ya que la naturaleza no se puede explicar empleando tan solo unos pocos átomos.

Una molécula está formada por dos o más átomos. Puede estar formada por átomos de un único ejemplo, como sucede con el H_2 , el O_2 o el ozono (O_3).



De izquierda a derecha estructuras del H_2 , O_2 y O_3 . En el caso del H_2 el enlace entre los dos átomos de hidrógeno (átomos blancos en la imagen) es un enlace simple, mientras que en el O_2 se trata de un doble enlace entre los átomos de oxígeno (esferas rojas). Finalmente, en el O_3 existe un doble enlace entre un átomo del extremo de la molécula y el átomo central y un enlace simple entre el átomo central y el del otro extremo. Además, existe una separación de cargas (habiendo una carga positiva en el átomo central y una negativa en uno de los átomos del extremo), siendo la carga total de la molécula neutra. Es importante saber, además, que en el caso del O_3 existe un fenómeno conocido como resonancia que significa que los electrones pueden cambiar de enlace muy rápidamente y que por lo tanto el doble enlace en unos casos estará hacia un extremo y en otros momentos hacia el otro extremo. Cuando los electrones de una molécula se pueden alternar entre diferentes estructuras estables supone un mayor grado de estabilidad para esas moléculas.

La razón de la formación de estas moléculas la tenemos en los electrones, ya que, al compartirlos, los átomos alcanzan una configuración electrónica más estable. Así en el caso del hidrógeno, pasa de tener una configuración $1s^1$ a $1s^2$, que se corresponde a la del helio y que se considera que tiene la última capa completa (que es la forma más estable). De igual modo sucede con el oxígeno, que

Ahora bien, como comentábamos, en la naturaleza la materia se encuentra formando diversas sustancias, pero además, estas se hallan mezcladas. Saber de qué manera se encuentran resulta vital para entender la materia y lo que nos rodea. A continuación vamos a conocer los tipos de mezclas que existen ya que resulta algo básico para operar en química. Existen dos tipos:

1. Las mezclas homogéneas. Son aquellas en las que no es posible diferenciar sus componentes a simple vista. Incluyen desde el aire (que es una mezcla de diferentes gases) a una aleación de metales o un refresco comercial (que posee múltiples componentes como agua, azúcar y colorantes o conservantes).



El café está compuesto por diversos compuestos químicos, siendo los más conocidos la cafeína y, por supuesto, el agua. Dado que a simple vista no podemos diferenciar sus componentes, estamos ante una mezcla homogénea. Julius Schorzman es el autor de la imagen (*Taza de café*) y el archivo se encuentra bajo licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic.

2. Mezclas heterogéneas. En este tipo sí es posible observar los componentes individuales que forman la muestra. Por ejemplo, al mezclar agua y aceite, el segundo queda formando una capa sobre la primera y se observan totalmente diferenciados. Existen otros ejemplos muy visuales, por ejemplo, una paella es una mezcla heterogénea ya que sus componentes se diferencian a simple vista.



Una paella es un ejemplo de una mezcla heterogénea, ya que es posible diferenciar a simple vista los componentes de la mezcla. Imagen titulada *Paella-Paella valenciana auténtica* del autor Jan Harenburg. El archivo se encuentra bajo licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International.

Sabiendo qué tipo de mezclas existen es posible conocer los procesos destinados a separar los componentes de las mismas. Existen muchos procedimientos, algunos de los cuales sirven para separar mezclas homogéneas y otros para mezclas heterogéneas. A continuación vamos a listar algunos de estos procedimientos:

Posiblemente la más conocida sea la filtración. Esta técnica se basa en hacer pasar una mezcla líquida que posee algún tipo de partículas sólidas a través de un filtro y que dichas partículas sean retenidas.

Una técnica similar se emplea para separar mezclas de sólidos con partículas de diferentes tamaños y se conoce como tamizado. En ella se pasa la mezcla por varios tamices (que son una especie de filtros que cada uno posee un tamaño determinado de poro por el que pasan unas partículas y otras no). Por tanto, las partículas quedan separadas en función de su tamaño, ya que cada tamiz las retendrá en función de ese parámetro.

Para las mezclas como la del aceite y el agua (donde los líquidos se separan en dos fases bien diferenciadas) se emplea la decantación. Para ello, se deposita la mezcla en un sistema especial llamado embudo de decantación que posee una llave en la parte inferior y permite sacar el líquido que se queda en la parte inferior y separarlo del otro.

Existen otros procesos, como la destilación, donde se calienta una mezcla de líquidos, generalmente homogénea, que se separan en función de su punto de ebullición (ya que el compuesto que tiene menor punto de ebullición se evapora a menor temperatura); la evaporación, cuya función es eliminar el líquido de una mezcla

II

ELEMENTOS

13

¿TIENE EL ÁTOMO MÁS SIMPLE ALGO QUE ENSEÑARNOS?

Como ya hemos visto, el átomo más sencillo es el hidrógeno (H) y contiene únicamente un protón y un electrón (cuya configuración electrónica es $1s^1$). Generalmente en la tabla periódica se coloca en la parte más alta de la columna del lado izquierdo, ya que algunas de sus propiedades coinciden con las de los elementos de ese grupo. En condiciones normales (cuando se emplea este término se hace referencia a que la presión es de una atmósfera y la temperatura de 20°C) se trata de un gas incoloro, inodoro, no metálico y además insoluble en agua. Otra de sus propiedades a tener en cuenta es que es inflamable.

Sin embargo, este elemento es único por diferentes motivos. Es, en primer lugar, el elemento más abundante del universo, ya que es el principal componente de las estrellas (y su combustible). Sin embargo, la que es su forma natural (como gas diatómico H_2 , es decir, dos átomos de hidrógeno unidos entre ellos) apenas se encuentra en la naturaleza en nuestro planeta, ya que es muy ligero y

carbonato de bario (BaCO_3) se emplea como veneno contra ratas y ratones. Además varios de los elementos de este grupo se emplean también en pirotecnia para dar color a los fuegos artificiales.

En aplicaciones tecnológicas se emplea una aleación entre aluminio y berilio que por sus propiedades resulta muy útil en aviones, misiles o satélites. Además, el berilio es transparente a los rayos X y se utiliza cuando esta propiedad es necesaria para determinado equipamiento médico.

En cuanto al radio ya hemos comentado previamente sus aplicaciones en la lucha contra el cáncer a través de la radioterapia.

15

¿QUÉ SON TODOS LOS ELEMENTOS QUE OCUPAN EL CENTRO DE LA TABLA PERIÓDICA?

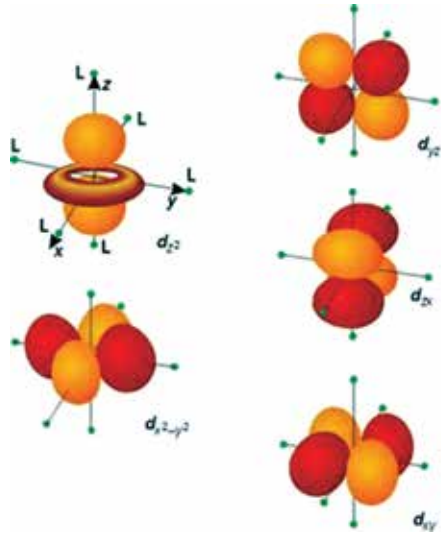
En la zona central de la tabla periódica encontramos los llamados metales de transición. Todos estos elementos tienen una serie de cosas en común: la primera es que todos son metales. Es decir, que poseen propiedades metálicas como: que tienden a perder electrones antes que a atraerlos (y por tanto forman cationes), que son buenos conductores del calor y la electricidad, que son sólidos a temperatura ambiente (excepto el mercurio, Hg) y que sus átomos se unen mediante el llamado enlace metálico, que será detallado más adelante, pero que en resumen significa que todos los átomos de un mismo elemento comparten sus electrones de valencia (lo que les confiere su elevada conductividad eléctrica). Pero además todos los elementos de esta zona tienen sus últimos electrones en orbitales tipo d.



Los metales de transición ocupan el centro de la tabla periódica, todos ellos poseen sus últimos electrones en orbitales d.

Los orbitales tipo d tienen cinco posibles estructuras y por tanto, dado que es posible colocar hasta dos electrones por orbital, poseen capacidad para albergar hasta diez electrones.

Se presentan los cinco orbitales tipo d (d_z^2 , d_{yz} , $d_{x^2-y^2}$, d_{zx} , d_{xy}). Como se puede observar presentan formas diferentes, destacando el que incluye un anillo toroide (d_z^2). Estos orbitales son los que albergan los electrones de la última capa de los metales de transición que pueden llegar a ser un máximo de diez. *Modelo de orbitales d* generada por J3D3. Este archivo se encuentra bajo licencias Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International, 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic y 1.0 Generic.



Las propiedades de los elementos que forman este grupo son muy amplias y abarcan desde el uso como catalizadores (por ejemplo, el hierro o el platino), al hecho de que se trata de elementos con una gran ductilidad y maleabilidad. Otra propiedad de gran relevancia la encontramos en sus diferentes densidades, ya que gracias a este valor se puede apostar por unos u otros para mejorar su aplicabilidad. Por ejemplo, una bicicleta de aluminio es casi tres veces más ligera que una de hierro.

Los metales pueden formar aleaciones, que son mezclas entre ellos, lo que puede alterar de manera significativa sus propiedades. Las aleaciones permiten disminuir la densidad, aumentar la dureza o reducir significativamente el coste de un material para una aplicación determinada.

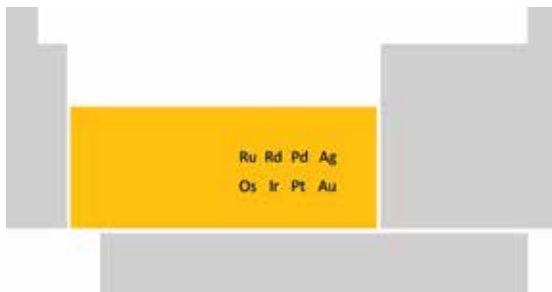
Dentro de esta zona es posible encontrar elementos como el hierro (Fe), la plata (Ag) o el oro (Au). Aunque todos poseen muchas características comunes, es posible encontrar algunas diferencias que son muy relevantes. Se podría describir cada uno de los elementos y citar sus características y usos más relevantes.

una línea de investigación para la síntesis de hidrógeno empleando este proceso biológico.

También es posible destacar el tecnecio (Tc) ya que se trata del primer elemento obtenido de forma artificial. Este elemento apenas existe en la naturaleza, tan solo como subproducto de la reacción nuclear de fisión del uranio (concretamente del isótopo U^{235}), hecho que fue conocido después de su síntesis en un ciclotrón (que es un tipo de acelerador de partículas). El tecnecio se emplea principalmente en medicina nuclear, ya que se recurre a él en técnicas de diagnóstico que requieren el uso de un contraste radioactivo para detectar posibles problemas de salud.

Otro de los elementos metálicos que es necesario destacar lo encontramos en el mercurio (Hg). Es el único metal que es líquido a temperatura ambiente (su punto de fusión lo encontramos a -39°C , por tanto tan solo sería sólido por debajo de esa temperatura). El hecho de que sea líquido posee una explicación dentro del mundo de la química cuántica que señala que existen fuerzas atractivas muy débiles (mucho menores que en el resto de metales) entre los átomos de este metal. Presenta un color plateado y su densidad es de 13534 kg m^{-3} , es decir, es más de trece veces más denso que el agua (997 kg m^{-3}) o casi el doble que el hierro (7874 kg m^{-3}). Su aplicación más conocida han sido los termómetros y otros instrumentos como manómetros, si bien se encuentra en desuso, ya que algunas formas de este elemento presentan una elevada toxicidad.

Finalmente, destacan los llamados metales nobles, término que hace referencia a que son elementos químicamente muy inertes (es decir, que son muy estables y no se degradan con facilidad) y que agrupa a los elementos platino (Pt), oro (Au), paladio (Pd), iridio (Ir), plata (Ag), rutenio (Ru), rodio (Rh) y osmio (Os).



Posición en la tabla periódica de los metales nobles

a llevar a cabo la reacción, se sustituye por argón y se cierra de manera hermética. Además, para preservar los compuestos que no son estables en presencia de oxígeno o agua también se realiza este procedimiento previo a su almacenamiento.

Por otro lado, desde hace varias décadas se han conseguido sintetizar diferentes compuestos que poseen gases nobles en su composición. Por ejemplo el tetrafloruro de xenón (XeF_4), el tetraóxido de xenón (XeO_4) o el difluoruro de kriptón (KrF_2). Estos compuestos se conocen como hipervalentes, pues no cumplen la regla del octeto (según la cual ocho es el número máximo de electrones que puede tener un átomo en su última capa).

21

¿QUÉ SON ESAS DOS FILAS QUE SALEN DE LA TABLA PERIÓDICA?

La tabla periódica está compuesta por dos bloques claramente diferenciados, uno de mayor tamaño y dos filas que se colocan debajo de este. Los elementos de este segundo grupo son conocidos como lantánidos y actínidos, debido a que el lantano (La) y el actinio (Ac) son los primeros en cada una de las filas. También se les conoce como elementos de transición interna o tierras raras.

Estos elementos son todos metálicos y muchos de ellos son radioactivos. Además, tanto los lantánidos como los actínidos poseen importantes propiedades magnéticas. Son famosos los imanes de neodimio (Nd) por su elevado poder magnético y coste no muy elevado.



Posición de los metales de transición interna en la tabla periódica. Se trata de dos filas de elementos. La fila superior es la de los lantánidos, ya que el lantano se encuentra en ella, y la inferior, en la que se encuentra el actinio, la de los actínidos.

IV

QUÍMICA ORGÁNICA

34

¿PODEMOS MEZCLAR ACEITE Y AGUA?

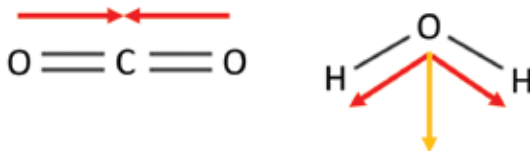
Un hecho conocido por la mayoría de las personas es que el agua y el aceite no se mezclan. De hecho, si colocamos un litro de agua y tratamos de mezclarlo con un litro de aceite comprobaremos que el agua (incolora) se coloca en el fondo y que sobre ella se puede observar el aceite, que lo normal es que tenga color (la palabra aceite se usa para describir un grupo de moléculas, siendo una de las más conocidas el ácido oleico que es el componente principal del aceite de oliva). Aquellos líquidos que no se pueden mezclar se conocen como inmiscibles. En este tipo de mezclas se ha definido como fase orgánica la que contiene al aceite y como fase acuosa la que ocupa el agua. Si hay mucha más agua que aceite se observarán esferas de aceite en la superficie del agua, mientras que si la sustancia que predomina es el aceite se observarán esferas de agua en el fondo.

El hecho de que ambas sustancias no se mezclen tiene una explicación científica bien conocida: se debe a la polaridad de ambos líquidos. La polaridad es una medida de separación de las cargas eléctricas en una molécula (lo que se conoce como densidad de



Si intentamos mezclar agua con aceite nos encontraremos con que no lo hacen. Lo que sucede es que uno de ellos se quedará ocupando la parte superior y el otro la inferior. Por ello, son líquidos inmiscibles. Qué líquido ocupará cada posición vendrá marcado por sus densidades. En el caso del agua y del aceite este último se situará en la parte superior y el agua en la inferior. *Two phases (water and oil) in the same state of aggregation (liquid)*, de Victor Blacus. El archivo se encuentra bajo licencias Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International, 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic y 1.0 Generic.

carga positiva o negativa en la molécula). La propiedad que señala si existe o no un desplazamiento de los electrones en una molécula se conoce como momento dipolar. Si el momento dipolar es cero, la molécula será apolar, mientras que cuanto mayor sea el momento dipolar más polar será una molécula.



Se presentan las estructuras del dióxido de carbono (izquierda) y del agua (derecha). Las flechas rojas representan hacia dónde se encuentran desplazadas las cargas positivas en los enlaces. En el CO_2 ambas cargas se compensan por la geometría y por ello el momento dipolar es cero, mientras que en el H_2O las dos cargas se encuentran hacia el mismo lado, lo que provoca que se sumen sus efectos y de ahí surge la línea naranja que es la suma de las dos flechas, y para el agua el valor del momento dipolar es de 1,83 D. La unidad que se emplea para medir el momento dipolar es el debye (D).

Por ejemplo, las moléculas iónicas tendrán una elevada polaridad ya que en estos enlaces los electrones están claramente desplazados hacia uno de los átomos. Las moléculas orgánicas (en las que los enlaces son mayormente covalentes) pueden ser tanto polares como apolares, pero si nos centramos en los hidrocarburos

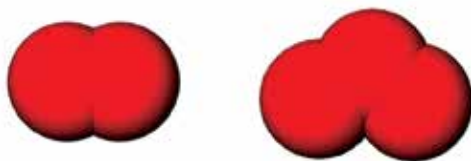
hay efectos cuyo mecanismo no se conoce y no se puede predecir mediante esta técnica, y por tanto teóricamente no encajaría con la proteína inicialmente estudiada.

Por tanto, aunque en algunos casos el descubrimiento de nuevos fármacos pueda producirse de manera casual, actualmente se trata de un proceso sistematizado altamente complejo en el que se invierten cientos de millones de euros anualmente.

46

¿HASTA QUÉ PUNTO ES IMPORTANTE EL OZONO?

Existe un compuesto gaseoso que se ha comentado previamente pero que merece que se realice un análisis más detallado sobre su estructura y especialmente sobre las funciones que posee. Nos referimos al ozono. Este gas es una de las formas alotrópicas que puede presentar el oxígeno (que puede aparecer como O_2 o como O_3). Esta segunda fórmula química se corresponde con el ozono.



Los gases oxígeno (izquierda) y ozono (derecha) son dos formas alotrópicas del elemento oxígeno. La diferencia entre ambos consiste en que mientras uno está formado por dos átomos de oxígeno, el otro lo está por tres.

Además el O_2 posee un enlace doble entre los dos átomos de oxígeno, y el O_3 tiene un doble enlace entre el átomo central y uno de los átomos de los extremos y un enlace sencillo entre el átomo central y el otro extremo. Estas dos diferencias provocan que ambos compuestos tengan propiedades diferentes que van desde la densidad al hecho de que el ozono absorba las radiaciones más peligrosas procedentes del sol.

El ozono es una molécula que está compuesta por tres átomos de oxígeno y posee un efecto irritante para las personas cuando lo respiran. Afortunadamente se encuentra principalmente en una capa superior de la atmósfera y no donde nos pueda afectar.

V

BIOQUÍMICA

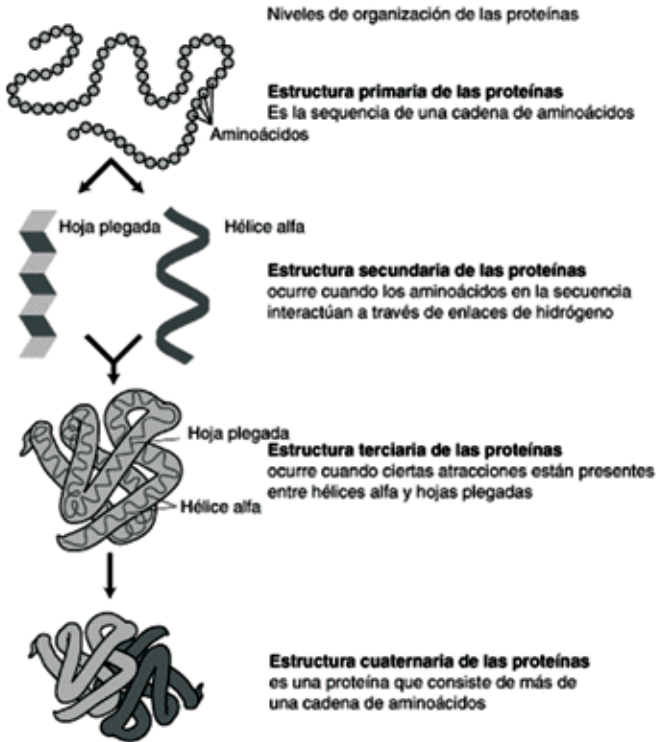
47

¿NECESITO INGERIR HIDRATOS DE CARBONO Y GRASAS EN MI DIETA?

Es habitual escuchar hablar de que es conveniente tener una dieta sana y a continuación preguntarnos si debemos incluir hidratos de carbono y grasas en estas dietas o si deberíamos suprimirlos por completo. Tanto los hidratos como las grasas son moléculas fundamentales en la bioquímica y a continuación vamos a describir sus funciones.

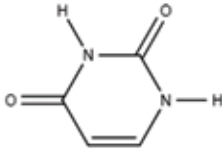
Comenzando por los hidratos de carbono, debemos señalar que estas moléculas son conocidas también por otros nombres como glúcidos, carbohidratos o azúcares. Muchas veces para describirlos se recurre a la unidad de azúcar. En este caso se trata de una cadena carbonada que posee un grupo carboxilo (es decir, un átomo de oxígeno unido mediante doble enlace a un carbono) y uno o varios grupos hidroxilo ($-OH$ unido a carbono). La cadena puede tener de tres a siete carbonos. La más conocida de estas estructuras es la glucosa (que posee seis carbonos y por tanto, es una hexosa) y es importante señalar que puede poseer forma de cadena lineal o cíclica, gracias a la condensación entre el carbono unido a oxígeno

4. Estructura cuaternaria. Finalmente, esta estructura se obtiene únicamente cuando la proteína está formada por más de una cadena polipeptídica, ya que las proteínas pueden estar formadas por una única cadena polipeptídica o varias de estas cadenas, y la estructura cuaternaria refleja las interacciones entre ellas.



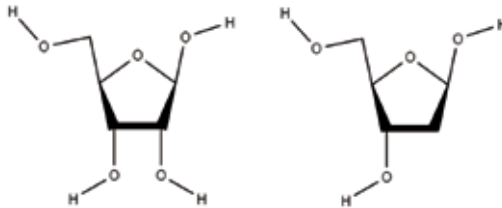
Se presentan los cuatro niveles de representación de la estructura de las proteínas. La imagen titulada «Estructura de las proteínas» es cortesía del *National Human Genome Research Institute* (Estados Unidos) y es contenido libre y de dominio público.

Cabe señalar la importancia de la estructura tridimensional de las proteínas, ya que cuando se habla de haber desnaturizado una proteína lo que se ha cambiado es precisamente esta distribución espacial y la proteína ya no es capaz de cumplir con sus antiguas funciones.



Estructura de la base nitrogenada uracilo que se encuentra en las cadenas de ARN

Otra de las diferencias que podemos encontrar entre el ADN y el ARN está en el azúcar que forma parte de cada uno; mientras que en el ADN se trata de una desoxirribosa, en el ARN es una ribosa. Además, el ARN posee un peso molecular menor al ADN ya que está compuesto por un número menor de pares de bases nitrogenadas. Pero la principal diferencia entre ambas moléculas la encontramos en un hecho importante de su estructura: mientras que el ADN posee una estructura de doble cadena, el ARN está formado por una cadena sencilla.

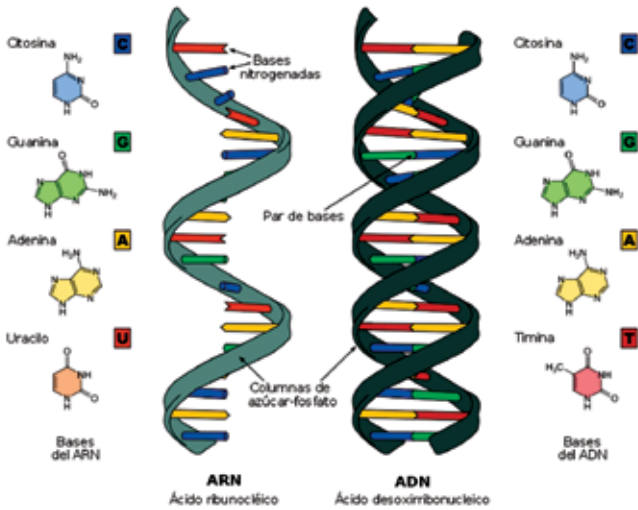


Estructuras de la ribosa (izquierda) y la desoxirribosa (derecha). La ribosa forma parte del ARN y la desoxirribosa del ADN. La diferencia entre ambas moléculas estriba en que la desoxirribosa posee un grupo $-OH$ menos.

De igual modo que en el ADN, la estructura del ARN se puede describir en diversos niveles tales como:

1. Estructura primaria. Se trata del orden lineal que poseen los nucleótidos en la molécula de ARN. Las otras dos estructuras del ARN (secundaria y terciaria) son consecuencias de esta.
2. Estructura secundaria. En las cadenas de ARN existen regiones complementarias que pueden interactuar de manera que dan forma a una serie de plegamientos que definen la estructura secundaria de esta molécula. Es decir, esta estructura está definida por las interacciones entre distintas zonas del ARN que provocan que haya zonas con apareamiento de bases.

3. Estructura terciaria. Es la representación más realista de esta molécula ya que es tridimensional, y se deduce en base a las interacciones en el espacio de todos los átomos que forman el ARN. Supone un grado de complejidad mayor a la estructura secundaria e incluye los apilamientos tridimensionales de la cadena de ARN.



En el diagrama se comparan las estructuras del ADN y del ARN y se observan algunas de sus principales diferencias. Mientras que en el ADN las bases nitrogenadas son la citosina, la guanina, la adenina y la timina, en el ARN la timina se sustituye por el uracilo; y mientras que el ADN está compuesto por una doble cadena que forma una estructura de doble hélice en la que las bases nitrogenadas interactúan entre ellas mediante enlaces de hidrógeno, en el ARN la estructura es de cadena simple (y por lo tanto las bases nitrogenadas no interactúan entre ellas). La imagen se titula «Comparación de una cadena sencilla de ARN con una doble hélice de ADN con sus correspondientes bases nitrogenadas», su autor es Spunk y el archivo se encuentra bajo licencia Creative Commons Genérica de Atribución/Compartir-Igual 3.0.

Es importante citar que además el ARN posee diversos tipos que responden a las diferentes funciones que esta molécula puede realizar:

1. El ARN nucleolar (ARNn), que se sintetiza y se encuentra en una parte del núcleo conocida como nucléolo. Es el precursor de la mayoría del ARN ribosómico.

de lo previsto? Además las células que se emplean, al proceder de un individuo adulto, poseen algunas limitaciones que se transmiten al clon. Además, los debates sobre la posible clonación humana no han sido resueltos; por ejemplo, para poder realizar clonación terapéutica (la reproducción únicamente de un órgano) se necesitan destruir embriones humanos, y para parte de la sociedad los embriones ya son seres humanos y esto provoca un conflicto con sus ideas sociales y religiosas.

Y mientras ambos debates progresaban, la oveja Dolly fue sacrificada. Era el año 2003 y el animal tenía únicamente seis años de edad, cuando la media de supervivencia para su especie se encuentra entre los once y doce años. Dolly fue sacrificada debido a que poseía un tumor pulmonar, además se señaló que padecía artritis. Pero los defensores de la clonación alegaron que ambos procesos no estaban relacionados con la clonación, ya que otras ovejas del mismo rebaño que no habían sido clonadas también padecían los mismos problemas. El problema pulmonar que padecía, conocido como Jaagsiekte, es, según muchos estudios, habitual en las ovejas estabuladas, es decir, de las que viven en establos. Por lo que el sacrificio de Dolly no reveló si los problemas provenían de la clonación o se debían a las condiciones ambientales en las que vivía.



La oveja Dolly expuesta en el Museo Nacional de Escocia en 2016. Su nacimiento fue un hito histórico para la ciencia. Sin embargo, su vida creó algunas incógnitas en las que los científicos siguen trabajando. *Dolly at the National Museum Scotland*, de M J Richardson. Archivo bajo licencia Creative Commons (cc-by-sa/2.0).

VI

QUÍMICA ANALÍTICA

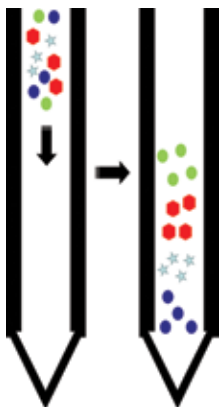
59

¿EUREKA? ¿ES POSIBLE MEDIR CORRECTAMENTE EN QUÍMICA?

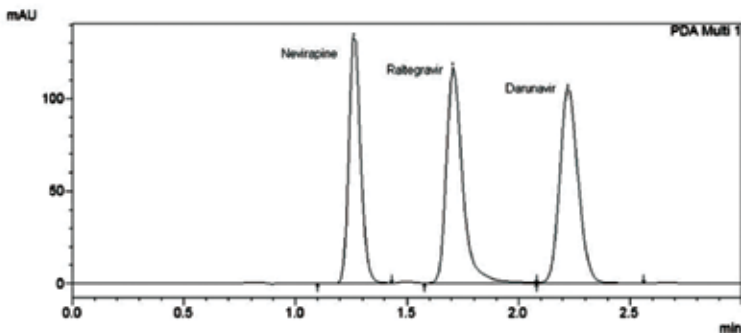
Existe una leyenda sobre la antigüedad que relata lo ingeniosas que deben llegar a ser las personas que se dedican a cuantificar en química, lo que hoy se conoce como química analítica. De acuerdo con esta historia, en el siglo III antes de Cristo hubo un rey, Hierón II de Siracusa, que ordenó que le forjasen una corona de oro. Cuando la recibió tuvo dudas respecto a si se había empleado todo el oro que había entregado al orfebre o si este había decidido mezclarlo con otro metal y quedarse con una cierta cantidad del oro. Entonces, Hierón II se puso en contacto con Arquímedes (287 a. C.-212 a. C.) y le pidió que resolviese el enigma.

La diferencia entre la corona de oro puro y la adulterada se encontraría en la densidad (que es la relación entre la masa de un objeto y su volumen), ya que el valor de esta propiedad en el oro es muy elevado y si se hubiese mezclado con otros materiales sería más bajo. Pero la determinación de la densidad requiere conocer, además del peso del cuerpo, su volumen. La corona poseía una forma irregular, y por tanto no se podía calcular su volumen de

de la mezcla que se estudia. El líquido vertido en la parte superior de la columna va cayendo por gravedad y arrastrando los componentes de la mezcla. La fase móvil que sale de la columna se recoge en diferentes matraces (llamadas fracciones) que luego se mezclarán si contienen el mismo componente de la mezcla, obteniéndose el compuesto puro.



Para separar los componentes de una mezcla mediante una columna cromatográfica se rellena la columna de una fase estacionaria (suele ser sílice) y en la parte superior se coloca la mezcla. Entonces se comienza a hacer pasar el disolvente (o mezcla de disolventes) que se ha observado que puede lograr la separación (parte de la izquierda de la figura). Conforme los compuestos de la mezcla interactúan con el disolvente y con la fase estacionaria, comienzan a separarse (como se observa en la parte derecha de la figura) y pueden ir recogiendo junto al disolvente en pequeñas fracciones donde cada compuesto aparecerá por separado.



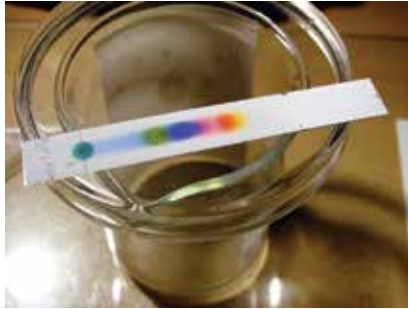
Se presenta un cromatograma obtenido en el que se observa que se obtienen tres sustancias separadas mediante HPLC: nevirapina, raltegravir y darunavir. Se trata de tres fármacos empleados en el tratamiento del VIH.

El área de cada pico es proporcional a la concentración del compuesto.

Para saber qué concentración hay de cada uno debería realizarse una recta patrón con concentraciones conocidas y extrapolar el valor del área de los picos de la muestra que se pretende cuantificar. La imagen ha sido elaborada por Estan-Cerezo, G., et al. A rapid validated UV-HPLC method for the simultaneous determination of the antiretroviral compounds darunavir and raltegravir in their dosage form. *Rev Esp Quimioter* 2017; 30 (3): 183-194.

El proceso se basa en las interacciones entre los componentes de una mezcla y una fase móvil y una fase estacionaria. Es decir, la muestra se deposita sobre la fase estacionaria (que es fija) y se comienza a pasar un flujo de disolvente o mezcla de disolventes (fase móvil). Cómo interactúen los diferentes compuestos presentes en la mezcla provocará que avancen gracias a la fase móvil, o que se retengan gracias a la fase estacionaria. El resultado global será que el avance a mayor o menor velocidad provocará la separación deseada.

Los diferentes elementos de la muestra pueden salir completamente separados, ligeramente solapados o completamente solapados. Cambiando la fase móvil o la fase fija, las interacciones con la materia serán diferentes y por tanto se podrá mejorar la separación de los diversos componentes de la mezcla.

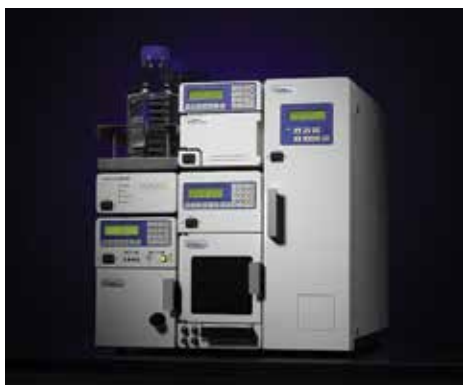


La cromatografía de capa fina (o TLC) permite saber el número mínimo de compuestos que aparecen en una mezcla y, empleando diferentes eluyentes, es posible saber qué mezcla hay que utilizar para separar completamente los componentes de la mezcla empleando una columna cromatográfica. En la imagen se ha separado tinta negra y se pueden observar sus diferentes componentes. *Separation of black ink on TLC plate*, de Natrij y el archivo se encuentra bajo licencia Creative Commons Genérica de Atribución/Compartir-Igual 3.0.

La cromatografía más sencilla es la llamada cromatografía de capa fina. Este experimento consiste en depositar una gota de la muestra (generalmente diluida) que se quiere separar sobre una placa de gel de sílice (fase estacionaria). Una vez seca se coloca verticalmente, de manera que la parte interior esté en contacto con un líquido (generalmente una mezcla de disolventes orgánicos) que se conoce como fase móvil y que asciende por capilaridad a través de la placa de gel de sílice. Algunos de los componentes serán

arrastrados con mayor intensidad que otros y entonces se observará una dispersión a lo largo del camino ascendente de la fase móvil. Posteriormente será necesario evaluar la presencia de las sustancias de la mezcla. Una de las formas más habituales la encontramos en colocar la placa bajo una luz ultravioleta que colorea muchas de las sustancias orgánicas, o bien usar un revelador, que es una sustancia que se colorea cuando entra en contacto con otras sustancias determinadas.

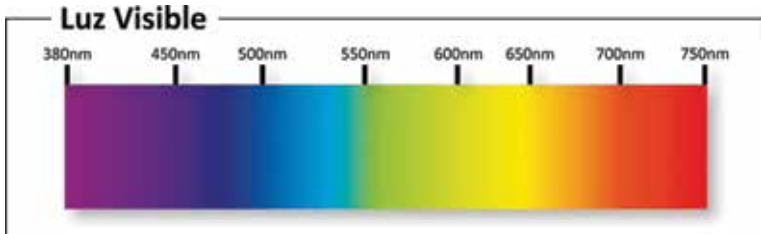
Aunque existen otras cromatografías (como la de gases, en la que la muestra se volatiliza), la técnica cromatográfica más conocida y empleada es el HPLC (de las siglas en inglés *High Performance Liquid Chromatography*, que significan cromatografía líquida de alta eficacia). En este caso, la muestra se coloca en un equipo que inyecta una alícuota sobre un torrente de fase móvil que atraviesa una columna cromatográfica, tras la cual se encontrarán los detectores, que son los encargados de comunicar la señal de la presencia de cada una de las sustancias.



Los equipos de HPLC son sofisticados sistemas que separan los componentes de una mezcla y mediante un detector representan una señal en función del tiempo de elución (es decir, desde que se introduce la muestra en el caudal del equipo). Son uno de los principales sistemas empleados para cuantificar compuestos orgánicos. *Cromatógrafo Líquido JASCO Brasil*, de Jascobrasil y se encuentra bajo licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

En este caso, cada sustancia llegará al detector en un tiempo determinado. Eso se conoce como tiempo de retención. La señal obtenida en el detector tan solo se puede correlacionar con un compuesto determinado si previamente se ha introducido esa

Pero la clave para conocer la composición de otros planetas o estrellas consiste en analizar los espectros de absorción o emisión mediante un espectroscopio de la luz que recibimos de las estrellas. Incluso para los planetas del sistema solar, de los que sí recibimos un haz de luz que es la que rebota procedente del sol. Al descomponer la luz blanca en todas las longitudes de onda que la componen obtendremos todo el espectro visible, es decir, se obtendría un arcoíris formado por todos los colores del espectro visible.



La luz visible incluye los diferentes colores en función de la longitud de onda. *Espekto ikuskorra*, de Ziortza Agirrezabala. El archivo se encuentra bajo licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International.

Al hacerlo con la luz que proviene de las estrellas se obtendrán todos los colores, pero es posible que aparezcan algunas bandas negras. Estas bandas negras se corresponden con las energías de los electrones de algunos elementos químicos que al recibir el impacto del haz de luz reciben esa energía y se excitan (lo que quiere decir que aumentan su nivel energético). Entonces, esa banda a una determinada longitud de onda desaparece y en su lugar se observa una línea negra en el espectro (lo que se conoce como espectro de absorción). Gracias a este espectro podemos conocer la composición de una atmósfera que ha sido atravesada por la luz de la estrella.

Asimismo, existe otro fenómeno conocido como espectro de emisión que provoca que cuando se descompone un haz de luz solo aparezcan algunas longitudes de onda (es complementario al espectro de absorción). Estas líneas también son características de cada compuesto. Esto puede provocar que al descomponer la luz que incide desde las estrellas, algunas líneas aparezcan más brillantes que las que le rodean. Con este espectro podemos conocer la composición de la estrella que emite la luz.

VII

QUÍMICA FÍSICA Y CUÁNTICA

70

¿DEBEN LOS BUCEADORES IR HACIENDO PARADAS CUANDO ASCIENDEN?

Una de las prácticas deportivas más de moda actualmente la encontramos en el buceo. Además, existen algunas profesiones donde realizar inmersiones submarinas forma parte del día a día. Todo el mundo sabe que los buceadores deben ir realizando paradas conforme ascienden de vuelta a la superficie. Pero ¿por qué esto es así?

Se debe a la llamada Ley de Boyle, también conocida como Ley de Boyle-Mariotte, en honor de dos científicos que la formularon de manera independiente a mitad del siglo xvii: el británico Robert Boyle y el francés Edme Mariotte. Esta ley señala que «a temperatura constante, el volumen de una masa fija de gas es inversamente proporcional a la presión que este ejerce», es decir, que si la presión a la que está sometido el gas aumenta, su volumen disminuye; por el contrario, si la presión disminuye, el volumen del gas se incrementa.

Es importante señalar que la presión es mayor dentro de un líquido, como el agua, que la presión atmosférica y que esta aumenta conforme descendemos dentro del líquido. Es decir, cuanto

VIII

MATERIALES

79

¿ABRIR EL FRIGORÍFICO DESCALZO ENTRAÑA ALGÚN PELIGRO?

Una noche de verano hace mucho calor y tienes sed. Te levantas de la cama y caminas hasta el frigorífico para beber agua fría. Tocas el electrodoméstico y recibes una descarga eléctrica. Esta posibilidad existe, ya que el cuerpo humano es un buen conductor de la electricidad gracias principalmente al agua que forma parte de nuestro cuerpo y que posee muchos iones disueltos (que son los responsables de la conductividad eléctrica del H_2O).

La corriente eléctrica puede conducirse de diversas maneras: en los sólidos a través de sustancias que poseen una libertad de movimiento para sus átomos y en líquidos gracias a la presencia de iones que se mueven dentro de la disolución acuosa. Por tanto, la electricidad en el caso del frigorífico puede desplazarse a través de las partes sólidas del electrodoméstico que conducen la corriente, mientras que en el ser humano puede hacerlo gracias al agua que contiene nuestro cuerpo y los iones disueltos que se encuentran en ella.



Para describir el comportamiento eléctrico de los materiales se recurre a la teoría de bandas. Un material será aislante cuando la banda de valencia (donde se encuentran los electrones) y la banda de conducción (el nivel energético al que deben pasar para conducir la electricidad) estén separados por una banda prohibida que impida el paso de los electrones. Cuando esa banda sea menor y sea posible lograr el paso parcial de los electrones estaremos ante un semiconductor, y cuando no exista la banda prohibida tendremos un material conductor de la electricidad.

Existen dos tipos de semiconductores: los intrínsecos y los extrínsecos. Los primeros son materiales casi puros que poseen el carácter de semiconductor por sí mismos, mientras que los extrínsecos son elementos que poseen un cierto porcentaje de impurezas que alteran las distancias entre la banda de valencia y la de conducción y facilitan el paso de los electrones. Existen a su vez, dentro de esta segunda clase, dos tipos de semiconductores: los tipo N y los tipo P.

Los tipo N poseen impurezas «donadoras», es decir, que poseen un mayor número de electrones que la sustancia mayoritaria y esos electrones favorecen la conducción de la electricidad. Si nos imaginamos, por ejemplo, una matriz de átomos de germanio (que posee cuatro electrones en su última capa), un elemento que podría donar electrones lo tenemos en el fósforo ya que posee cinco electrones en su última capa. Por tanto, el electrón extra podría moverse con un mayor grado de libertad. También podemos imaginar que la incorporación de estas impurezas cambia el diagrama de bandas para el material y añade líneas que pueden encontrarse en la banda prohibida facilitando el tránsito desde la banda de valencia hasta la banda de conducción. Este primer tipo de semiconductores extrínsecos es fácilmente entendible.

Sin embargo, para entender el funcionamiento de los semiconductores tipo P debemos emplear un poco más nuestra imaginación. En este caso se emplean sustancias «ceptoras», como impurezas que poseen un menor número de electrones que la sustancia principal. Si de nuevo recurrimos al germanio y sus cuatro

En geología, la dureza se define como la capacidad de un material para resistir el rayado. Alrededor del siglo XIX, un geólogo alemán llamado Friedrich Mohs (1773-1839) estableció una escala para describir esta propiedad en los diferentes minerales que examinaba. Hoy se conoce como escala de Mohs y se sigue utilizando. Se trata de un sistema muy simple, Mohs eligió diez minerales y les asignó valores de 1 a 10 en función de si eran capaces de rayarse entre sí o no. Es decir, una sustancia con un valor más alto (por lo tanto, dura) podría rayar todas las que poseen valores más bajos (es decir, más blandas). Un mineral con un valor de 3 en la escala, por ejemplo, no podría rayar otro que tenga un valor de 6. El valor más bajo de la escala, el 1, le fue asignado al talco y el más alto, el 10, al diamante. No se conoce ninguna sustancia capaz de rayar un diamante, excepto otro diamante. Ni siquiera Chuck Norris.

Dureza	Mineral	Composición	Observaciones
1	Talco	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Se puede rayar fácilmente con la uña
2	Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Se puede rayar con la uña con dificultad
3	Calcita	$CaCO_3$	Se raya con una moneda de cobre
4	Fluorita	CaF_2	Se puede rayar con un cuchillo de acero
5	Apatito	$Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F)$	Se puede rayar con el cuchillo de acero con dificultad
6	Ortoclasa	$KAlSi_3O_8$	Se puede rayar con una lija para acero
7	Cuarzo	SiO_2	Raya el vidrio
8	Topacio	$Al_2SiO_4(OH, F)_2$	Se raya con herramientas de carburo de wolframio
9	Corindón	Al_2O_3	Se raya con herramientas de carburo de silicio
10	Diamante	C	Solo se raya con otro diamante

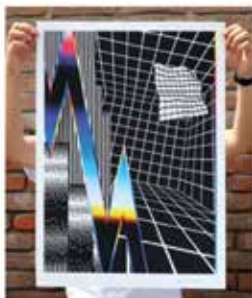
tabla. Se presenta la escala de Mohs y se añaden algunos comentarios para facilitar la comprensión de su utilidad. En el caso del mineral apatito se observa entre paréntesis (OH, Cl, F), ello se debe a que puede tener cualquiera de los tres aniones, lo que dará lugar a tres subespecies: hidroxiapatita, clorapatita y fluorapatita, respectivamente. En el caso del topacio aparece entre paréntesis (OH, F)₂ debido a que este mineral puede tener una elevada variación de ambos aniones manteniendo siempre constante la suma total de aniones.

el volumen de estas sustancias sea transparente? ¿Cómo es posible que seamos capaces de ver a través de los átomos que conforman esa materia?

Debemos realizar una anotación previa, y es que no debemos confundir transparente con incoloro. El agua líquida es transparente e incolora. Pero, por ejemplo, una disolución acuosa que contenga un colorante puede ser coloreada pero mantener su carácter de transparente.

En primer lugar, deberíamos entender la importancia de la luz para la visión. Cuando no hay luz, nuestros ojos no reciben ninguna longitud de onda y por ello lo vemos todo negro. Cuando sí hay luz y observamos los objetos que nos rodean de diferentes colores, se debe a que los objetos, por ser de un determinado material o estar recubiertos de alguna pintura, absorben todas las longitudes, excepto la del color que observamos. Estos materiales que no dejan pasar la luz se conocen como opacos.

Existe un estado intermedio para un objeto que no es ni transparente ni opaco y que se conoce como traslúcido y que hace referencia a aquellos objetos que dejan pasar la luz (o al menos parte de ella) pero no permiten que los objetos colocados al otro lado de ellos se observen con nitidez.



A la derecha tenemos un objeto opaco ya que no deja pasar la luz. En este caso se trata de una obra de arte titulada *Optichromie 69* del artista Felipe Pantone.

A la izquierda, tenemos un objeto traslúcido ya que, aunque la luz se observa, no es posible observar nítidamente los objetos que hay al otro lado. La escultura se titula *Concentration Camp*, es obra del americano Steve Tobin y se encuentra expuesta en el National Liberty Museum de Filadelfia (Estados Unidos).

Y finalmente, cuando un objeto es transparente se debe a que deja pasar la luz, es decir, permite que los haces de luz lo atraviesen sin problema alguno y es posible observar nítidamente objetos al

otro lado de ese material. Pero ¿por qué motivo la luz atraviesa estos materiales sin esfuerzo?

Se debe a su estructura electrónica, o concretamente a la energía que requieren los electrones de un material para ser excitados. Los electrones de un material pueden saltar de un orbital a otro tan solo con la recepción de una energía determinada (que se relaciona con la longitud de onda del fotón). No sirve cualquier longitud de onda para excitar un electrón.

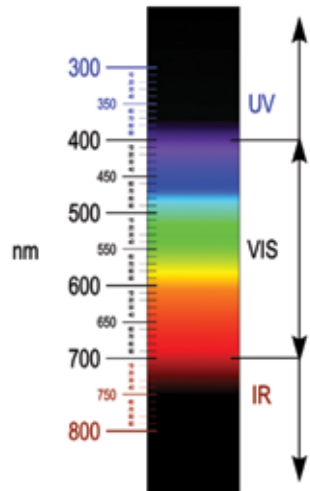
Cuando un haz de luz (que contiene fotones) incide sobre un material, los fotones entran en contacto con los electrones del material. Si la longitud de onda de estos fotones coincide con alguna de las longitudes de onda que excitan a los electrones del material, provocan la excitación del electrón y se consumen. Si por el contrario su longitud de onda no coincide con ninguna longitud de onda, el fotón prosigue su camino. Si no se encuentra con ningún material que posea electrones que puedan ser excitados, el fotón atraviesa completamente el material y estaríamos ante un material transparente.

Esta explicación se basa en la luz visible (que son radiaciones con longitudes de onda entre 400 y 700 nm), pero también es aplicable para radiaciones ultravioleta (por debajo de los 400 nm) o infrarrojas (por encima de los 700 nm). Por eso hay sustancias que protegen de la luz ultravioleta, que absorben estas radiaciones gracias a que sus electrones se excitan cuando reciben fotones con esas longitudes de onda.

La luz visible posee longitudes de onda entre los 400 y los 700 nm. Por debajo de estas longitudes de onda nos encontramos con los rayos ultravioletas y por encima con los infrarrojos. La

longitud de onda es inversamente proporcional a la energía. Por ello, los rayos ultravioletas son más energéticos (y más peligrosos para nosotros que la luz visible o los infrarrojos). Imagen titulada

Visible light spectrum with precise colors attribution. Autor: Fulvio314. El archivo está disponible bajo la licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional.



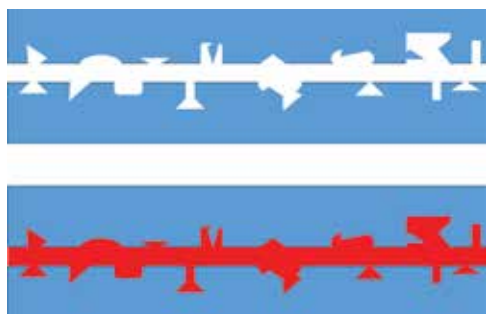
Tal vez el caso del agua requiere que se realicen algunos comentarios particulares. En primer lugar, el agua líquida es transparente, pero puede presentar color si añadimos partículas en disolución. Ello se debe a que estas partículas absorben algunas longitudes de onda y emiten otras, pero la luz consigue atravesar la disolución y continúa manteniendo su carácter transparente. Si lo que posee son partículas en suspensión (que son pequeñas partículas no solubles), el agua tampoco será transparente sino que en función de la cantidad de partículas puede ser translúcida u opaca. Otro ejemplo de sustancia transparente pero coloreada lo encontramos en el aceite. En este caso se debe a que las propias moléculas del aceite son capaces de absorber algunas radiaciones y emitir otras.

En segundo lugar, cuando se trata de hielo (agua sólida) la mayoría de bloques pierden su carácter de transparente. Ello se debe a que, en general, elaboramos el hielo con agua del grifo que posee impurezas. Cuando el agua se congela, las impurezas (tanto partículas sólidas disueltas como gases disueltos) huyen de la parte sólida y se concentran en la parte líquida. Al final, todo el bloque se congela y las partículas, ya sean impurezas sólidas o pequeñas burbujas de aire, hacen rebotar los haces de luz, ya que cuando cambian de un medio a otro (por ejemplo, de un sólido a un líquido) se produce un cambio en el índice de refracción del medio y los haces desvían su trayectoria. Gracias a ello los fotones no pueden atravesar el bloque directamente, mostrando el carácter translúcido que hemos comentado previamente para el hielo.



El hielo puede tener carácter de transparente, translúcido u opaco (color blanco). En la imagen se observa el carácter translúcido. La imagen titulada *Bloque de hielo en una playa cercana a Jökulsárlón, Islandia* es obra de Andreas Tille y se encuentra bajo licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Una de las teorías más estandarizadas respecto al mecanismo mediante el cual se produce la adhesión es que, durante la reacción química que se produce en estas sustancias, rellenan los huecos superficiales de una y otra sustancia, y al convertirse el adhesivo en una sustancia sólida evita que las otras sustancias se puedan separar fácilmente. En este caso estaríamos ante una unión puramente física gracias a un cambio químico.



En la parte superior se observa la representación de las superficies de dos materiales con huecos de pequeño tamaño. En la parte inferior se presenta el adhesivo (en color rojo) que ha relleno los huecos y generado la unión adhesiva. Aunque a simple vista puede parecernos que dos superficies son lisas, si aumentamos la imagen podremos comprobar que existen huecos. Los adhesivos pueden introducirse en ellos antes de curar (de solidificarse) y con eso provocar que se produzca la unión adhesiva.

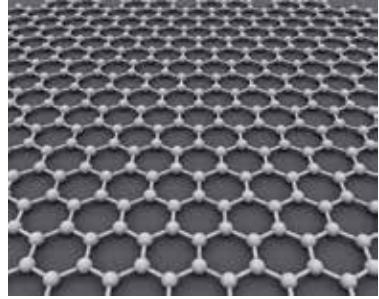
Existen otras teorías basadas en las cargas eléctricas o basadas en interacciones moleculares débiles entre los adhesivos y las sustancias que pretenden unir. Por tanto, es posible señalar que la adhesión se basa en interacciones físicas, si bien en la mayoría de casos se requiere que se produzca un cambio químico en el adhesivo.

89

¿SABES QUÉ ES REALMENTE UN PLÁSTICO?

Casi cualquier persona con solo tocar un material compuesto por lo que llamamos plástico podría identificarlo. Pero lo que comúnmente nombramos con ese término responde a una

El grafeno está compuesto por una lámina de átomos de carbono que se estructuran formando hexágonos. *Lámina de grafeno*, de AlexanderALUS y el archivo se encuentra bajo la licencia Creative Commons Genérica de Atribución/Compartir-Igual 3.0.



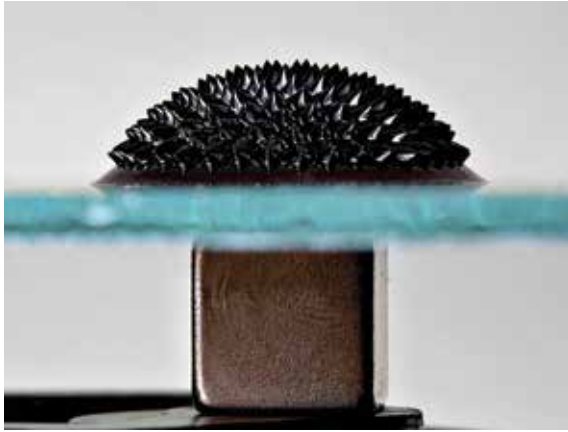
Cabe señalar que la investigación sobre este material ha sufrido una explosión desde 2004, cuando Andre Geim y Kostya Novoselov, de la Universidad de Manchester, describieron la primera capa individual de átomos de carbono. Ambos recibieron el Premio Nobel de Física por este descubrimiento en 2010.

Además, la Unión Europea puso en marcha en 2013 un programa de investigación sobre este material dotado con mil millones de euros para lograr su desarrollo e implementación. Se conoce como el Graphene Flagship y se espera que sus resultados sean presentados en 2025.

De momento, de esta molécula se han descrito un gran número de propiedades que han creado elevadas expectativas en cuanto a sus posibles aplicaciones. Por ejemplo, el hecho de que sea flexible y transparente conlleva que pueda ser utilizado en la creación de pantallas táctiles flexibles que se puedan enrollar. Pero existen otras muchas áreas donde este material puede ser empleado, como en la elaboración de sensores, en electrónica o en fotónica, además de en la elaboración de composites (es decir, en materiales compuestos en los que se añade grafeno para mejorar las propiedades iniciales de un material), por ejemplo, se ha empleado grafeno para la elaboración de chalecos antibalas menos pesados y con propiedades mecánicas mejoradas.

En particular, en cuanto a las aplicaciones tecnológicas se espera que acabe remplazando al silicio (hoy tan utilizado en la creación de chips y ordenadores), ya que mejora muchas de sus propiedades y es un material más eficiente (por ejemplo, se calienta menos al recibir la misma carga eléctrica). Además, los dispositivos elaborados con grafeno podrían ser elaborados con un tamaño menor que los actuales que son de silicio.

Asimismo, empleando grafeno se espera crear baterías con mucha más capacidad y menor volumen y peso que las que se



Los ferrofluidos interactúan cuando se encuentran en presencia de un imán y forman estructuras puntiagudas siguiendo las líneas del campo magnético. En la foto se observa un ferrofluido depositado sobre un vidrio que se encuentra apoyado en un potente imán. De ahí las formas puntiagudas que se observan. En los laterales de la gota es posible comprobar la forma lisa propia de la gota de líquido. Autor: Gregory F. Maxwell. *Ferrofluid on a reflective glass plate under the influence of a strong magnetic field*. El archivo se encuentra bajo licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

Pero ¿qué es exactamente un ferrofluido? Se trata de un líquido (puede ser agua o un disolvente orgánico) que posee partículas ferromagnéticas suspendidas de pequeño tamaño, también llamadas nanopartículas (cuyo tamaño se encuentra alrededor de 10 nm, es decir, $10 \cdot 10^{-9}$ m). Es necesario adicionar lo que se conoce como un surfactante para evitar que las nanopartículas se aglomeren formando partículas más grandes y precipiten.

Las nanopartículas ferromagnéticas pueden estar formadas por magnetita (que es un mineral que contiene varios cationes de hierro, cuya fórmula es $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$) o por otros minerales ferromagnéticos y que se mezclan con el líquido y el surfactante para que se suspendan sin precipitar para generar el ferrofluido.

Entonces, el líquido que posee las nanopartículas magnéticas suspendidas cuando entra en contacto con un campo magnético potente parece cobrar vida, formando las estructuras que se han comentado y variando su forma en función de los movimientos del imán. Actualmente, este tipo de sustancias poseen diversas aplicaciones que abarcan desde aplicaciones biomédicas como

NANOTECNOLOGÍA

92

¿PODEMOS ESCRIBIR LOS 24 VOLÚMENES ENTEROS DE LA ENCICLOPEDIA BRITÁNICA SOBRE LA CABEZA DE UN ALFILER?

En 1959, el físico estadounidense Richard Feynman (1918-1988) pronunció un discurso que fue recibido con escepticismo y que pasaría desapercibido durante los siguientes veinte años. Sin embargo, hoy está considerado el nacimiento de la nanotecnología.

Feynman ofreció su disertación el 29 de diciembre de 1959 en la reunión de la Sociedad Americana de Física bajo el título *There's Plenty of Room at the Bottom* ('Hay bastante sitio al fondo', sería su traducción). Entre otras, el científico planteó la cuestión que da pie a este capítulo: ¿por qué no podemos escribir los 24 volúmenes enteros de la Enciclopedia Británica sobre la cabeza de un alfiler?

En un momento en que los pocos ordenadores existentes ocupaban habitaciones enteras, Feynman propuso el trabajo a escalas mucho menores, en términos nanométricos (un metro está compuesto por 1 000 000 000 nanómetros) y defendió que ello conllevaría importantes ventajas. Por ejemplo, la posibilidad de almacenar gran cantidad de información en muy poco espacio



Las vidrieras de las catedrales medievales son uno de los ejemplos más conocidos de las diferencias en las propiedades de la materia en función del tamaño de partícula. La autora de la fotografía es Evelyn Simak y el archivo se encuentra bajo licencia Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0 Generic (CC BY-SA 2.0).

Debemos ser conscientes de que los maestros que crearon estas vidrieras desconocían que las propiedades de las sustancias que emplearon estaban basadas en el tamaño de sus partículas. Solamente ahora poseemos los suficientes conocimientos tecnológicos como para determinar la composición exacta del material o el propio tamaño de sus partículas. Pero ello no impide que a esos antiguos artesanos se les pueda señalar como pioneros e incluso como investigadores, ya que obtener estas sustancias les costó muchos esfuerzos e intentos a base de prueba y error.

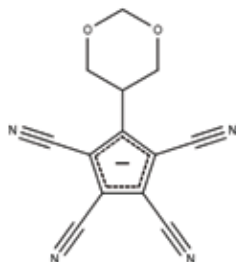
94

¿EL BALÓN DE FÚTBOL MÁS PEQUEÑO DEL UNIVERSO?

Previamente hemos hablado de algunas de las formas alotrópicas del carbono, pero esta cuestión va a centrarse en dos de las que más fama han cogido en las últimas décadas: los nanotubos y los fullerenos.

Los nanotubos fueron descritos por el científico japonés Sumio Iijima en 1991. Aunque ya había referencias previas que indicaban que estos compuestos podían existir, no fue hasta ese año cuando

Pero el mundo de los nanoptienses es, además, un mundo con un gran poder mágico, como demostraron otros investigadores con el descubrimiento del NanoDuende (y sus poderes como catalizador).



El NanoDuende posee una carga negativa deslocalizada en el anillo de cinco átomos de carbono (que posee dos enlaces dobles), por lo que requiere de un catión (compuesto con una carga positiva) para compensar las cargas y que el resultado global sea neutro.

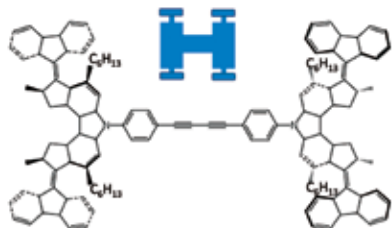
¿Qué más nos puede enseñar esta diminuta realidad? Estos trabajos nos recuerdan que la ciencia puede ser de lo más divertida, lo que resulta fundamental para su divulgación y para fomentar las vocaciones científicas entre niños y niñas.

96

¿UN COCHE MÁS PEQUEÑO QUE UN 600?

La nanotecnología ha cosechado un elevado número de Premios Nobel de Química durante los últimos años. Uno de ellos fue otorgado en 2016 a tres investigadores: Ben Feringa, Jean-Pierre Sauvage y Fraser Stoddart. El máximo galardón científico les fue entregado por haber diseñado «máquinas moleculares».

En el caso del holandés Feringa, una de sus más conocidas publicaciones hace referencia al diseño de un nanocochete, siendo este de un tamaño de nanómetros, es decir, mil millones de veces más pequeño que el mítico modelo 600 de la marca Fiat.



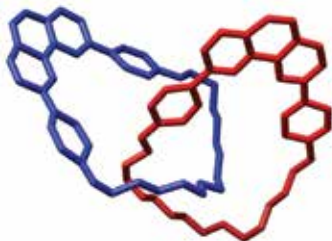
Representación del nanocochete diseñado por Feringa. Sobre la molécula se presenta un esquema para comprender mejor la disposición de las ruedas y el resto de elementos de esta estructura.



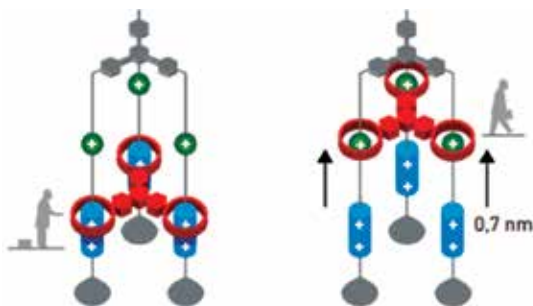
Esquema de los catenanos (izquierda) y de los rotaxanos (derecha). Por un lado, los catenanos forman estructuras similares a una cadena formada por diversos eslabones que se encuentran entrelazados sin poseer ningún enlace químico entre ellos. Mientras que los rotaxanos poseen la forma de una mancuerna en cuyo eje se encuentra otra subestructura atómica que está bloqueada en los extremos (por lo que no puede salirse de la estructura del rotaxano) pero que posee libertad de movimiento a lo largo del eje.

Uno de los diseños más simples (y más antiguos) son los llamados catenanos. Estas moléculas se asemejan a una cadena (y de ahí su nombre) y su estructura se forma gracias a que dos o más macrociclos están entrelazados, si bien entre ellos no media enlace alguno. Estas moléculas fueron sintetizadas por Sauvage ya en 1983. Se han diseñado muchas estructuras de este tipo, por ejemplo, uniendo cinco anillos de manera que se asemeje al símbolo de los juegos olímpicos (este compuesto es conocido como olimpiadano) o entrelazando un buen número de macrociclos de manera que parezca una cadena. Estas moléculas no realizan un movimiento determinado (por lo que no podrían ser consideradas máquinas moleculares) pero gracias a ellas se dieron grandes pasos hasta lograr el desarrollo de las llamadas máquinas moleculares. Es importante tener en cuenta que la síntesis de estas máquinas siempre posee un elevado nivel de dificultad, y que lograr que los anillos se entrelazasen supuso un hito gracias al cual se lograrían sintetizar muchas otras moléculas como las que vamos a conocer a continuación.

Estructura de un catenano de dos eslabones sintetizado por el grupo de Sauvage. Figura dibujada por M. Stone a partir de M. Cesario, C. O. Dietrich-Buchecker, J. Guilhem, C. Pascard and J. P. Sauvage in the *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, Year 1985, Pages 244–247. El archivo se encuentra bajo licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

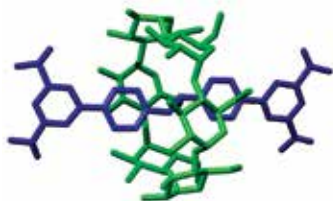


Por ejemplo, sí existen los ascensores que caben en una vena, aunque por supuesto tienen que ser ascensores moleculares. Este fue uno de los diseños de Stoddart que consiguió una molécula que se desplazaba 0,7 nm gracias a un cambio en las propiedades del medio que la rodea. Por su estética, este compuesto se asemeja a un diminuto ascensor.



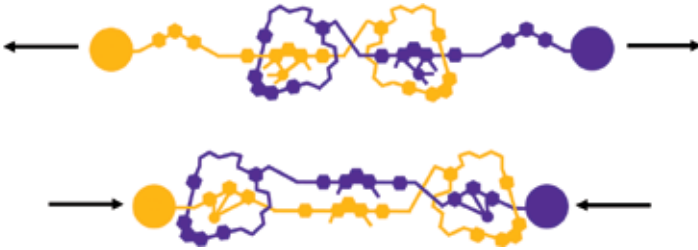
Esquema del ascensor de menor tamaño que se conoce. La imagen, tomada de la página web oficial de la Fundación Nobel, ha sido diseñada por Johan Jarnestad y el copyright es suyo y de la Royal Swedish Academy of Sciences. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2016/press-release/>

Pero para este descubrimiento, Stoddart se basó en sus diseños previos, como las moléculas conocidas como rotaxanos, que actúan como transportadores moleculares. Se basan en el movimiento de una plataforma sobre un eje gracias a las interacciones moleculares que conllevan que el rotaxano se mueva a lo largo del eje. Para ello colocó una molécula cíclica deficiente en un electrón alrededor de una cadena que poseía dos zonas ricas en electrones. Además, bloqueó los dos extremos de la cadena para que el ciclo no pudiese salir. Gracias a este diseño, la molécula con forma de anillo se movía de una a otra de estas zonas de manera sucesiva, y por lo tanto diseñó una máquina molecular.



Estructura de un rotaxano diseñado y sintetizado por Carol A. Stanier y colaboradores. Imagen generada por M stone a partir de Carol A. Stanier, Michael J. O Connell, Harry L. Anderson and William Clegg, Chemical Communications, 2001, 493. El archivo se encuentra bajo licencia Creative Commons Genérica de Atribución/ Compartir-Igual 3.0.

Los trabajos de Stoddart con los rotaxanos siguieron evolucionando y, por ejemplo, creó un músculo molecular capaz de levantar una delgada lámina de oro. De manera casi simultánea, Sauvage presentó también un trabajo que incluía el empleo de rotaxanos e incluso de su propio músculo molecular, que se contraía y estiraba como se puede observar en la figura. Esta molécula requería de un proceso de oxidación para cambiar su estructura, ya que en la forma extendida se requiere la presencia de dos átomos de cobre (I) que al oxidarse a cobre (II) ya no podían interactuar del mismo modo y la coordinación se realizaba con átomos de zinc (II). Esta diferencia se consigue debido a que el cobre (I) se coordina a través de cuatro posiciones y el zinc (II) con cinco. Para lograr este cambio, la molécula debe moverse y adaptarse, dando lugar al movimiento de contracción y estiramiento. En todas las máquinas moléculas se emplean necesidades específicas de alguna parte de la molécula para lograr que realicen el movimiento deseado.



Representación de un músculo molecular en el que dos moléculas interaccionan de manera semejante a los rotaxanos y los catenanos, es decir, sin tener ningún enlace químico entre ellas. Las dos estructuras están entrelazadas y pueden realizar un movimiento de contracción y estiramiento de manera coordinada.

Previamente en este libro, hemos descrito uno de los más famosos diseños dentro de la nanotecnología como es el del nanocoche de Feringa, pero este investigador es famoso por otros motivos, por ejemplo por el desarrollo de los motores moleculares. Estas estructuras están controladas mediante factores externos (como la luz) para conseguir que giren siempre en la misma dirección (algo como hemos dicho que no sucede en la naturaleza, donde los movimientos moleculares son siempre aleatorios). Feringa diseñó rotores que eran capaces de girar siempre en la misma dirección gracias a una inducción mediante luz y las propias condiciones de

GLOSARIO

A continuación se exponen algunos de los términos empleados para los que se puede requerir poseer ciertos conocimientos previos:

ADN: es la abreviatura empleada para nombrar al ácido desoxirribonucleico, que es el compuesto químico que contiene la información genética de todos los organismos vivos (y de algunos virus). Es el responsable de la transmisión de la información genética de padres a hijos (herencia genética). Está compuesto por nucleótidos (que son la unión de bases nitrogenadas, un monosacárido de cinco carbonos y un grupo fosfato) que se repiten miles de veces y tiene estructura de doble hélice con dos cadenas de bases nucleótidos donde las bases nitrogenadas interaccionan y se complementan unas con otras.

Afinidad electrónica: esta propiedad describe la energía liberada cuando un átomo gaseoso en su estado fundamental capta un electrón libre y se convierte en un ion negativo (carga -1). La afinidad electrónica sirve para prever qué elementos pueden generar aniones estables. Los valores de este parámetro aumentan de izquierda a derecha en la tabla periódica y de abajo hacia arriba, es decir, los elementos con mayor afinidad electrónica se encuentran en la parte derecha superior de la tabla periódica (como el oxígeno o el cloro).

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

LIBROS

- CAREY, F.A. (2006) *Química orgánica*. Madrid: McGraw Hill.
- DICKERSON, R. E.; GRAY, H. B.; DARENSBOURG, M. Y. y DARENSBOURG, D.J. (1992) *Principios de química*. Barcelona: Editorial Reverté.
- FERNÁNDEZ ÁLVAREZ, J. M. (2001) *La estadística en Química Analítica*. Pamplona: Universidad de Navarra.
- JUARISTI, E. y MANZANILLA NAIM, L. R. (2015) *La química: el funcionamiento del universo, los seres vivos y las actividades humanas*. Ciudad de México: Editorial El Colegio Nacional.
- LEVINE, I. N. (2004) *Fisicoquímica*. vol. 1. Madrid: Mc Graw Hill.
- MACARULLA, J. M.; y MARINO, A.; MACARULLA, A. (1988) *Bioquímica cuantitativa*. Barcelona: Editorial Reverté.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

ASIMOV, I. (2003) *Breve Historia de la Química*. Madrid: Alianza Editorial.

Sobre la historia de la química puedes leer este libro fantástico de uno de los maestros de la literatura: Isaac Asimov que estudia la evolución del estudio de la materia que ha realizado la humanidad desde sus inicios (con la metalurgia o la alquimia) hasta la época contemporánea del escritor (incluyendo los estudios de química nuclear y las bombas atómicas).

POLICÍA NACIONAL: https://www.policia.es/org_central/cientifica/com_cientifica.html

Si quieres saber más sobre el funcionamiento de la policía científica en España basta con una visita a su página web que ofrece información muy completa y a la que se puede acceder de manera muy sencilla. Incluye un apartado de actuaciones relevantes donde desgranar su labor en diversos casos algunos de ellos muy mediáticos.