

Principios de química



Dmitri Mendeleev · 1903

Audilecciones ilustradas

Lecturized

Principios de química

Audiolecciones ilustradas

Dmitri Mendeleev · 1903

Contado como lecciones ilustradas por Lecturized
lecturized.com

Del original: Д. И. Менделеев, Основы химии, 7-е изд. (С.-Петербург, 1903)

Índice

Introducción

Introducción

Introducción

Introducción

Introducción

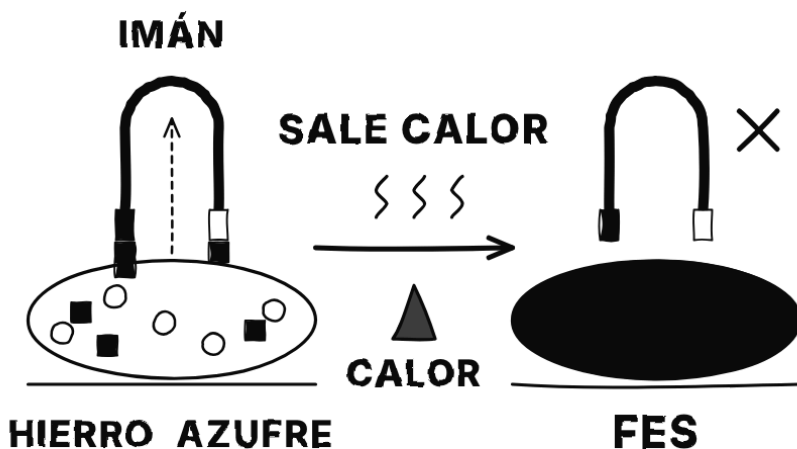
Introducción

Introducción

Introducción

Introducción

Al empezar a desarrollarse rápidamente desde la época de Galileo (muerto en 1642) y de Newton (muerto en 1727), el estudio del mundo exterior separó la química como una rama especial de la filosofía natural, no solo por el creciente número de observaciones y experimentos relativos a la transformación de las sustancias, sino sobre todo porque, además de la gravitación, la cohesión, el calor, la luz y la electricidad, se hizo necesario reconocer en todas las partes más pequeñas de cada sustancia y de cada cuerpo de la naturaleza unas fuerzas internas especiales, que actúan claramente cuando unas sustancias se transforman en otras, pero que en condiciones ordinarias permanecen ocultas, y por eso no se perciben directamente y durante mucho tiempo no fueron reconocidas. El objeto inmediato de la química es el estudio de las sustancias homogéneas de las que se componen todos los cuerpos del mundo, de sus transformaciones unas en otras y de los fenómenos que acompañan a tales transformaciones. Todos los cambios químicos, que se llaman reacciones, tienen lugar solo cuando las sustancias que actúan están en contacto pleno y estrechísimo, y los determinan fuerzas propias de las partículas más pequeñas e invisibles (moléculas) de la materia.



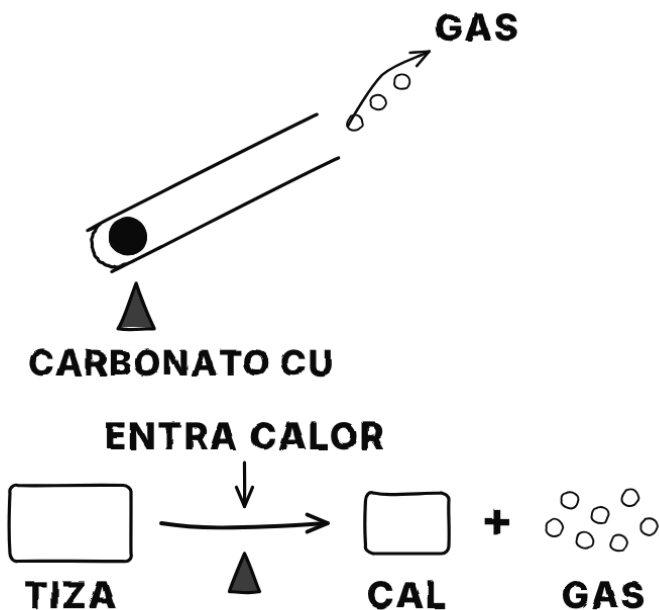
Hierro y azufre se combinan

Hay que distinguir tres clases principales de transformación química:

Primera. La combinación es una reacción en la que de dos sustancias surge una, o, en general, de un número dado de sustancias, un número menor. Así, del hierro y del azufre, al calentarlos, surge una sustancia nueva: el sulfuro de hierro. En ella no se ven las partes de las sustancias que la componen, ni siquiera con el mayor aumento. Antes de la reacción, el hierro puede sacarse de la mezcla con un imán, y el azufre con líquidos aceitosos; en general, pueden separarse mecánicamente mientras no se haya producido la combinación, pero después de ella ambas sustancias se penetran mutuamente y ya no pueden separarse ni distinguirse. Las reacciones de combinación directa suelen ir acompañadas de desprendimiento de calor, y los

casos ordinarios de combustión, que producen calor, consisten en la combinación de una sustancia combustible con una parte (el oxígeno) del aire, con lo que se forman los gases y vapores contenidos en la llama y en el humo.

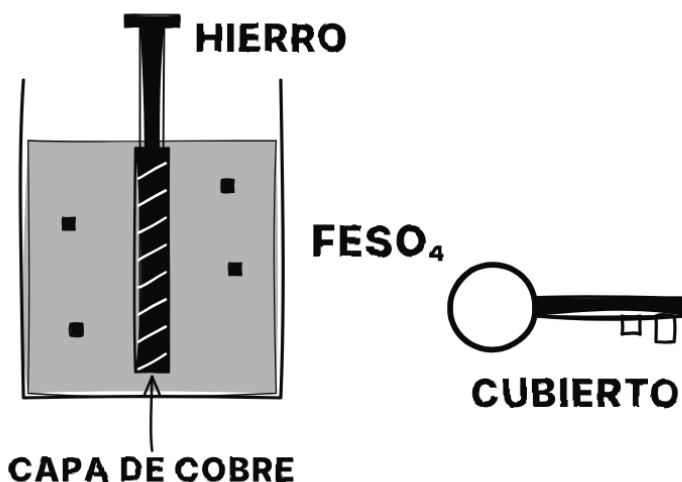
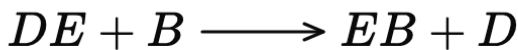
Segunda. Las reacciones de descomposición son los casos opuestos a las combinaciones, es decir, aquellos en los que una sustancia da dos, o, en general, un número dado de sustancias da un número mayor. Así, cuando la madera (y también la hulla y muchas sustancias vegetales y animales) se calienta fuertemente sin acceso de aire, se obtienen un gas combustible, un líquido acuoso, resina o alquitrán, y carbón. De este modo se preparan a gran escala en las fábricas el alquitrán, el gas de alumbrado y el carbón. Las piedras calizas, por ejemplo la losa común, la tiza y el mármol, se descomponen al calentarlas fuertemente, dejando cal y formando un gas particular llamado gas carbónico. Una descomposición parecida, pero a una temperatura mucho más baja, que un vidrio fino puede soportar, ocurre con el carbonato de cobre verde que forma parte de la malaquita. Este ejemplo de descomposición se describirá con más detalle enseguida. Si en las reacciones ordinarias de combinación se desprende calor, las reacciones de descomposición suelen absorberlo.



El calor divide uno en varios

Tercera. La tercera clase de reacción química, cuando el número de sustancias que actúan es igual al de las que se producen, consiste, por así decirlo, en una descomposición y una combinación a la vez. Si, por ejemplo, se dan los cuerpos A y B y de ellos surgen los cuerpos C y D, entonces, imaginando que A se descompone en D y E, y que E, al combinarse con B, da C, obtenemos una reacción en la que se tomaron dos cuerpos, A, o DE, y B, y se produjeron otros dos, C, o EB, y D. Tales reacciones pueden llamarse en general desplazamientos y, en particular, cuando dos sustancias dan dos nuevas, la reacción se llama sustitución o doble descomposición. Así, si tomamos una disolución en agua de vitriolo azul, es decir, de sulfato de cobre, y sumergimos en ella hierro, se forma, o se libera, cobre, y la disolución pasa a contener vitriolo de hierro (o verde), que solo se diferencia del

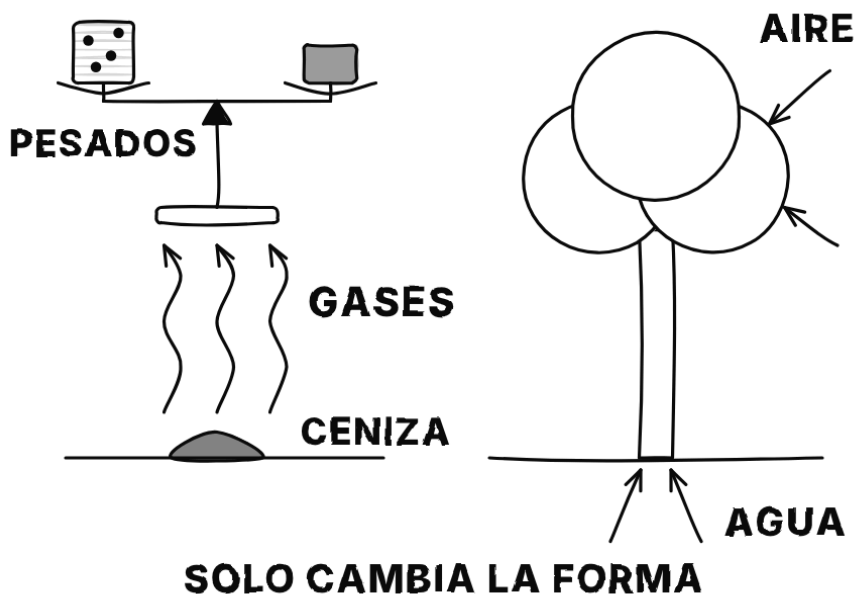
vitriolo de cobre en que en él el hierro ha ocupado el lugar del cobre. De modo parecido, el hierro puede recubrirse de cobre, y el cobre de plata, y tales reacciones se usan muy a menudo en la práctica.



El hierro ocupa el sitio del cobre

La mayoría de las transformaciones químicas que ocurren en la naturaleza y en los procesos de las fábricas son muy complejas, porque constan de muchas combinaciones, descomposiciones y sustituciones separadas que suceden al mismo tiempo. En esta complejidad natural de los fenómenos químicos debemos ver la primera razón por la que durante mucho tiempo, durante siglos enteros, aunque se conocían muchas transformaciones químicas y se aprovechaban, no se tenía un conocimiento químico científico, es decir, no se estudiaban los cambios químicos, no se podían prever ni

dirigir a voluntad. Otra razón del desarrollo tardío del conocimiento químico es el papel de las sustancias gaseosas, sobre todo del aire, en muchas reacciones. Una idea correcta del peso del aire, y de los gases en general como un estado elástico particular de las sustancias que se expande en todas direcciones, solo se obtuvo en los siglos dieciséis y diecisiete, y solo después pudo nacer la ciencia de la transformación de las sustancias. Hasta entonces, sin la idea del estado gaseoso y de vapor de las sustancias, invisible y, sin embargo, pesable, no podía surgir ningún conocimiento químico bien fundado, porque se dejaban fuera los gases entre los cuerpos que actúan y los que se producen. Así, bajo la impresión de los fenómenos que observamos, es fácil formarse la idea de que la materia, por así decirlo, se crea y se pierde: masas enteras de madera se queman y de ellas solo queda una pequeña cantidad de carbón y ceniza; de una semilla cuyo peso es del todo insignificante crece poco a poco un gran árbol. En un caso la materia parece desaparecer; en el otro, crearse. Se llega a esta conclusión porque se pasa por alto la formación o la absorción de gases, invisibles para el ojo. Cuando la madera arde, sufre una transformación química en productos gaseosos, que se van en forma de humo. La sustancia de la madera no desaparece; por el proceso químico solo se transforma en una sustancia gaseosa. Experimentos muy sencillos pueden confirmarlo. Recogiendo el humo, se puede ver que contiene gases muy distintos del aire, gases que no pueden mantener ni la combustión ni la respiración. Estos gases pueden pesarse, y entonces se ve que su peso es mayor que el peso de la madera tomada. Este aumento de peso se debe a que, al arder, las partes que componen la madera se combinan con una parte del aire, igual que el hierro aumenta de peso cuando se oxida. Cuando arde la pólvora, su sustancia no desaparece, sino que solo se transforma en gases de pólvora y humo.



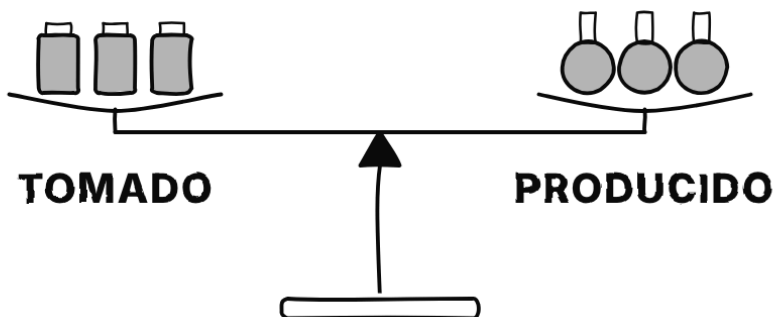
La materia solo cambia de forma

Del mismo modo, cuando crece un árbol, la semilla no aumenta de masa por sí misma; crece solo porque absorbe los gases del aire y, por sus raíces, absorbe de la tierra agua junto con las sustancias disueltas en ella. A partir de estos gases y líquidos absorbidos, mediante procesos químicos complejos dirigidos por las fuerzas que actúan en los organismos vivos, se forman la savia de las plantas y los cuerpos sólidos que les dan su forma. En un gas que no contiene las partes nutritivas del aire, la planta no crece, sino que muere. Si los objetos húmedos se secan y pierden peso, si el agua se evapora, sabemos que no desaparece, sino que vuelve de la atmósfera en forma de lluvia, rocío y nieve. Si el agua se filtra en la tierra, tampoco se desvanece allí para siempre, sino que, tras reunirse en algún lugar bajo tierra, brota de ella en forma de manantiales. Así, la materia, al sufrir diversas

transformaciones físicas y químicas, solo cambia de lugar y de forma, pero ni se pierde ni se crea. Permanece en la misma cantidad que antes; en una palabra, la materia es eterna para nosotros. Esta verdad química, sencilla y primera, fue difícil de alcanzar con el estudio, pero en cuanto quedó clara empezó a difundirse rápidamente, y hoy nos parece tan natural y sencilla como muchas verdades establecidas a lo largo de los siglos. La eternidad, o conservación, de la cantidad total de materia ya la sospechaban algunos filósofos de la antigua Grecia y científicos del siglo diecisiete, por ejemplo Mariotte, pero no se preocuparon de expresarla con claridad ni de aplicarla a fines científicos. Los experimentos con los que se comprendió esta ley sencilla los hizo en la segunda mitad del siglo dieciocho el fundador de la química moderna, el académico francés y recaudador general de impuestos Lavoisier. Muchas de las investigaciones de este científico se hicieron con ayuda de la balanza, el único instrumento con el que se puede juzgar directa y exactamente la cantidad de materia. Pesando cada vez todas las sustancias e incluso los aparatos usados en un experimento, y pesando después las sustancias obtenidas tras las transformaciones químicas, Lavoisier halló que la suma de los pesos de los cuerpos producidos era cada vez igual a la suma de los pesos de los cuerpos tomados, o, dicho de otro modo: la materia ni se crea ni se pierde, o la materia es eterna, o la masa (el peso) de la materia en la naturaleza se conserva, es decir, permanece constante. Estas últimas expresiones contienen, desde luego, una hipótesis, pero con ellas una frase corta sustituye al siguiente enunciado largo: en todos nuestros experimentos y en todos los fenómenos de la naturaleza que se han estudiado, nunca se ha podido observar que el peso de las sustancias producidas fuera mayor o menor (en la medida en que lo permite la exactitud del pesaje) que el peso de los cuerpos tomados, y como el peso es proporcional a la masa, o cantidad de materia, de lo anterior

se sigue que nunca se ha podido observar la desaparición de materia ni la aparición de una nueva cantidad de ella. Esta ley da exactitud a todas las investigaciones químicas, porque sobre su base se puede escribir una ecuación para cada reacción. Si designamos con A, B, C y así sucesivamente los pesos de las sustancias tomadas, y con M, N, O y así sucesivamente los pesos de las producidas, entonces:

SUMA ANTES = SUMA DESPUÉS



$$A + B + C + \dots = M + N + O + \dots$$

La balanza de Lavoisier

Preguntas

1. Se mezclan limaduras de hierro con azufre y después se calienta la mezcla. ¿Qué observación muestra que ha tenido lugar una

combinación?

- a. La mezcla se ha oscurecido, pero sigue pareciendo granulosa
 - b. Un imán ya no puede sacar el hierro, y no se ve ninguna parte de ninguno de los dos ni siquiera con aumento
 - c. El azufre todavía puede lavarse con un líquido aceitoso
 - d. La mezcla pesa ahora menos que el hierro y el azufre juntos
2. ¿Por qué se creyó durante tanto tiempo que la materia se destruye al arder y se crea en un árbol que crece?
- a. Porque se pasaban por alto los gases invisibles que se forman o se absorben
 - b. Porque al arder se destruye de verdad una pequeña parte de la madera
 - c. Porque no sabían hacer un fuego bastante caliente
 - d. Porque los árboles crecen solo del agua del suelo
3. Los gases recogidos al quemar madera pesan más que la propia madera. ¿De dónde viene el peso de más?
- a. Del calor de la llama, que tiene peso
 - b. De la ceniza, que es más pesada de lo que parece
 - c. De una parte del aire que se combina con las partes de la madera
 - d. Del agua que la madera había absorbido antes

Respuestas

1. b) Antes de la reacción el hierro y el azufre pueden separarse mecánicamente; tras la combinación se penetran mutuamente y ya no pueden separarse ni distinguirse.

- 2. a)** Se llega a la conclusión de que la materia desaparece o aparece porque se pasa por alto la formación o la absorción de gases, invisibles para el ojo.
- 3. c)** Al arder, las partes que componen la madera se combinan con una parte del aire, igual que el hierro aumenta de peso al oxidarse.

Ejercicios

1. Con las letras del libro, los cuerpos A y B dan los cuerpos C y D, donde A está hecho de D y E, y C de E y B. Explique con sus palabras por qué esta tercera clase de reacción puede llamarse una descomposición y una combinación que ocurren a la vez.

Pista: Siga la parte E: ¿de qué se separa y a qué se une?

Respuesta: A, que es D unido a E, se separa en D y E: eso es una descomposición. Luego E se une a B y da C: eso es una combinación.

Entraron dos cuerpos y salieron dos, y lo único que cambió es que E pasó de D a B.

2. Un paño mojado tendido a secar se vuelve más ligero. ¿Contradice esto la ley de que la materia ni se crea ni se pierde? Explíquelo.

Pista: Pregúntese adónde ha ido el agua del paño y si allí podría pesarse.

Respuesta: No. El agua no ha desaparecido: se ha evaporado al aire, un estado invisible que sin embargo tiene peso, y vuelve de la atmósfera como lluvia, rocío y nieve. El paño es más ligero solo porque una parte de la materia ha cambiado de lugar y de forma.

3. Lavoisier pesaba no solo las sustancias, sino también los recipientes y los aparatos, antes y después de cada experimento. ¿Por qué era importante pesarlo todo y qué descubrió?

Pista: Piense en los gases que pueden absorberse o desprenderse sin que se vean durante una reacción.

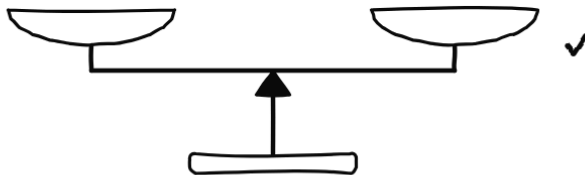
Respuesta: Los gases y otras partes pueden entrar o salir sin verse de lo que se estudia, así que solo pesando todo lo tomado y todo lo obtenido no se deja nada fuera. Descubrió que la suma de los pesos de los cuerpos producidos era cada vez igual a la suma de los pesos de los cuerpos tomados.

Introducción

$$A + B + C + \dots = M + N + O + \dots$$

$$A + B + C = M + N + ?$$

$$O = A + B + C - M - N$$

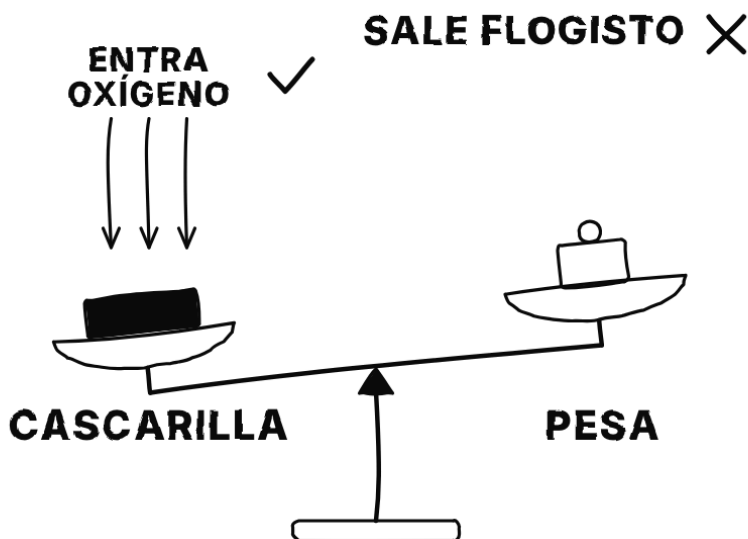


Hallar el peso desconocido

Por tanto, si se desconoce el peso de una de las sustancias que actúan o que se producen, ese peso desconocido puede hallarse a partir de la ecuación. Aplicando la ley de la eternidad de la materia y pesando, el químico siempre puede asegurarse de no pasar por alto ninguno de los cuerpos que actúan y que se producen. Si cometiera tal omisión, el investigador lo notaría enseguida, porque entonces la suma de los pesos de las sustancias tomadas no sería igual a la suma de los pesos

de las producidas. Al empezar el estudio de la química hay que familiarizarse por completo con la sencilla verdad que expresa esta ley. Por eso daremos algunos ejemplos que aclaran cómo se aplica la ley de la eternidad de la materia.

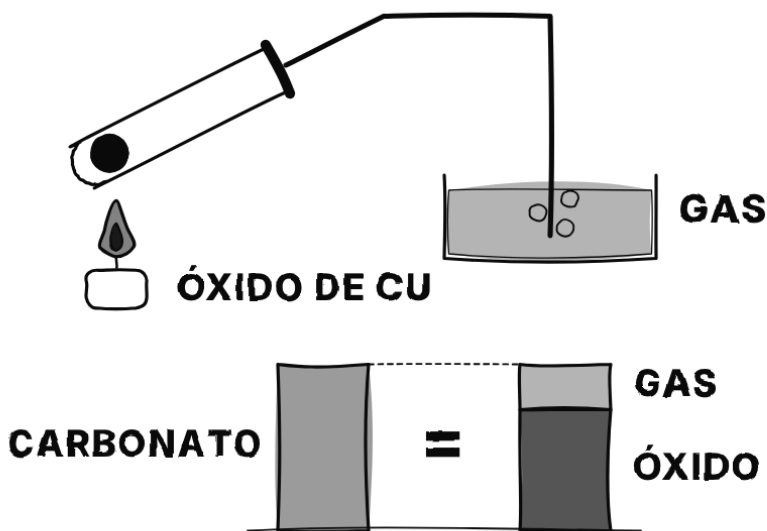
Primer ejemplo. Todo el mundo sabe que el hierro se oxida en el aire húmedo y que, al calentarlo fuertemente en el aire, se cubre de cascarilla (un óxido), que, como el orín, es una sustancia terrosa parecida a los minerales de hierro que se encuentran en la tierra y sirven para obtener el hierro. Pesando el hierro antes y después de que se forme la cascarilla o el orín, uno puede convencerse de que el peso del metal aumenta en el proceso. También es fácil convencerse de que este aumento de peso se produce, como mostró Lavoisier, a costa de aquella parte del aire que se llama oxígeno y que sirve para la combustión. En efecto, en el vacío y en gases que no contienen el oxígeno del aire, por ejemplo en el hidrógeno y el nitrógeno, no se produce ni oxidación ni formación de cascarilla. Si no se pesara, podría pasarse por alto por completo el papel del oxígeno del aire cuando el hierro se convierte en las sustancias terrosas que le corresponden; y antes de Lavoisier se pasaba por alto, por eso no se entendían fenómenos como el descrito. Con ayuda de la ley de la eternidad de la materia, por la ganancia de peso es evidente que la cascarilla es más compleja que el hierro y que su formación es una reacción de combinación. Esta transformación química podía verse de un modo del todo equivocado, por ejemplo considerando la cascarilla un cuerpo más simple que el hierro y explicando su formación por la pérdida de algo del hierro. Así es, de hecho, como se veía antes de Lavoisier: se consideraba que el hierro contenía una sustancia especial desconocida, llamada flogisto, y que la cascarilla estaba privada de esta sustancia imaginaria.



La cascarilla pesa más que el hierro

Segundo ejemplo. El polvo verde de carbonato de cobre que se vende en las tiendas, así como la conocida piedra verde llamada malaquita, que se usa como adorno y (como mineral) para obtener cobre, se convierten al calentarlos fuertemente en una sustancia negra llamada óxido de cobre. La misma sustancia se forma al calentar fuertemente cobre metálico en el aire, es decir, es la cascarilla, u óxido, del cobre. El peso del óxido de cobre negro que queda es menor que el del carbonato de cobre tomado, y por eso concluimos que la reacción que tiene lugar es una descomposición y que en ella algo se desprende del carbonato de cobre verde tomado. En efecto, si se cierra la boca del recipiente en el que se calienta con un tapón ajustado, se pasa por el tapón un tubo de desprendimiento y se sumerge su extremo en agua, puede verse que al calentar el carbonato de cobre se forma un gas, que

sale por el tubo y atraviesa el agua en burbujas. Este gas es fácil de recoger, como se explicará más adelante, y entonces uno puede convencerse de que se distingue con toda claridad del aire; por ejemplo, una astilla encendida se apaga en él, como si se sumergiera en agua. Si el pesaje no nos hubiera convencido de que se desprende una sustancia, habría sido fácil pasar por alto la formación del gas, porque es transparente e incoloro, como el aire. El gas carbónico desprendido puede pesarse, y uno puede convencerse de que la suma de los pesos del óxido de cobre negro y del gas carbónico es igual al peso del carbonato de cobre tomado.

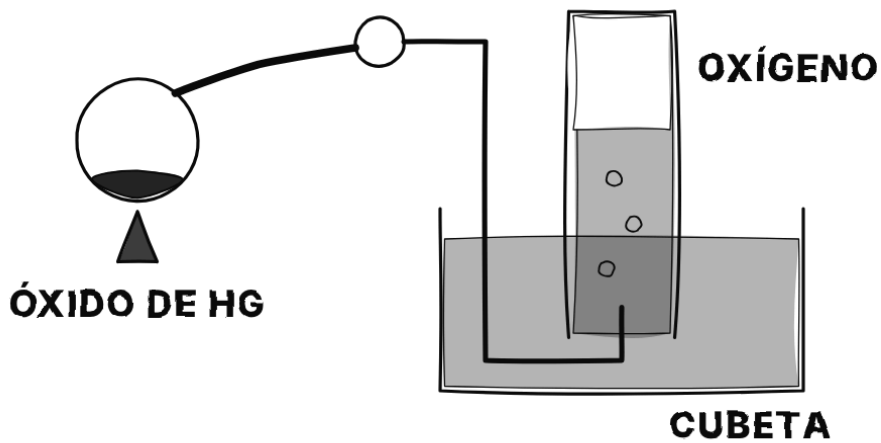


El carbonato de cobre suelta un gas

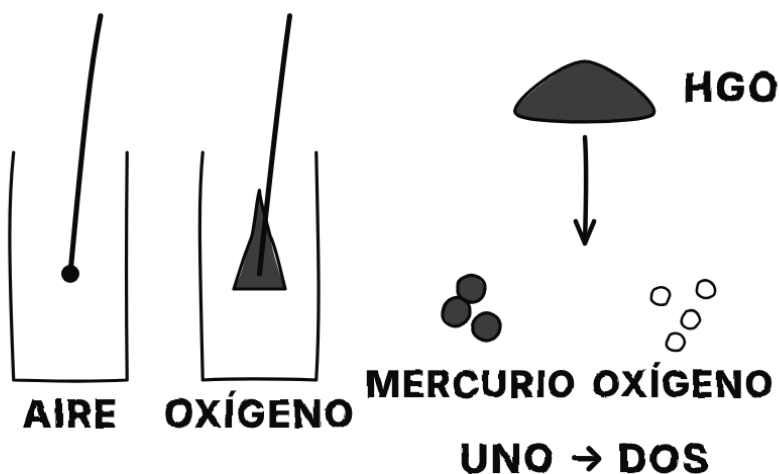
Tercer ejemplo. De modo parecido, pero con un calentamiento algo más fuerte y más lentamente, se descompone el óxido rojo de

mercurio, formando un gas particular, el oxígeno; el óxido rojo de mercurio se forma como cascarilla del mercurio cuando este se calienta en el aire. Para ello se toma una retorta de vidrio con óxido de mercurio; el cuello de la retorta se ajusta con un tapón hermético en una de las aberturas de una pequeña bola de vidrio, y en su otra abertura se ajusta, con otro tapón hermético, un tubo de desprendimiento doblado hacia abajo, como se muestra en la figura. El extremo abierto del tubo de desprendimiento se sumerge en un recipiente con agua llamado cubeta. Si en la retorta empiezan a desprenderse gases, no tendrán otra salida que por el tubo y el agua de la cubeta, y así el desprendimiento de gas se verá en forma de burbujas. Al calentar fuertemente la retorta con el óxido de mercurio, sale primero aire, que se dilata con el calor, y después un gas particular llamado oxígeno. El gas desprendido es fácil de recoger. Para ello se toma un recipiente (normalmente una probeta, como se ve en nuestra figura); se llena de agua hasta arriba y, tapada su boca, se le da la vuelta y la boca cerrada se baja dentro del agua. Entonces se destapa la boca de la probeta. La probeta seguirá llena de agua, es decir, el agua estará en ella más alta que en el recipiente que la rodea, lo cual depende de la presión del aire sobre el agua. La boca inferior abierta de esa probeta se coloca (bajo el agua) sobre el extremo del tubo de desprendimiento, y las burbujas del gas que sale pasarán a la probeta. Así pueden recogerse los gases. Cuando se ha reunido bastante gas en la probeta, puede mostrarse con claridad que no es aire, sino otro gas particular, que se distingue por su capacidad de mantener con fuerza la combustión. Para verlo, cerremos la boca de la probeta bajo el agua, saquémosla, démosle la vuelta con la boca hacia arriba y metamos en ella una astilla que aún brilla. Se sabe que una astilla que solo brilla se apaga sola en el aire, pero en el gas que se desprende del óxido rojo de mercurio se enciende con una llama viva

y fuerte, lo que muestra que este gas puede mantener con fuerza la combustión y permite distinguirlo del aire. Al calentar fuertemente el óxido rojo de mercurio, además de la formación de oxígeno se nota la aparición de mercurio metálico, que con el calor se convierte en vapor y se deposita en las partes frías de la retorta (y en la bola colocada entre la retorta y el tubo de desprendimiento) como una capa de espejo o como gotitas. Así, del óxido rojo de mercurio se obtienen al calentarlo fuertemente dos cuerpos: mercurio y oxígeno. Aquí surgieron dos cuerpos nuevos de uno, es decir, tuvo lugar una descomposición. Antes de la época de Lavoisier ya se sabía recoger y estudiar los gases, pero solo él mostró su verdadero papel en el curso de muchas transformaciones químicas, que antes de él o se entendían mal (como se explicará más adelante) o no se explicaban en absoluto, sino que solo se observaban en sus apariencias visibles. Para la historia de la química en tiempos de Lavoisier tiene una importancia especial precisamente el experimento con el óxido rojo de mercurio, porque el oxígeno que aquí se desprende está contenido en el aire y desempeña un papel enorme en la naturaleza, sobre todo en la respiración de los animales, en la combustión de los cuerpos en el aire y en la formación a partir de los metales de orines y cascarillas (cales, como se decía entonces), es decir, de sustancias terrosas parecidas a los minerales de los que se extraen los metales.



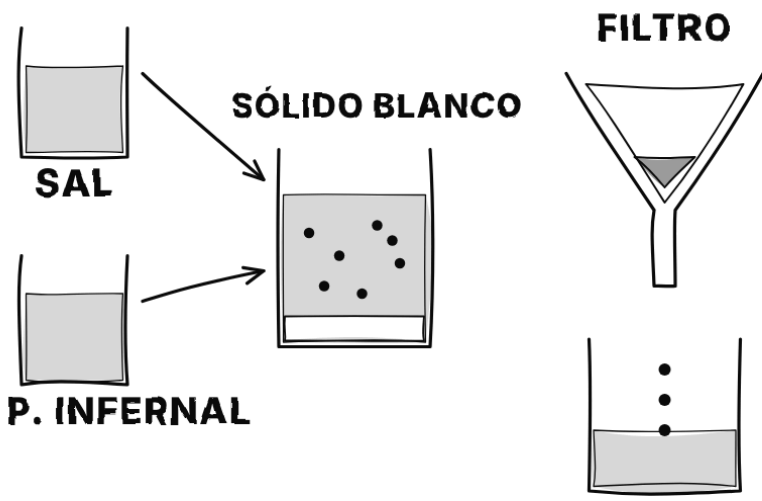
Recoger el gas bajo el agua



Oxígeno y mercurio

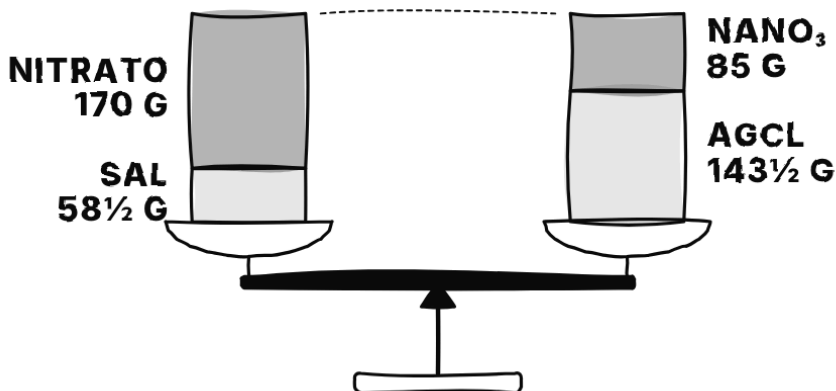
Cuarto ejemplo. Para mostrar con un experimento más un ejemplo de transformaciones químicas y de cómo se aplica la ley de conservación de la materia, tomemos sal común y piedra infernal, con la que, como se sabe, se cauterizan las heridas. Ambas sustancias se disuelven en agua. Tomemos disoluciones transparentes de cada una de estas sustancias y mezclémoslas. Al mezclarlas notaremos enseguida que se forma una sustancia sólida blanca, que se deposita en el fondo del recipiente y no puede disolverse en agua. Esta sustancia separada es fácil de separar de la disolución colándola. Para ello se toma un embudo de vidrio y se coloca en él un círculo de papel sin cola, doblado en cruz y abierto dentro del embudo de modo que se forme en él una superficie interior de papel, o cono de papel, en el que se vierte el líquido turbio obtenido al mezclar las disoluciones de piedra

infernál y de sal común. Entonces la disolución transparente pasará a través del papel (el colador, o filtro), y el polvo que estaba suspendido en el líquido quedará sobre el papel. Puede secarse, y resulta ser una sustancia del todo distinta de las tomadas. Esto ya se ve en que no se disuelve en agua. Evaporando el líquido que ha pasado por el filtro, notaremos que contiene un cuerpo nuevo, distinto tanto de la sal común como de la piedra infernal, pero, como ellas, soluble en agua. Así, aquí se tomaron dos sustancias solubles en agua, la piedra infernal y la sal común, y por sustitución surgieron dos nuevas, una insoluble en agua y la otra que queda en disolución. El agua tomada solo sirvió para llevar las sustancias que actúan a un estado líquido y fácilmente móvil. Si la piedra infernal y la sal se secan y se pesan, y si se toman unos $58\frac{1}{2}$ gramos de sal y 170 gramos de piedra infernal, se obtendrán $143\frac{1}{2}$ gramos de cloruro de plata insoluble y 85 gramos de nitrato de sodio soluble. La suma de los pesos de los cuerpos que actúan y de los producidos resultará la misma e igual a $228\frac{1}{2}$ gramos, como debe ser según la ley de la eternidad de la materia.



Mezclar y filtrar

$$58\frac{1}{2} + 170 = 143\frac{1}{2} + 85 = 228\frac{1}{2}$$



228½ gramos antes y después

Preguntas

1. El hierro calentado en el aire se cubre de cascarilla y pesa más.
¿Qué muestra esta ganancia de peso?
 - a. Que la cascarilla es hierro combinado con algo del aire, una combinación
 - b. Que la cascarilla es hierro que ha perdido su flogisto
 - c. Que calentar hace más pesado cualquier metal, incluso en el vacío
 - d. Que la cascarilla es un cuerpo más simple que el hierro

2. El carbonato de cobre verde, calentado fuertemente, deja óxido de cobre negro que pesa menos. ¿Por qué es tan fácil pasar por alto sin balanza el gas que desprende?
 - a. Porque se desprende muy lentamente
 - b. Porque se disuelve por completo en el agua de la cubeta
 - c. Porque es transparente e incoloro, como el aire
3. ¿Cómo se distingue del aire el gas del óxido rojo de mercurio?
 - a. Apaga una astilla encendida, como si se sumergiera en agua
 - b. Una astilla que solo brilla se enciende en él con una llama viva
 - c. Se convierte en gotitas de mercurio sobre el vidrio frío
 - d. Hace subir el agua en la probeta
4. En el experimento con sal común y piedra infernal, ¿qué papel tiene el agua?
 - a. Es una de las sustancias que reaccionan y se gasta
 - b. Se convierte en el polvo blanco insoluble
 - c. Añade su peso a los productos
 - d. Solo lleva las sustancias que actúan a un estado líquido y fácilmente móvil

Respuestas

1. **a)** Según la ley de la eternidad de la materia, la ganancia de peso muestra que la cascarilla es más compleja que el hierro y que su formación es una reacción de combinación, con el oxígeno del aire.
2. **c)** Si el pesaje no hubiera mostrado que se desprende una sustancia, habría sido fácil pasar por alto el gas, porque es transparente e incoloro, como el aire.

3. **b)** Una astilla que solo brilla se apaga sola en el aire, pero en el gas del óxido rojo de mercurio se enciende con una llama viva y fuerte.
4. **d)** El agua tomada solo sirvió para llevar las sustancias que actúan a un estado líquido y fácilmente móvil.

Ejemplos resueltos

Sal y piedra infernal en la balanza Unos $58\frac{1}{2}$ gramos de sal común seca y 170 gramos de piedra infernal seca reaccionan en agua y dan $143\frac{1}{2}$ gramos de cloruro de plata insoluble y 85 gramos de nitrato de sodio soluble. Muestre que se cumple la ley de la eternidad de la materia.

Los cuerpos que actúan son la sal y la piedra infernal; juntos pesan $58\frac{1}{2} + 170 = 228\frac{1}{2}$ gramos.

Los cuerpos producidos son el cloruro de plata y el nitrato de sodio; juntos pesan $143\frac{1}{2} + 85 = 228\frac{1}{2}$ gramos.

El agua se deja fuera en ambos lados, porque solo sirvió para hacer las sustancias líquidas y móviles.

Las dos sumas son iguales, como exige la ecuación $A + B = M + N$.

Respuesta: Ambas sumas son $228\frac{1}{2}$ gramos, así que nada se creó ni se perdió.

Ejercicios

1. En el mismo experimento, suponga que pesó los $58\frac{1}{2}$ gramos de sal, los 170 gramos de piedra infernal y los $143\frac{1}{2}$ gramos de cloruro de plata del filtro, pero perdió el líquido que pasó. ¿Cuánto nitrato de sodio debía contener?

Pista: Escriba $A + B = M + N$ y deje N , el nitrato de sodio, como incógnita.

Respuesta: 85 gramos. Los cuerpos que actúan pesan $58\frac{1}{2} + 170 = 228\frac{1}{2}$ gramos, así que los producidos deben pesar lo mismo, y $228\frac{1}{2} - 143\frac{1}{2} = 85$ gramos.

2. Antes de Lavoisier, la cascarilla se explicaba diciendo que el hierro pierde flogisto al convertirse en cascarilla. Explique cómo el pesaje muestra que esta explicación va al revés.

Pista: Si se quita algo del hierro, ¿qué debería pasar con su peso?

Respuesta: Si la cascarilla fuera hierro al que se le ha quitado algo, debería pesar menos que el hierro. Pero el pesaje muestra que el hierro gana peso al formar cascarilla, y la cascarilla no se forma sin el oxígeno del aire. Así que algo se ha añadido, no quitado: la cascarilla es hierro combinado con oxígeno, un cuerpo más complejo que el hierro.

3. El óxido rojo de mercurio, calentado fuertemente, da mercurio y oxígeno. Explique por qué es una descomposición y por qué el experimento fue tan importante en tiempos de Lavoisier.

Pista: Cuento los cuerpos antes y después; luego piense dónde más se encuentra el mismo gas.

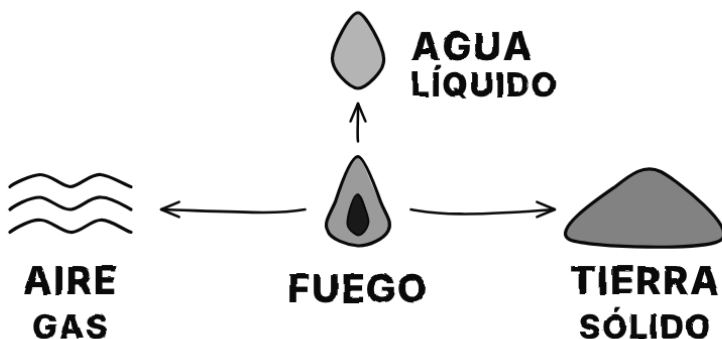
Respuesta: Un cuerpo dio dos nuevos, así que es una descomposición. Fue importante porque el oxígeno desprendido es el mismo gas que contiene el aire, que desempeña el gran papel en la respiración, en la combustión y en la formación de orines y cascarillas a partir de los metales.

Introducción

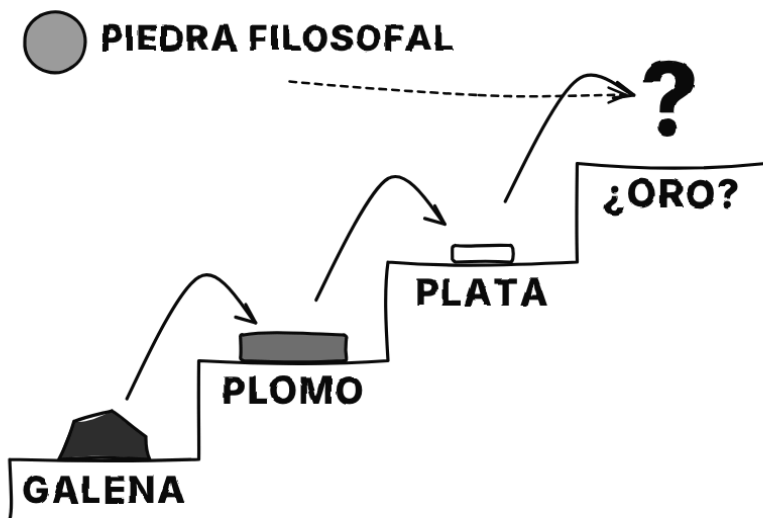
Una vez conocida la ley anterior, surge sin querer una pregunta: ¿hay un límite para las diversas transformaciones químicas, o son ilimitadas, es decir, puede obtenerse de una sustancia dada una cantidad igual de cualquier otra sustancia? Dicho de otro modo, ¿existe una transformación eterna e interminable de una clase de materia en todas las demás, o el círculo de estas transformaciones es limitado? Esta es la segunda cuestión más esencial de la química, la cuestión de la calidad de la materia, una cuestión evidentemente más compleja que la de la cantidad. Una simple mirada a las cosas no puede resolverla. En efecto, viendo cómo a partir del aire y de los elementos del suelo se forman las diversas sustancias de las plantas, cómo el hierro se convierte en pinturas, por ejemplo en tinta, azul de Prusia y otras parecidas, uno puede pensar que no hay fin para los cambios cualitativos de las sustancias. Por otro lado, la experiencia diaria ha llevado a comprender que de una piedra no puede hacerse una sustancia nutritiva, ni oro del cobre, y así sucesivamente. Por eso hay que esperar una respuesta definida del estudio. A esta pregunta se respondió de modo distinto en distintas épocas. La opinión en otro tiempo más extendida al respecto sostenía que todo lo visible consta de cuatro elementos: aire, agua, tierra y fuego. Tiene su origen ya en Asia; de allí pasó a los griegos, y la expuso con especial plenitud Empédocles, que vivió 460 años antes de Cristo. Esta noción no era una conclusión de investigaciones exactas, sino que se basaba, al parecer, en distinguir los cuerpos gaseosos (como el aire), los líquidos (como el agua) y los sólidos (como la tierra), y en reconocer sus cambios producidos por el fuego, es decir, por el calor. Los sabios

árabes empezaron a acercarse por vía experimental a la solución de la pregunta planteada. A través de España trajeron a Europa el gusto por investigar cuestiones de este tipo, y desde entonces aparecen muchos adeptos de esta ciencia, que se consideraba misteriosa y se llamaba alquimia. Los alquimistas, sin tener todavía ni una sola ley rigurosa como punto de partida para sus investigaciones, respondían de modos muy distintos a la cuestión de las transformaciones de las sustancias. Su gran mérito fue que hicieron multitud de experimentos y descubrieron muchas transformaciones nuevas, y todo el mundo sabe cómo algunos de ellos respondieron a la cuestión fundamental de la química.

¿LÍMITE O NO?



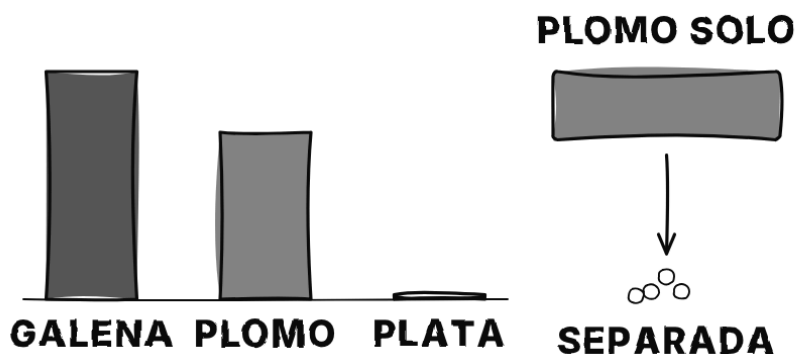
Los cuatro elementos antiguos



La escalera de los alquimistas

Su punto de vista puede expresarse como el reconocimiento de una transformación sin fin de la materia, porque buscaban la piedra filosofal, capaz de convertirlo todo en oro y diamantes y capaz de rejuvenecer un cuerpo viejo. Más tarde esta hipótesis fue rechazada con mucha dureza, pero no hay que pensar que la opinión de los alquimistas surgiera solo de su imaginación. Los primeros experimentos químicos podían llevar a tal opinión. Tomaban, por ejemplo, una piedra metálica brillante llamada galena y obtenían de ella plomo. Veían que de un cuerpo metálico, inservible para el uso, se obtiene otra sustancia metálica, más dúctil y valiosa, que se emplea en la práctica. Después tomaban este plomo y obtenían de él plata, más valiosa todavía. De ahí podían concluir que mediante toda una serie de transformaciones podían ennoblecerse los metales, es decir,

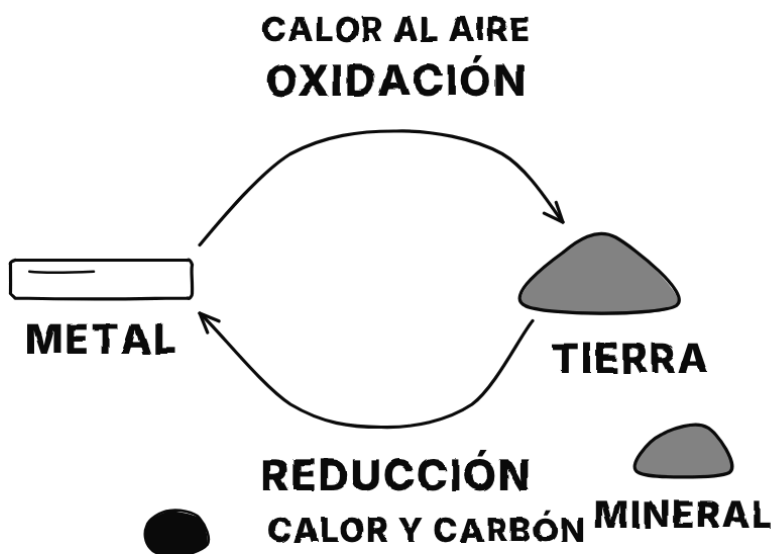
obtener de ellos otros cada vez más preciosos. Tras obtener plata del plomo, solo aspiraban a obtener oro de ella. Lo incompleto de su investigación se define por el hecho de que rara vez pesaban y en general prestaban poca atención a las cantidades, mientras que los juicios cualitativos son muy a menudo subjetivos y convencionales. Si hubieran pesado, habrían sabido que el peso del plomo es mucho menor que el de la galena, y que el peso de la plata es insignificante comparado con el del plomo empleado. Si hubieran estudiado con más detalle la obtención de plata a partir del plomo (y aún hoy la mayor parte de la plata se extrae del plomo natural), se habrían convencido de que el plomo no se convierte en plata, sino que solo contiene cierta proporción de ella, y que, una vez separada, ya no puede dar plata por ninguna operación. La plata que extraían del plomo estaba en el plomo, y no se obtenía por un cambio químico del plomo. Hoy esto se sabe bien por experiencia, pero una primera mirada a un asunto puede ser, con toda naturalidad, equivocada. El camino que siguieron los alquimistas en su estudio nunca puede llevar a un éxito completo, porque no se planteaban preguntas sencillas y claras que, una vez respondidas, les permitieran avanzar. Por eso no lograron descubrir ni una sola ley exacta, pero los alquimistas dejaron a la química en herencia muchos datos experimentales nuevos.



Lo que habría mostrado la balanza

Estudiaron sobre todo muchas de las transformaciones propias de los metales, y por eso la química se centró durante mucho tiempo en el estudio de las sustancias metálicas. Al estudiar numerosos fenómenos químicos, los alquimistas usaban a menudo dos transformaciones químicas, una de las cuales se llama hoy reducción y la otra oxidación. La herrumbre de los metales, y en general su paso del estado metálico a uno terroso, se llama oxidación; y la obtención inversa de un metal a partir de una sustancia terrosa se llama reducción. Muchísimos metales se oxidan solo con calentarlos fuertemente en el aire y se reducen de nuevo calentándolos fuertemente con carbón, por ejemplo el hierro, el plomo y el estaño. En la tierra se encuentran muchos de estos metales oxidados. Esta es una de las clases de minerales metálicos. De esos minerales, como del orín o de la cascarilla, se

obtienen los metales calentándolos fuertemente con carbón, por ejemplo el estaño, el hierro y el cobre. Estas transformaciones las estudiaron los alquimistas. Así pues, se conocían dos transformaciones: la oxidación de los metales y la reducción de los óxidos obtenidos de nuevo a metales. La explicación de estos dos fenómenos químicos dio ocasión al descubrimiento de las leyes químicas más importantes. La primera hipótesis para explicarlos la dieron Becher y, sobre todo, Stahl, médico del rey de Prusia, en la obra *Fundamenta chemiae* de 1723. En su opinión, todos los cuerpos constan de una sustancia ígnea sin peso llamada flogisto (materia aut principium ignis non ipse ignis) y de otro elemento que tiene propiedades particulares para cada sustancia. Cuanto más capaz es un cuerpo de oxidarse o de arder, más flogisto se suponía que contenía, y en el carbón su contenido se consideraba muy grande. En la oxidación y la combustión se desprende flogisto, y en la reducción se absorbe, o entra en combinación. El carbón reduce las sustancias terrosas precisamente porque es rico en flogisto: les cede parte de su flogisto. Así, Stahl suponía que los metales son cuerpos complejos, formados por flogisto y una sustancia terrosa, u óxido. La hipótesis de Stahl se distingue por una sencillez muy grande, y en parte por eso encontró muchísimos admiradores.



Oxidación y reducción

✗ STAHL

METAL
=
TIERRA
+ FLOGISTO

AL ARDER
SALE FLOGISTO

✓ LAVOISIER

TIERRA
=
METAL
+ OXÍGENO



Stahl contra Lavoisier

Lavoisier demostró con ayuda de la balanza que toda herrumbre de los metales, u oxidación y combustión, va acompañada de un aumento de peso a costa del aire. Por eso aceptó la suposición natural de que el cuerpo más pesado es más complejo que el más ligero. He aquí el famoso experimento que hizo Lavoisier en 1774 y que puso un fundamento indiscutible para una opinión en muchos aspectos opuesta a la doctrina de Stahl. Lavoisier vertió 4 onzas de mercurio puro en una retorta de vidrio A. El cuello de la retorta estaba doblado, como se muestra en la figura, y sumergido en un recipiente KS, también lleno de mercurio. El extremo saliente O de la retorta estaba cubierto con una campana de vidrio FQ. Antes del experimento se determinó el peso de todo el mercurio tomado y todo el volumen de aire que quedaba en el aparato, es decir, en las partes altas de la

retorta y bajo la campana. Aquí era precisamente muy importante determinar la cantidad de aire, para saber qué papel tiene en la oxidación del mercurio: según Stahl, al oxidarse el mercurio se desprende flogisto al aire, mientras que Lavoisier sostenía que el mercurio, al oxidarse, absorbe parte del aire, y por eso había que saber si la cantidad de aire aumenta o disminuye cuando un metal se oxida. Por eso era importante medir el volumen de aire antes y después del experimento. Para lograr esta medida había que conocer toda la capacidad de la retorta, el volumen de mercurio vertido en ella, el volumen de la campana hasta la marca a la que llegaba el aire en ella, y también la temperatura y la presión del aire en el momento de medirlo. Reuniendo todos estos datos, podía saberse el volumen del aire que quedaba en el aparato, separado del resto del aire. Preparado así el aparato, Lavoisier calentó la retorta con el mercurio durante doce días hasta una temperatura cercana al punto de ebullición del mercurio. En el proceso el mercurio se cubrió de multitud de escamas rojas, es decir, se oxidó, o se convirtió en una tierra (su cal). Era el óxido rojo de mercurio del que se habló antes (tercer ejemplo). Pasados doce días se enfrió el aparato, y entonces pudo verse que el volumen de aire había disminuido durante el experimento, lo que sirvió para refutar la opinión del científico alemán. De las 50 pulgadas cúbicas de aire tomadas, solo quedaron 42. El experimento de Lavoisier llevó a otras conclusiones no menos importantes. El peso del aire tomado disminuyó tanto como aumentó el peso del mercurio al oxidarse, es decir, una parte del aire no se destruyó, sino que solo se combinó con el mercurio. Esta parte del aire puede liberarse de nuevo del óxido rojo de mercurio y tiene, como hemos visto (tercer ejemplo), propiedades distintas de las del aire. Se la llamó oxígeno. La parte del aire que quedó en el aparato y no se combinó con el mercurio no oxida los metales y es del todo incapaz de

mantener la combustión o la respiración, de modo que una astilla encendida se apaga enseguida al meterla en el gas que quedó en la campana: «se apaga en el gas restante como si se sumergiera en agua», escribe Lavoisier en su memoria. Este gas se llama nitrógeno. Así, el aire no es un cuerpo simple, sino que consta de dos gases, oxígeno y nitrógeno; por tanto, la opinión de que el aire es una sustancia elemental es errónea. En la combustión y en la oxidación de los metales se absorbe el oxígeno del aire. Las tierras que surgen por oxidación de los metales son cuerpos compuestos de oxígeno y metales. Mezclando oxígeno con nitrógeno obtendremos de nuevo el mismo aire que teníamos antes. También se demostró por experimento directo que, cuando un óxido se reduce con carbón, el oxígeno contenido en el óxido pasa al carbón y da el mismo gas que se obtiene cuando el carbón arde en el aire. Por tanto, también este gas es un cuerpo complejo, formado por carbón y oxígeno, como los óxidos están formados por metales y oxígeno.

12 DÍAS

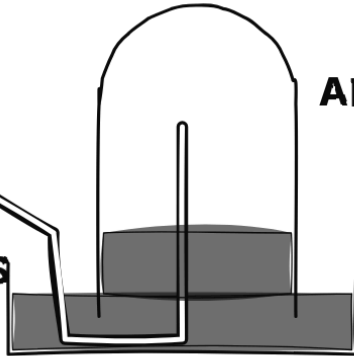
**50 PULG³
→ 42 PULG³**

MERCURIO

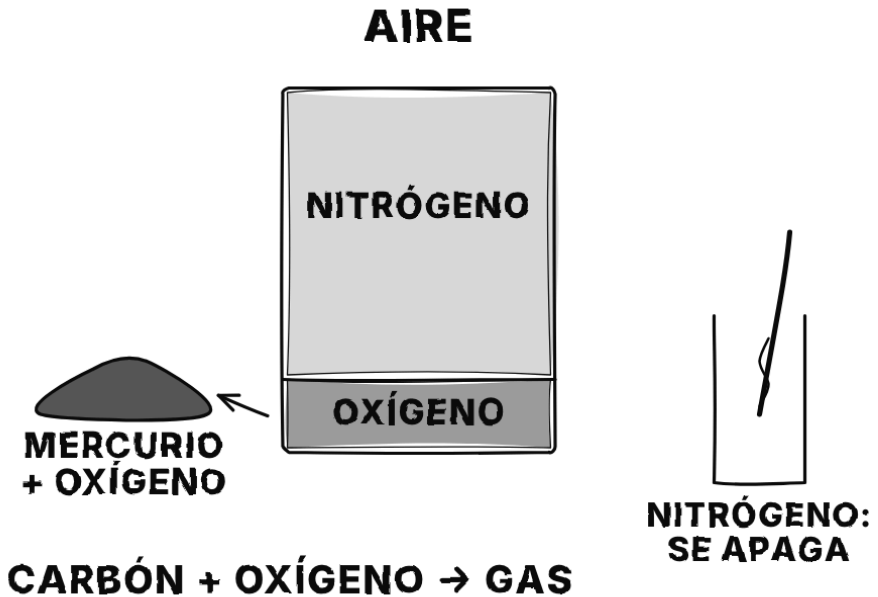


**ESCAMAS
ROJAS**

AIRE



Doce días calentando mercurio



El aire son dos gases

Preguntas

1. Los alquimistas obtenían plomo de la galena y luego plata del plomo. ¿Por qué concluyeron erróneamente que el plomo se convierte en plata?
 - a. Porque rara vez pesaban, y así no vieron que la plata había estado siempre en el plomo
 - b. Porque la plata que obtenían era en realidad una clase de plomo
 - c. Porque la galena no contiene nada de plomo

- d. Porque usaban demasiado poco calor para separar los metales
2. Según Stahl, ¿por qué el carbón convierte un óxido terroso de nuevo en metal?
- a. Porque el carbón quita el oxígeno al óxido
 - b. Porque el carbón es rico en flogisto y cede parte de él a la sustancia terrosa
 - c. Porque el carbón pesa más que el óxido
 - d. Porque basta calentar para convertir cualquier tierra en metal
3. En el experimento de doce días de Lavoisier, ¿por qué era tan importante medir el volumen de aire antes y después?
- a. Para hallar el punto de ebullición del mercurio
 - b. Para comprobar que no se escapaba mercurio de la campana
 - c. Para decidir si la oxidación suelta algo al aire, como decía Stahl, o absorbe parte del aire
4. ¿Qué mostró sobre el aire el gas que quedó bajo la campana tras el experimento de Lavoisier?
- a. Que el aire es una sola sustancia elemental
 - b. Que el aire está hecho en parte de vapor de mercurio
 - c. Que el calor había destruido el aire
 - d. Que el aire consta de dos gases, uno absorbido por el mercurio y otro que no mantiene ni la combustión ni la respiración

Respuestas

1. **a)** Prestaban poca atención a las cantidades; si lo hubieran estudiado en detalle, habrían visto que el plomo solo contiene una parte de plata y, una vez separada, no puede dar más.
2. **b)** Según Stahl, el carbón reduce las sustancias terrosas precisamente porque es rico en flogisto y les cede parte de él.
3. **c)** Según Stahl se desprende flogisto al aire, mientras que Lavoisier sostenía que el mercurio absorbe parte del aire, así que había que saber si el aire aumenta o disminuye.
4. **d)** El gas restante, el nitrógeno, no oxida los metales y apaga la llama, mientras que la parte absorbida era oxígeno; así que el aire no es un cuerpo simple, sino que consta de dos gases.

Ejemplos resueltos

Cuánto aire tomó el mercurio Lavoisier encerró 50 pulgadas cúbicas de aire con el mercurio y lo calentó durante doce días; después solo quedaron 42 pulgadas cúbicas. ¿Cuánto aire se combinó con el mercurio y qué parte del aire era?

El aire que se combinó es la diferencia entre el aire antes y después: $50 - 42 = 8$ pulgadas cúbicas.

Su parte del aire tomado es 8 de 50, es decir, $8/50$.

$8/50 = 16/100$, o sea, unas 16 partes de cada cien.

El aire no aumentó, como exigiría el flogisto de Stahl, sino que disminuyó, porque parte de él se combinó con el mercurio.

Respuesta: 8 pulgadas cúbicas, unas 16 partes de cada cien del aire tomado

Ejercicios

1. En el experimento de Lavoisier el mercurio ganó peso al convertirse en óxido rojo de mercurio. ¿Cuánto, comparado con el peso que

perdió el aire, y qué le dice eso?

Pista: Use la ley de que la materia ni se crea ni se pierde, aplicada al mercurio y al aire juntos.

Respuesta: Exactamente tanto como perdió el aire. Así que una parte del aire no se destruyó, sino que se combinó con el mercurio; esta parte, el oxígeno, puede liberarse de nuevo del óxido rojo de mercurio.

2. Explique con sus palabras por qué Lavoisier consideraba la cascarilla (un óxido) más compleja que el metal, mientras que Stahl consideraba más complejo el metal.

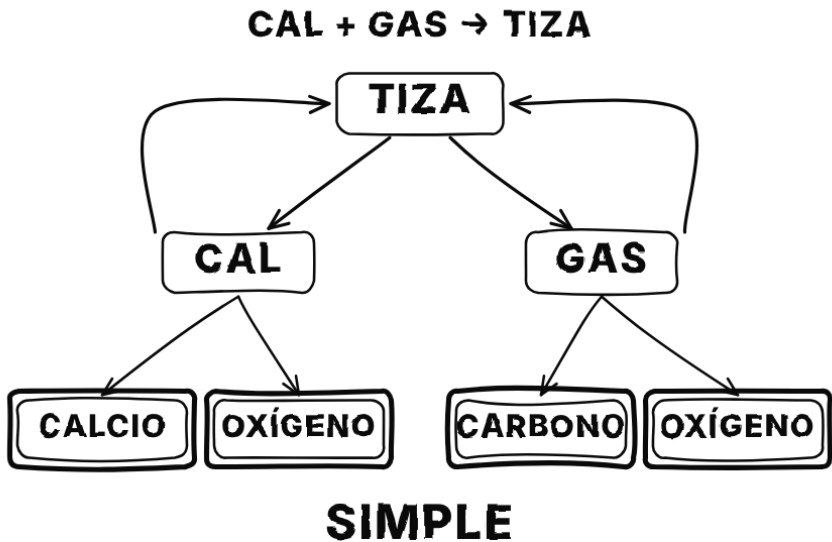
Pista: Piense en lo que cada uno creía que pasa entre el metal y el aire.

Respuesta: Stahl pensaba que un metal era un óxido terroso más flogisto, y que el flogisto se va en la oxidación, así que el cuerpo complejo era el metal. Lavoisier pesó y halló que la oxidación siempre aumenta el peso a costa del aire, así que el cuerpo más pesado, el óxido, es metal más oxígeno y es el más complejo.

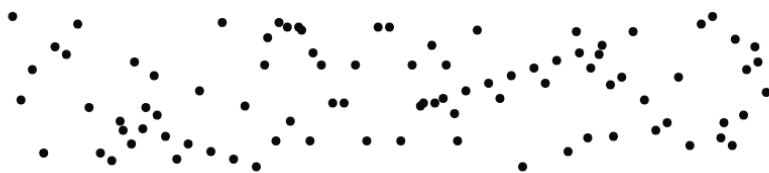
Introducción

Numerosos ejemplos de combinación y descomposición de los cuerpos muestran que la mayoría de los cuerpos con los que tenemos que tratar son cuerpos complejos, formados por varios otros cuerpos. Calentando fuertemente la tiza (como el carbonato de cobre del segundo ejemplo), obtenemos cal y el mismo gas carbónico que se produce cuando arde el carbón. Poniendo la cal en contacto con este gas (y con agua), a temperatura ordinaria obtenemos de nuevo una sustancia compleja de carbonato de cal parecida a la tiza; por tanto, la tiza es un cuerpo complejo; pero las sustancias a partir de las cuales puede obtenerse tampoco son sustancias simples, porque el gas carbónico se forma por la combinación del carbono con el oxígeno, y la cal surge por la oxidación de un metal particular llamado calcio. Dividiendo así las sustancias en sus partes componentes, se llega por fin a otras que ya no pueden dividirse por ningún medio posible en dos o más distintas, ni formarse a partir de nada. Tales sustancias solo pueden combinarse entre sí o actuar sobre otros cuerpos. Las sustancias que no pueden ni formarse a partir de nada ni descomponerse en otras se llaman simples. Así, todas las sustancias homogéneas pueden dividirse en simples y complejas. Esta noción se introdujo en la ciencia, y se ha mantenido en ella, desde los tiempos del mismo Lavoisier. El número de cuerpos simples es muy pequeño en comparación con el número de cuerpos complejos que forman. En la actualidad se conocen con certeza positiva unos setenta y cinco cuerpos simples. Algunos de ellos se encuentran muy raramente en la naturaleza o en cantidad insignificante; mientras que el número de

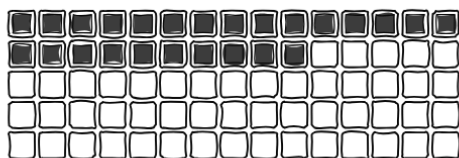
cuerpos simples con cuyos compuestos tratamos habitualmente en la vida diaria no pasa de 25.



Dividir hasta lo simple

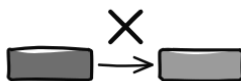


COMPLEJOS: INCONTABLES



75 SIMPLES

25 COMUNES



PLOMO ORO

CADA UNO: FIJO

Unos setenta y cinco cuerpos simples

Los cuerpos simples son incapaces de convertirse unos en otros; al menos, hasta ahora no se ha observado ni un solo caso de tal transformación, y por eso en la actualidad es imposible convertir un metal en otro; y hasta ahora, pese a muchísimos esfuerzos, no se ha hallado ni un solo hecho que justifique en lo más mínimo la idea de que los cuerpos simples indudablemente conocidos, como el oxígeno, el hierro, el azufre y otros parecidos, sean complejos. Por tanto, los cuerpos simples, por su misma noción, son incapaces de reacciones de descomposición. Por eso, como consecuencia de la ley de la eternidad de la materia y de la noción de cuerpo simple, puede deducirse que la cantidad de cada cuerpo simple permanece constante en todas las transformaciones químicas. Por tanto, la ecuación que expresa la ley de la eternidad de la materia adquiere un significado nuevo y aún más

importante. Si conocemos las cantidades de los cuerpos simples presentes en los cuerpos que actúan, y si de estos cuerpos surge por cambio químico una serie de nuevos cuerpos complejos, estos solo pueden contener la misma cantidad de cada cuerpo simple que había en los cuerpos que actúan. La esencia de las transformaciones químicas se reduce a estudiar con qué y cómo está combinado cada cuerpo simple antes y después de la transformación.

Para poder expresar con ecuaciones las diversas transformaciones químicas, se acordó designar cada cuerpo simple con una o dos letras iniciales de su nombre latino. Así, por ejemplo, O designa el oxígeno, que en latín se llama Oxygenium; N designa el nitrógeno, Nitrogenium; Hg, el mercurio, Hydrargyrum; Fe, el hierro, Ferrum; y así para cada cuerpo simple, como se verá en la tabla que se da más adelante. Un cuerpo complejo se designa poniendo una al lado de otra las letras que designan los cuerpos simples de los que consta. Por ejemplo, HgO designa el óxido rojo de mercurio, lo que muestra que está formado por oxígeno y mercurio. Además, al signo de cada cuerpo simple le corresponde una cierta cantidad relativa en peso, llamada su proporción, o peso de su átomo, de modo que la fórmula química de un cuerpo complejo indica no solo la calidad de los cuerpos simples de los que consta, sino también el contenido cuantitativo de cada cuerpo simple. Todo proceso químico puede expresarse con una ecuación formada por las fórmulas que corresponden a los cuerpos que actúan y que se producen. La cantidad en peso de los cuerpos simples en toda ecuación química debe ser igual en ambos miembros de la ecuación, porque ningún cuerpo simple se forma de nuevo ni se pierde en las transformaciones químicas.

O	OXYGENIUM		
N	NITROGENIUM		
Hg	HYDRARGYRUM		HgO
Fe	FERRUM		ÓXIDO ROJO

PESOS ATÓMICOS

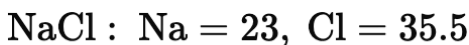
Signos de los cuerpos simples

Más adelante se enumeran los cuerpos simples más o menos conocidos y se dan los signos que les corresponden, mientras que en el prefacio se da una tabla de los cuerpos simples, sus signos y sus proporciones, o pesos de los átomos, que corresponden al signo del cuerpo simple; y en la exposición posterior veremos los fundamentos para juzgar el peso atómico de los cuerpos simples. Por ahora solo señalaremos que un cuerpo complejo que contiene los cuerpos simples A y B se designa con la fórmula A_nB_m , donde m y n son los coeficientes, o multiplicadores, con los que las proporciones de los cuerpos simples entran en la composición del cuerpo. Si designamos la proporción del cuerpo A por a y la del cuerpo B por b, la composición del cuerpo A_nB_m se expresará así: contiene na del cuerpo A y mb del cuerpo B; por tanto, en 100 partes de nuestro cuerpo

complejo hay $na \cdot 100 / (na + mb)$ partes porcentuales en peso del cuerpo simple A, y $mb \cdot 100 / (na + mb)$ del otro cuerpo simple. Es claro que mediante la fórmula conocemos el contenido relativo de cada cuerpo simple y, por tanto, si se da el peso real de un cuerpo complejo, su fórmula mostrará el peso real de los cuerpos simples que contiene. Por ejemplo, la fórmula NaCl de la sal común muestra (ya que Na = 23 y Cl = 35,5) que en 100 partes de ella hay 39,3 por ciento de sodio y 60,7 de cloro.



$$\% A = \frac{na \cdot 100}{na + mb}$$



Na 39.3 %

Cl 60.7 %

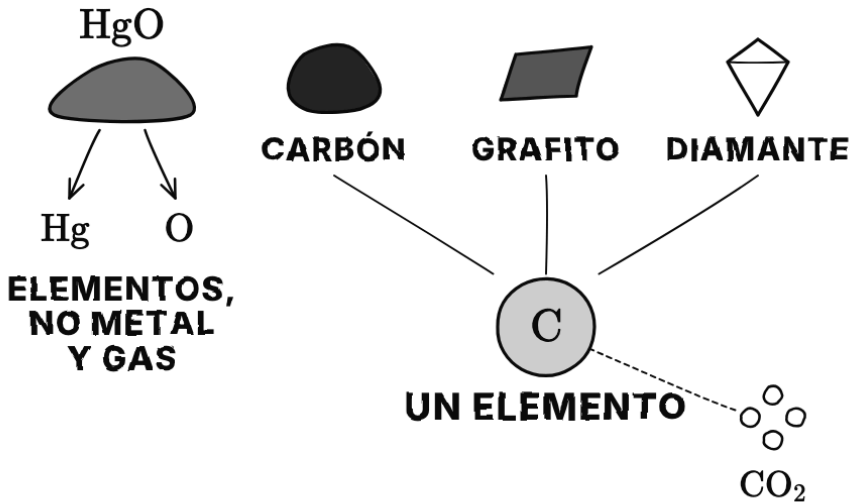
$$23 \div 58,5 = 0,393$$

Porcentaje a partir de una fórmula

Con lo dicho queda claramente limitada la noción de las transformaciones químicas: de cuerpos de una calidad dada no pueden obtenerse todos los cuerpos posibles, sino solo los que contienen los mismos cuerpos simples. Pero aun con esta primera

limitación, el número de compuestos diversos que pueden formarse sigue siendo infinitamente grande. Solo un número relativamente limitado de compuestos se ha sometido a estudio y descripción. Cualquiera que se ponga a trabajar puede descubrir fácilmente sustancias complejas nuevas, aún no obtenidas; muchos de esos cuerpos nuevos ya los prevé la ciencia. La ciencia consiste en captar la uniformidad que se oculta en esta multitud de cuerpos complejos; su objetivo es comprender las leyes que rigen su formación y sus propiedades. Una vez establecida la noción de cuerpo simple, el objetivo inmediato de la química pasó a ser determinar las propiedades de los cuerpos complejos a partir de la cantidad y la calidad de los cuerpos simples que los forman, estudiar los propios cuerpos simples, determinar qué cuerpos complejos, y con qué propiedades, puede formar cada cuerpo simple, y comprender en qué consiste y cómo es el vínculo de los cuerpos simples en las distintas sustancias complejas. El cuerpo simple sirve aquí de punto de partida, como la noción primaria a la que se reducen todas las demás. Si afirmamos que tal o cual cuerpo simple entra en la composición de un cuerpo complejo dado, si decimos que el óxido rojo de mercurio contiene oxígeno, no queremos decir con ello que el oxígeno, como sustancia gaseosa, esté contenido en el óxido de mercurio, sino solo expresar las transformaciones de las que es capaz el óxido rojo de mercurio; es decir, queremos decir que del óxido rojo de mercurio pueden obtenerse mercurio y oxígeno y que puede cederlos a otros cuerpos diversos; en una palabra, solo queremos expresar las transformaciones de las que es capaz el óxido de mercurio. Dicho brevemente, podemos decir que la composición de un cuerpo complejo es la expresión de las transformaciones de las que es capaz. En este sentido es útil distinguir claramente entre la noción de cuerpo

simple como sustancia homogénea separada y la noción de él como parte material, o elemento, de las sustancias complejas.



Cuerpo simple y elemento

El óxido rojo de mercurio no contiene dos cuerpos simples, un metal y un gas, sino dos elementos, mercurio y oxígeno, que, por separado, dan el metal y el gas oxígeno. No es el mercurio como metal ni el oxígeno en su forma gaseosa lo que contiene el óxido rojo de mercurio: contiene solo la sustancia de estos cuerpos simples, como el vapor de agua contiene solo la sustancia del hielo, pero no el hielo mismo, o como el pan contiene la sustancia del grano, pero no el grano mismo. Uno puede formarse una idea de la existencia de un elemento sin conocer el propio cuerpo simple, estudiando solo sus compuestos y sabiendo que en todas las circunstancias posibles dan

sustancias no idénticas a otros compuestos que conocemos. Así, por ejemplo, el flúor no se conoció aislado durante mucho tiempo, y sin embargo hubo que reconocerlo como elemento, porque se conocían sus compuestos con otros cuerpos simples y se había establecido la diferencia de estos compuestos con todos los demás cuerpos complejos semejantes. Para comprender aún con más claridad la diferencia entre las nociones de cuerpo simple y de elemento (o radical, como decía Lavoisier), hay que notar que los cuerpos complejos también forman compuestos nuevos, todavía más complejos. De estos compuestos nuevos puede extraerse a menudo el cuerpo complejo original exactamente por los mismos medios con los que se extraen los cuerpos simples de sus compuestos correspondientes. Además, muchos cuerpos simples existen en diversas modificaciones, mientras que un elemento simple es algo no sujeto a cambio. Así, el carbono se presenta como carbón, grafito y diamante, que son cuerpos distintos, y simples además, pero su elemento es uno solo. El mismo carbono está contenido también en el gas carbónico, pero en él no hay ni carbón, ni grafito, ni diamante.

Preguntas

1. ¿Por qué la cantidad de cada cuerpo simple permanece constante en toda transformación química?
 - a. Porque los cuerpos simples nunca participan en reacciones
 - b. Porque la materia nunca se crea ni se pierde, y los cuerpos simples no pueden descomponerse ni convertirse unos en otros

- c. Porque la balanza no puede pesar los cuerpos simples por separado
 - d. Porque los cuerpos complejos siempre contienen los mismos cuerpos simples en las mismas cantidades
2. ¿Qué dice una fórmula química como NaCl además de qué cuerpos simples contiene una sustancia?
- a. Qué aspecto y qué sabor tiene la sustancia
 - b. A qué temperatura se descompone la sustancia
 - c. Cuánto de cada cuerpo simple contiene en peso, mediante los pesos de sus átomos
3. Cuando decimos que el óxido rojo de mercurio contiene oxígeno, ¿qué queremos decir?
- a. Que de él pueden obtenerse mercurio y oxígeno y que puede cederlos a otros cuerpos
 - b. Que dentro del polvo rojo hay burbujas de gas oxígeno atrapadas
 - c. Que es una mezcla de mercurio líquido y gas oxígeno
 - d. Que se convertirá en oxígeno si se deja al aire
4. El carbón, el grafito y el diamante son cuerpos simples distintos. ¿Qué tienen en común?
- a. Todos son cuerpos complejos de carbono y oxígeno
 - b. Todos se encuentran en el gas carbónico
 - c. Tienen las mismas propiedades pero distintos colores
 - d. Son modificaciones de un mismo elemento, el carbono

Respuestas

1. **b)** Se deduce de la ley de la eternidad de la materia junto con la noción de cuerpo simple, que no puede descomponerse ni convertirse en otro.
2. **c)** Al signo de cada cuerpo simple le corresponde una cantidad relativa en peso, así que la fórmula da también el contenido cuantitativo de cada cuerpo simple.
3. **a)** Solo queremos expresar las transformaciones de las que es capaz el óxido rojo de mercurio: la composición de un cuerpo complejo es la expresión de las transformaciones de las que es capaz.
4. **d)** Muchos cuerpos simples existen en diversas modificaciones, mientras que el elemento no está sujeto a cambio: el carbón, el grafito y el diamante son cuerpos distintos, pero su elemento es uno.

Ejemplos resueltos

Porcentajes en la sal común La sal común tiene la fórmula NaCl , con $\text{Na} = 23$ y $\text{Cl} = 35,5$. ¿Qué porcentaje de su peso es sodio y qué porcentaje es cloro?

En la fórmula A_nB_m aquí A es Na y B es Cl, cada uno tomado una vez, así que $n = 1$ y $m = 1$.

El peso de una fórmula de sal es $na + mb = 23 + 35,5 = 58,5$.

El sodio supone $na \cdot 100 / (na + mb) = 23 \times 100 / 58,5$, es decir, alrededor del 39,3 por ciento.

El cloro supone $mb \cdot 100 / (na + mb) = 35,5 \times 100 / 58,5$, es decir, alrededor del 60,7 por ciento; los dos suman 100.

Respuesta: 39,3 por ciento de sodio y 60,7 por ciento de cloro

Ejercicios

1. Un químico tiene 200 gramos de sal común pura, NaCl , con $\text{Na} = 23$ y $\text{Cl} = 35,5$. ¿Cuántos gramos de cloro contiene?

Pista: Halle primero la parte de cloro en la sal y aplíquela después al peso real.

Respuesta: Unos 121,4 gramos. El cloro es $35,5/58,5$ de la sal, alrededor del 60,7 por ciento, y el 60,7 por ciento de 200 gramos son unos 121,4 gramos.

2. La tiza, calentada, da cal y gas carbónico, y la cal con este gas vuelve a dar tiza. Explique por qué esto muestra que la tiza es compleja, y por qué tampoco la cal y el gas son cuerpos simples.

Pista: Pregunte de cada sustancia si puede descomponerse o formarse a partir de otras.

Respuesta: La tiza puede dividirse en otras dos sustancias y volver a formarse a partir de ellas, así que es compleja. Pero el gas carbónico se forma de carbono y oxígeno, y la cal de la oxidación del metal calcio, así que también pueden formarse a partir de otras sustancias y son complejos. Solo son simples las sustancias que no pueden ni descomponerse ni formarse.

3. El flúor no se conoció aislado durante mucho tiempo y, sin embargo, se contaba como elemento. Explique cómo era posible.

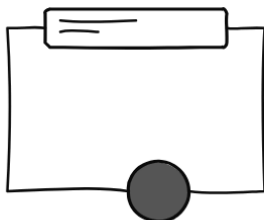
Pista: Piense en por qué se conoce un elemento: ¿por el propio cuerpo simple o por sus compuestos?

Respuesta: Un elemento puede reconocerse solo por sus compuestos. Se conocían compuestos del flúor con otros cuerpos simples, y se distinguían de todos los demás cuerpos complejos semejantes, así que debían contener un elemento distinto, incluso antes de obtener el propio cuerpo simple.

Introducción

Muchos cuerpos simples, aunque no todos, tienen el brillo particular, la opacidad, la maleabilidad y la alta conductividad del calor y de la electricidad que son propios de los metales y de sus compuestos entre sí, llamados aleaciones. Pero ni mucho menos todos los cuerpos simples son metales. Los cuerpos simples que no tienen los rasgos físicos propios de los metales se llaman metaloides. En los ejemplos marcados las dos clases de cuerpos simples se distinguen con claridad, pero en muchos casos particulares la diferencia no es marcada, y por eso no puede servir de base para una división exacta de los cuerpos simples en dos grupos.

METALES



CONDUCE

NO NÍTIDO



METALOIDES



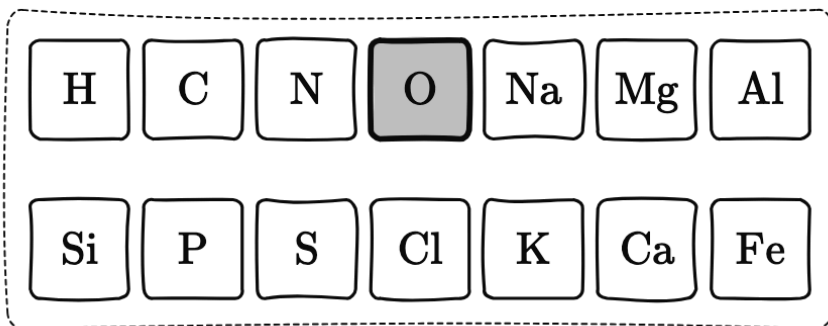
AZUFRE

MATE, FRÁGIL

UNOS 80 CUERPOS SIMPLES

Metales y metaloides

En todo caso, la noción de elementos y cuerpos simples es la base del conocimiento químico, y si damos aquí, desde el principio, una lista de los cuerpos simples, queremos con ello indicar el estado del conocimiento actual sobre este tema. En total se reconocen hasta ahora unos 80 cuerpos simples, pero algunos de ellos (unos 6) se encuentran tan raramente en la naturaleza y se han obtenido en cantidades tan pequeñas que lo que se sabe de ellos es a veces insuficiente e incompleto. Los cuerpos comunes de la naturaleza contienen un número muy pequeño de cuerpos simples. El estudio de estos últimos es más perfecto que el de los demás, aunque solo sea porque un número mayor de investigadores pudo hacer experimentos y observaciones con ellos. Los cuerpos simples más extendidos en la naturaleza son:



Los catorce más comunes

Hidrógeno, H: en el agua y en los organismos. Carbono, C: en los organismos, la hulla y las calizas. Nitrógeno, N: en el aire y en los organismos. Oxígeno, O: en el aire, el agua y la tierra; su masa es la mayor. Sodio, Na: en la sal común y en muchas piedras. Magnesio, Mg: en el agua de mar y en muchas piedras. Aluminio, Al: en las piedras y la arcilla. Silicio, Si: en la arena, la arcilla y las piedras. Fósforo, P: en los huesos, la ceniza de las plantas y el suelo. Azufre, S: en las piritas, el yeso y el agua de mar. Cloro, Cl: en la sal común y en el agua de mar. Potasio, K: en las piedras, la ceniza de las plantas y el salitre. Calcio, Ca: en las calizas, el yeso y los organismos. Hierro, Fe: en el suelo, los minerales de hierro y los organismos.

Además, los siguientes cuerpos simples, o sus compuestos, aunque no están muy extendidos en la naturaleza, se usan en la vida diaria o en la técnica:

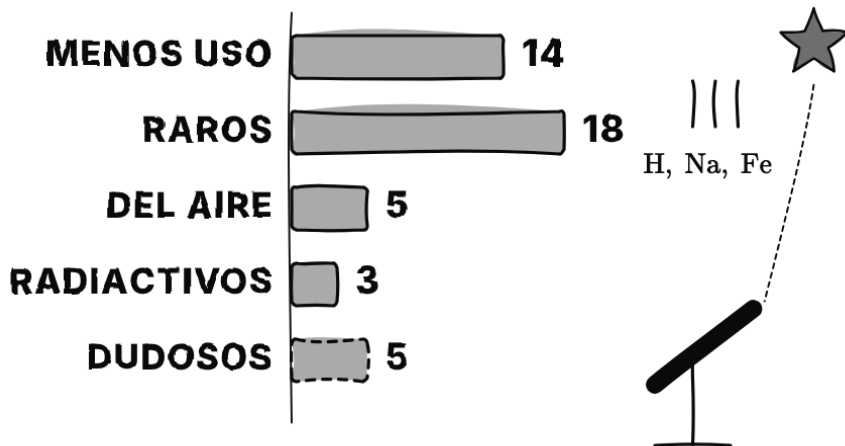
Litio, Li: en medicina como Li_2CO_3 , y en fotografía como LiBr. Boro, B: el bórax, $\text{B}_4\text{Na}_2\text{O}_7$, y el ácido bórico, BH_3O_3 . Flúor, F: el espato flúor, CaF_2 , y el ácido fluorhídrico, HF. Cromo, Cr: el anhídrido crómico, CrO_3 , y el bicromato de potasio, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Manganeseo, Mn: el peróxido de manganeseo, MnO_2 , y el camaleón, MnKO_4 . Cobalto, Co: en el esmalte y en los vidrios azules. Níquel, Ni: con él se recubren otros metales, es decir, se niquelan. Cobre, Cu: el conocido metal rojo. Cinc, Zn: en láminas, en las pilas galvánicas y en el latón. Arsénico, As: el arsénico blanco, un veneno, As_2O_3 . Bromo, Br: un líquido pardo y volátil; el bromuro de sodio, NaBr. Estroncio, Sr: en las luces de Bengala, SrN_2O_6 . Plata, Ag: el conocido metal blanco. Cadmio, Cd: un metal blanco; una pintura amarilla, CdS. Estaño, Sn: un metal muy conocido. Antimonio, Sb: en aleaciones, por ejemplo en los tipos de imprenta. Yodo, J: en medicina y fotografía, como yodo libre y como KJ. Bario, Ba: como añadido al albayalde y en el espato pesado, BaSO_4 . Platino, Pt, oro, Au, mercurio, Hg, y plomo, Pb: metales conocidos por todos. Bismuto, Bi: en medicina y en aleaciones fácilmente fusibles.

DE USO DIARIO

Li	B	F	Cr	Mn	Co	Ni	Cu
Zn	As	Br	Sr	Ag	Cd	Sn	Sb
I	Ba	Pt	Au	Hg	Pb	Bi	

De uso diario

Menos usados, pero bien conocidos y, aunque en pequeñas cantidades, bastante frecuentes en la naturaleza, son los compuestos de los siguientes cuerpos simples:



El resto de la lista

Berilio, titanio, vanadio, selenio, circonio, molibdeno, paladio, cerio, wolframio, osmio, iridio, talio, torio y uranio.

Todavía más raros en la naturaleza, y sin uso en la práctica, pero investigados con cierta plenitud, son los compuestos de los siguientes elementos:

Escandio, galio, germanio, rubidio, itrio, niobio, rutenio, rodio, indio, telurio, cesio, lantano, neodimio, praseodimio, samario, iterbio, erbio y tantalio.

Un grupo especial de cuerpos simples lo forman después las sustancias gaseosas descubiertas por Ramsay, que entran en pequeña cantidad en la composición del aire y se distinguen de todas las demás

en que hasta ahora no se ha logrado obtener ni un solo compuesto suyo con otros elementos: helio, neón, argón, criptón y xenón.

Además hay cierto fundamento para reconocer la independencia de los metales actinio, polonio y radio (descubierto por madame Curie), que entran en la composición de los llamados compuestos radiactivos, que forman una pequeña mezcla en los compuestos naturales del uranio y del torio.

Además de estos 77, se cuentan entre los cuerpos simples: gadolinio, terbio, tulio, holmio, carolinio y algunos otros. Pero sus propiedades y compuestos, por su gran rareza en la naturaleza, se conocen todavía poco, y ni siquiera se ha establecido definitivamente la independencia de algunos de ellos.

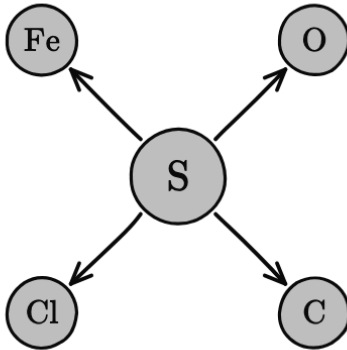
La presencia de muchos de los cuerpos simples más comunes en la tierra (por ejemplo, el hidrógeno, el sodio, el magnesio y el hierro) se ha demostrado sin duda en astros lejanos mediante el estudio de su luz. Esto nos convence de que la forma de la materia que aparece en la tierra como cuerpos simples está muy extendida en el universo. Pero por qué en la naturaleza la masa de unos cuerpos simples es mayor que la de otros, todavía no lo sabemos.

La capacidad de cada cuerpo simple para combinarse con otros elementos y formar con ellos cuerpos complejos de mayor o menor estabilidad, inclinados a dar compuestos nuevos aún más complejos, constituye el carácter fundamental de cada elemento. Así, por ejemplo, el azufre se combina fácilmente con los metales, con el oxígeno, con el cloro y con el carbono, mientras que la plata y el oro entran en compuestos con dificultad, y muchos de los compuestos que forman son inestables y se descomponen fácilmente al calentarlos fuertemente. La causa, o fuerza, que impulsa a las sustancias a los

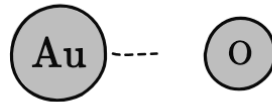
cambios químicos debe considerarse al mismo tiempo la causa que mantiene unidos en combinación elementos distintos y da a las sustancias formado cierto grado de estabilidad. Esta causa, o fuerza, se llama afinidad (*affinitas*, *affinité*, *Verwandtschaft*), o afinidad química. Como esta fuerza debe considerarse exclusivamente atractiva, como la gravitación, muchos, por ejemplo Bergman a finales del siglo dieciocho y Berthollet a comienzos del diecinueve, supusieron que la afinidad podría ser en esencia idéntica a la gravitación universal, y que toda la diferencia entre ellas dependía solo de que esta actúa a distancias apreciables, mientras que la afinidad se manifiesta solo a las distancias más pequeñas. Pero la afinidad química no puede identificarse del todo con la atracción universal, porque esta depende solo de la masa y de las distancias, y no de la calidad de la sustancia, de la que la afinidad depende mucho. Tampoco puede identificarse del todo con la cohesión, que da a los cuerpos sólidos homogéneos su forma cristalina, su elasticidad, dureza, tenacidad y propiedades parecidas, y que en los líquidos determina su superficie, la formación de gotas, el ascenso en los tubos capilares y propiedades parecidas; porque la afinidad actúa entre sustancias distintas, y la cohesión entre sustancias iguales, aunque ambas actúan solo a distancias imperceptiblemente pequeñas (por contacto) y tienen mucho en común. La fuerza química que hace que una sustancia penetre en otra no puede identificarse del todo ni siquiera con las fuerzas de atracción que hacen que cuerpos distintos se peguen o se mantengan juntos, por ejemplo dos superficies planas y pulidas de cuerpos sólidos, o que hacen que los líquidos mojen los sólidos y se adhieran a su superficie, o que los gases y vapores se condensan sobre la superficie de los sólidos. Estas fuerzas no deben confundirse con las químicas, porque bajo la acción de estas un

cuerpo es penetrado por otro y se forma uno nuevo, lo que no ocurre al pegarse.

AFINIDAD

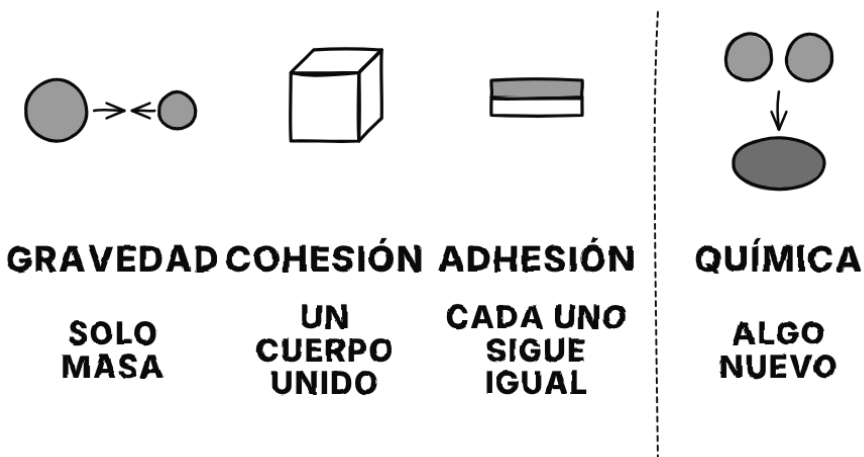


FÁCIL



APENAS

Unos se unen con facilidad, otros apenas



La afinidad no es gravedad ni cohesión

Pero es evidente que las fuerzas que determinan la cohesión de cuerpos distintos representan un paso de las fuerzas mecánicas a las químicas, porque actúan solo con un contacto pleno. Durante mucho tiempo, sobre todo en la primera mitad del siglo diecinueve, la atracción química y las fuerzas químicas se identificaron con las eléctricas. Existe, desde luego, una estrecha relación entre ellas, ya que en las interacciones químicas se desarrolla electricidad, y esta, por su parte, puede influir con fuerza en los procesos químicos; por ejemplo, los cuerpos complejos se descomponen por la acción de una corriente galvánica. Pero exactamente la misma relación de los fenómenos químicos con los térmicos (en los fenómenos químicos se desarrolla calor, y los cuerpos pueden descomponerse por el calor) muestra solo la unidad de las fuerzas de la naturaleza, la capacidad de

unas fuerzas de producir otras, de convertirse en ellas y de modificarlas. Y por eso la identificación de las fuerzas químicas con las eléctricas no pudo resistir la prueba del experimento. Como de todos los fenómenos moleculares de la naturaleza solo los térmicos se conocen hoy con la mayor perfección y plenitud (relativas), y precisamente ellos se han reducido a las nociones mecánicas más simples y fundamentales (de energía, equilibrios y movimientos), que desde los tiempos de Newton pueden someterse también a un análisis matemático riguroso, es del todo natural que haya un afán, expresado sobre todo en las últimas décadas, de poner las nociones químicas en estricta relación con los fenómenos estudiados del calor, aunque sin identificar en absoluto los fenómenos químicos con los térmicos. La naturaleza de las fuerzas químicas nos sigue tan oculta hasta hoy como la naturaleza de la gravitación universal; pero así como, sin conocer la naturaleza de esta, aplicando nociones mecánicas, los fenómenos astronómicos llegaron a someterse a una generalización exacta y a la predicción detallada de multitud de detalles, así también, sin conocer la naturaleza de la afinidad química, gracias a los éxitos de la teoría mecánica del calor, hay esperanza de lograr un éxito considerable en el estudio de la química. Pero hasta hoy esta parte del conocimiento químico aún no está del todo elaborada, y por eso, como tarea actual de la ciencia, se desarrolla con más detalle en una parte especial de la química, llamada química teórica o física, y mejor designada con el nombre de mecánica química. Como en este campo de la química se suponen ya conocidas no solo las diversas sustancias homogéneas obtenidas hasta ahora, sino también las transformaciones químicas que les ocurren y los fenómenos (térmicos y de todo tipo) que las acompañan, a la mecánica química solo puede llegarse después de conocer las nociones y las sustancias químicas fundamentales, lo cual es el objetivo principal de nuestra obra.

Preguntas

1. ¿Por qué la división de los cuerpos simples en metales y metaloides no puede servir como clasificación exacta?
 - a. Porque en muchos casos particulares la diferencia entre las dos clases no es marcada
 - b. Porque todos los cuerpos simples son en realidad metales
 - c. Porque los metaloides no pueden obtenerse puros
 - d. Porque las aleaciones pertenecen a ambas clases
2. ¿Qué muestra el estudio de la luz de los astros lejanos sobre los cuerpos simples?
 - a. Que los astros están hechos de cuerpos simples muy distintos de los de la tierra
 - b. Que los cuerpos simples más comunes de la tierra se encuentran también allí, así que esta forma de la materia está extendida por el universo
 - c. Que el hidrógeno existe solo en las estrellas
 - d. Que explica por qué unos cuerpos simples son más abundantes que otros
3. ¿Por qué la afinidad química no puede identificarse del todo con la gravitación universal?
 - a. Porque la afinidad actúa a grandes distancias y la gravitación no
 - b. Porque la gravitación repele y la afinidad atrae
 - c. Porque la gravitación depende solo de la masa y la distancia, mientras que la afinidad depende mucho de la calidad de las

sustancias

4. Dos placas pulidas de metales distintos se pegan al apretarlas. ¿Por qué no es una acción química?
- a. Porque las dos placas son metales
 - b. Porque solo las sujeta la electricidad
 - c. Porque solo se pegan los cuerpos semejantes
 - d. Porque ningún cuerpo penetra en el otro y no se forma ninguna sustancia nueva

Respuestas

1. **a)** En los ejemplos marcados las dos clases se distinguen con claridad, pero en muchos casos particulares la diferencia no es marcada.
2. **b)** El hidrógeno, el sodio, el magnesio, el hierro y otros se han hallado en astros lejanos por su luz, así que la forma de la materia que en la tierra aparece como cuerpos simples está muy extendida en el universo.
3. **c)** La atracción universal depende solo de la masa y de las distancias, no de la calidad de la sustancia, de la que la afinidad depende mucho.
4. **d)** Bajo las fuerzas químicas un cuerpo es penetrado por otro y se forma uno nuevo, lo que no ocurre al pegarse.

Ejercicios

1. Explique con sus palabras en qué se diferencia la afinidad química de la cohesión y qué tienen en común.

Pista: Pregunte entre qué clases de sustancias actúa cada fuerza y a qué distancias.

Respuesta: La cohesión actúa entre partes de la misma sustancia y da a los sólidos su forma, dureza y elasticidad, y a los líquidos sus gotas y su

superficie; la afinidad actúa entre sustancias distintas y hace que formen una sustancia nueva. Ambas actúan solo a distancias imperceptiblemente pequeñas, por contacto.

2. En el siglo diecinueve se pensaba que las fuerzas químicas eran eléctricas. ¿Por qué, según el pasaje, esa idea no pudo sostenerse, aunque la electricidad y la acción química estén estrechamente relacionadas?

Pista: Compare la relación de la acción química con la electricidad y su relación con el calor.

Respuesta: En las reacciones se desarrolla electricidad y una corriente galvánica descompone compuestos, pero el calor tiene exactamente la misma clase de relación: se desarrolla en las reacciones y descompone cuerpos. Esas relaciones muestran solo la unidad de las fuerzas de la naturaleza, que una fuerza puede producir otra y convertirse en ella, no que las fuerzas químicas sean eléctricas; y la identificación no superó la prueba del experimento.

3. El azufre se combina fácilmente con los metales, el oxígeno, el cloro y el carbono, mientras que la plata y el oro se combinan con dificultad y sus compuestos se descomponen fácilmente al calentarlos. ¿Qué le dice esto de cada elemento, en los términos del pasaje?

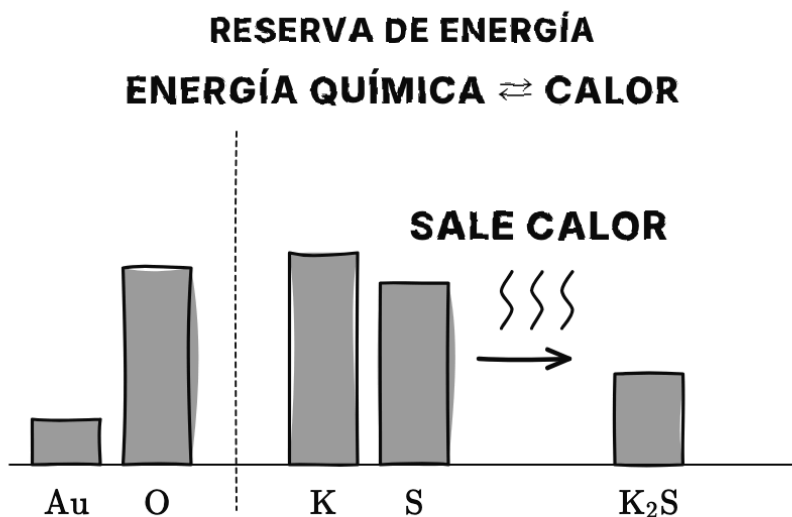
Pista: Piense en lo que el pasaje llama el carácter fundamental de un elemento.

Respuesta: La capacidad de combinarse con otros elementos y la estabilidad de los compuestos formados constituyen el carácter fundamental de cada elemento. El azufre tiene una fuerte tendencia a combinarse; la plata y el oro, una débil; y esta diferencia se atribuye a la afinidad química, la fuerza que a la vez impulsa las reacciones y mantiene unidos los compuestos.

Introducción

Como los cambios químicos de la materia proceden de fuerzas internas propias de ella, como los fenómenos químicos consisten siempre en el movimiento de partes materiales, y como el estudio de los fenómenos mecánicos y físicos establece la ley de la eternidad de las fuerzas, o de la conservación de la energía, es inevitable reconocer en las sustancias (y en particular en los elementos) una reserva de energía química, o de movimiento invisible, que las impulsa a entrar en reacciones. Si en una reacción se desprende calor, significa que parte de la energía química puede pasar a energía térmica; si en una reacción se absorbe calor, este puede (ocultarse y) pasar en parte a energía química. La reserva de fuerza, o energía, para formar nuevos cuerpos complejos puede por fin, tras varias combinaciones realizadas con pérdida de calor, disminuir tanto que se obtengan cuerpos complejos sin energía; pero estos a veces pueden combinarse con un cuerpo simple o complejo energético y volver a dar cuerpos más complejos con capacidad para interacciones químicas. Entre los cuerpos simples, el oro, el platino y el nitrógeno tienen poca energía; el potasio, el cloro y el oxígeno tienen un grado de energía muy considerable. Pero la energía tampoco se manifiesta frente a todos los cuerpos. Los cuerpos distintos entre sí, si entran en combinación, forman a menudo sustancias de energía disminuida. Así, el potasio y el azufre arden fácilmente en el aire si antes se calientan fuertemente; pero una vez combinados entre sí, el cuerpo complejo producido, aunque puede oxidarse, no arde en el aire como sus partes componentes por separado. Parte de la energía del potasio y del azufre se desprendió en forma de calor al combinarse entre sí. Así

como al pasar de un estado a otro se absorbe o se desprende parte de la reserva de calor, en las combinaciones, descomposiciones y todos los procesos químicos se produce un cambio en la reserva de energía química, y con él se desprende y se absorbe calor.



Energía que sale como calor

Para comprender los fenómenos químicos en sentido mecánico, es decir, para estudiar el curso de los fenómenos químicos, debe considerarse hoy especialmente importante lo siguiente: primero, el conocimiento de la estequiometría, es decir, de la parte de la química que estudia las relaciones cuantitativas en peso y en volumen entre las sustancias que reaccionan; segundo, la distinción de las diversas clases y tipos de interacción química; tercero, el estudio del cambio de las propiedades con el cambio de composición; cuarto, el estudio de

los fenómenos que acompañan a las transformaciones químicas; y quinto, la generalización de las condiciones en que tienen lugar las reacciones. En cuanto a la estequiometría, este campo de la química se ha elaborado con gran plenitud, y en él se han hallado leyes (por Dalton, por Avogadro y Gerhardt, y otros) que penetran tan hondo en todas las partes de la química que todo su estado actual puede caracterizarse como la época de su aplicación detallada a casos particulares. La expresión de la composición cuantitativa (en peso y en volumen) de los cuerpos sigue siendo hasta hoy la tarea más importante de las investigaciones químicas, y por eso toda la exposición posterior del tema se subordina a las leyes estequiométricas. Incluso el significado mismo de las reacciones de combinación, descomposición y desplazamiento, como veremos más adelante, ha adquirido un carácter particular y nuevo bajo la influencia del desarrollo de nociones exactas sobre las relaciones cuantitativas de los cuerpos que entran en reacción. Además, en este sentido nació una división nueva de los cuerpos complejos, que antes no existía: en compuestos definidos e indefinidos. Todavía a comienzos del siglo diecinueve Berthollet no hacía esta distinción. Pero Proust mostró que muchísimos cuerpos complejos contienen las partes componentes de las que surgen, o en las que se descomponen, en una proporción en peso perfectamente exacta, definida e invariable en cualquier condición. Así, por ejemplo, el óxido rojo de mercurio contiene 16 partes de oxígeno por 200 partes en peso de mercurio, lo que se expresa con la fórmula química HgO . Pero en una aleación de cobre con plata puede añadirse cualquier cantidad de uno u otro metal, igual que en una disolución de azúcar en agua puede variarse el contenido relativo de las partes, y aun así se obtiene un todo homogéneo, con la suma de propiedades independientes. En estos últimos casos, pues, se forma un compuesto químico indefinido.

Aunque en la naturaleza y en la práctica química (en el laboratorio y en la fábrica) la formación de compuestos indefinidos (por ejemplo, aleaciones y disoluciones) tiene un papel tan esencial como la de los compuestos químicos definidos, como las leyes estequiométricas se han aplicado hasta ahora sobre todo a estos últimos, todo lo que se sabe de los compuestos indefinidos es menos completo, y solo en los últimos años la atención de muchos investigadores se ha dirigido a este campo de la química.

COMPOSICIÓN EN PESO

DALTON · AVOGADRO · GERHARDT

DEFINIDO



Hg 200

SIEMPRE 200 : 16

INDEFINIDO




CUALQUIER PARTE

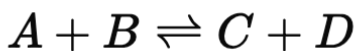
Definidos e indefinidos

Para la mecánica química es muy importante distinguir las reacciones reversibles de las irreversibles. Las sustancias que pueden reaccionar entre sí a una temperatura dada dan cuerpos que a la misma temperatura pueden o no pueden devolver las sustancias originales.

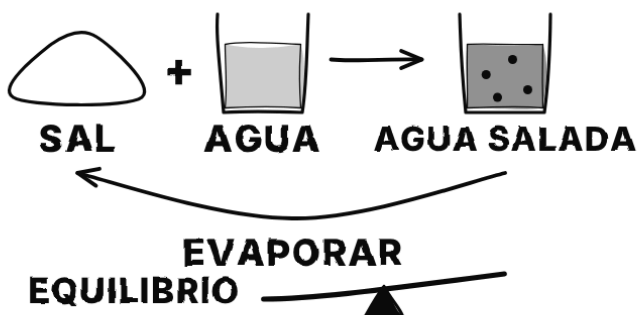
Así, por ejemplo, la sal se disuelve en agua a temperatura ordinaria, pero la disolución obtenida puede separarse a la misma temperatura, dejando sal y desprendiendo agua por evaporación. El sulfuro de carbono surge del azufre y del carbón a una temperatura a la que también puede devolver azufre y carbón. El hierro, a cierta temperatura, libera hidrógeno del agua, formando óxido de hierro, pero este óxido, a la misma temperatura, puede dar hierro y agua con el hidrógeno. Es evidente que si los cuerpos A y B dan C y D, y la reacción es reversible (es decir, C y D dan A y B), entonces, tomando una masa definida de A y B, o la masa correspondiente de C y D, obtendremos en ambos casos los cuatro cuerpos; es decir, se establecerá un equilibrio químico (o distribución) entre las sustancias que reaccionan. Aumentando la masa de una de las sustancias obtendremos nuevas condiciones de equilibrio, de modo que las reacciones reversibles ofrecen la posibilidad de estudiar la influencia de la masa en el curso de las transformaciones químicas. Muchas de las reacciones que ocurren con compuestos y mezclas muy complejos pueden servir de ejemplo de reacciones químicas irreversibles. Así, muchas sustancias complejas de los organismos (de plantas y animales) se descomponen con el calor, pero a ninguna temperatura los productos de la descomposición devuelven entre sí la sustancia original. La pólvora, como mezcla de salitre, azufre y carbón, da al arder gases y humo de pólvora, que a ninguna temperatura devuelven las sustancias iniciales. Para obtenerlas hace falta un camino indirecto: la combinación por residuos. Si A no se combina directamente con B en ninguna condición, eso no significa todavía que no puedan dar el compuesto AB. A menudo A puede combinarse con C, y B con D, y si C tiene gran afinidad por D, la interacción de AC con BD da no solo CD, sino también AB. Como al formarse CD las sustancias A y B, que estaban en AC y BD, quedan en un estado

particular de liberación, se supone que su combinación entre sí en AB ocurre precisamente porque se encuentran en este estado recién liberado, «en el momento de liberarse» (in statu nascendi). Así, por ejemplo, el cloro no reacciona directamente con el carbón, el grafito ni el diamante, que son modificaciones del carbono libre, y sin embargo existen compuestos de cloro con carbono, y muchos de ellos se distinguen por su estabilidad. Se obtienen por la acción del cloro sobre los hidrocarburos, como residuos de la reacción directa del cloro con el hidrógeno. El cloro se lleva el hidrógeno, y el carbono liberado entra, en el momento de liberarse, en combinación con parte del cloro, de modo que al final el cloro se encuentra combinado con el hidrógeno y con el carbono.

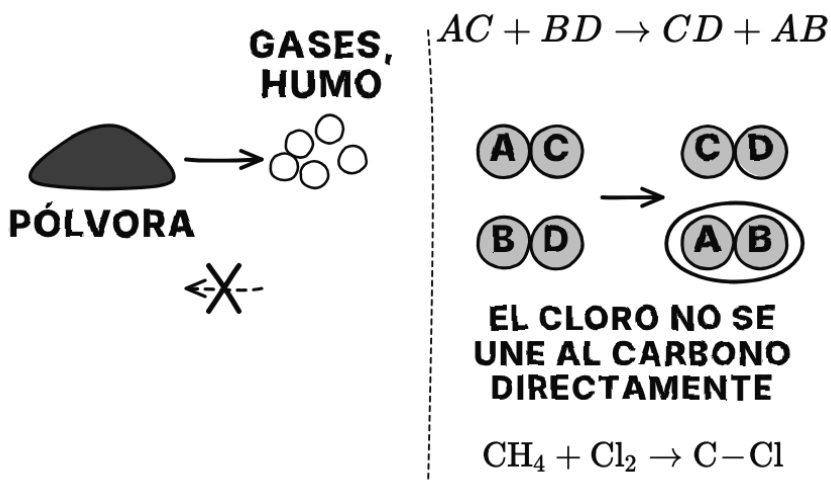
REVERSIBLE



MÁS B ↑



Reacciones en los dos sentidos



Cambios en un sentido y rodeos

Preguntas

1. El potasio y el azufre arden cada uno fácilmente en el aire, pero el compuesto que forman no. ¿Por qué?
 - a. Porque parte de su energía química se desprendió como calor al combinarse
 - b. Porque el compuesto ya no contiene potasio ni azufre
 - c. Porque el compuesto no puede oxidarse en absoluto
 - d. Porque al combinarse su energía se duplicó y quedaron demasiado estables para arder

2. ¿Cuál de estos es un compuesto indefinido en el sentido del pasaje?
- a. El óxido rojo de mercurio, con 16 partes de oxígeno por 200 de mercurio
 - b. La sal común, con una fórmula fija
 - c. Una aleación de cobre y plata, a la que puede añadirse cualquier cantidad de cualquiera de los dos metales
3. En una reacción reversible en la que $A + B \rightleftharpoons C + D$, ¿qué se encuentra si se parte de una masa definida de A y B?
- a. Solo C y D, porque la reacción llega hasta el final
 - b. Los cuatro cuerpos, porque se establece entre ellos un equilibrio químico
 - c. Solo A y B, porque la reacción no puede empezar
 - d. Un quinto cuerpo nuevo formado en el momento de liberarse
4. El cloro no reacciona directamente con el carbón, el grafito ni el diamante, y sin embargo existen compuestos de cloro y carbono. ¿Cómo se obtienen?
- a. Calentando cloro con diamante a una temperatura muy alta
 - b. Mezclando gas cloro con carbón en polvo y esperando
 - c. Mediante la electricidad, que obliga a unirse al cloro y al carbono
 - d. Haciendo actuar el cloro sobre hidrocarburos, de modo que el carbono queda libre en el momento en que puede combinarse con el cloro

Respuestas

1. **a)** Parte de la energía del potasio y del azufre se desprendió como calor al combinarse, así que el compuesto tiene la energía disminuida.
2. **c)** A una aleación de cobre con plata puede añadirse cualquier cantidad de uno u otro metal y aun así se obtiene un todo homogéneo, así que es un compuesto indefinido.
3. **b)** Como C y D también dan A y B, partiendo de cualquiera de los dos pares obtenemos los cuatro cuerpos: se establece un equilibrio químico.
4. **d)** El cloro se lleva el hidrógeno, y el carbono liberado entra, en el momento de liberarse, en combinación con parte del cloro.

Ejemplos resueltos

El oxígeno del óxido rojo de mercurio El óxido rojo de mercurio contiene 16 partes de oxígeno por 200 partes en peso de mercurio, en una proporción que nunca cambia. ¿Cuántos gramos de oxígeno hay en 54 gramos de óxido rojo de mercurio?

La proporción es definida, así que cada $200 + 16 = 216$ partes del óxido contienen 16 partes de oxígeno.

Por tanto, la parte de oxígeno en el óxido es $16/216$.

En 54 gramos hay $54 \times 16/216$ gramos de oxígeno.

$54/216 = 1/4$, así que son $16/4 = 4$ gramos; el resto, 50 gramos, es mercurio, y se mantiene la misma razón de 16 a 200.

Respuesta: 4 gramos de oxígeno

Ejercicios

1. 100 gramos de mercurio se convierten por completo en óxido rojo de mercurio, que contiene 16 partes de oxígeno por 200 de mercurio. ¿Cuánto oxígeno se absorbe y cuánto pesa el óxido?

Pista: Reduzca la proporción de 200 a 16 a 100 gramos de mercurio y luego use la ley de conservación.

Respuesta: 8 gramos de oxígeno, ya que 100 es la mitad de 200 y la mitad de 16 es 8. El óxido pesa $100 + 8 = 108$ gramos.

2. Explique con sus palabras por qué disolver sal en agua se llama una reacción reversible, mientras que la combustión de la pólvora es irreversible.

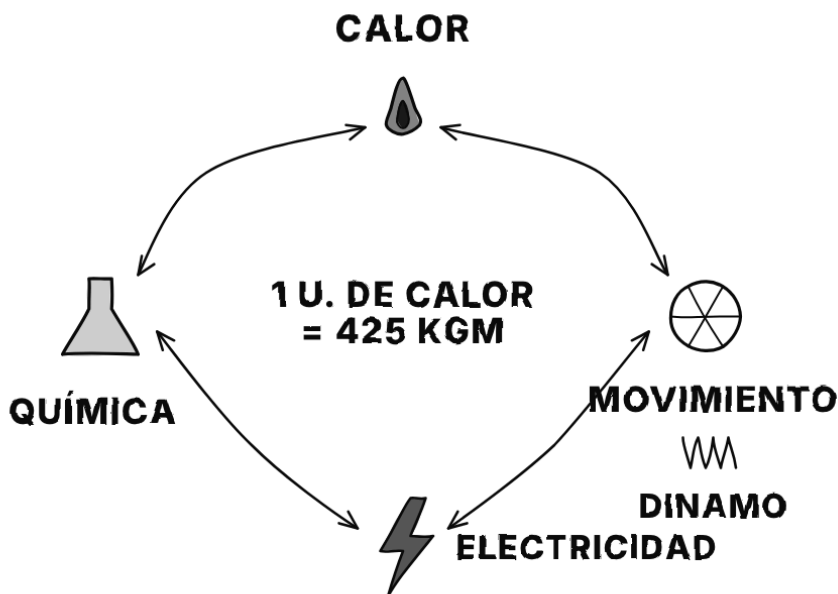
Pista: Pregunte si los productos pueden devolver las sustancias originales a la misma temperatura.

Respuesta: La disolución de sal puede volver a separarse a la misma temperatura, dejando sal y desprendiendo agua por evaporación, así que las sustancias originales vuelven. Los gases y el humo de la pólvora quemada no devuelven salitre, azufre ni carbón a ninguna temperatura, así que esa reacción es irreversible; las sustancias originales solo pueden obtenerse por un camino indirecto.

Introducción

En cuanto a los fenómenos que acompañan a la interacción de los cuerpos, lo que más importa para la mecánica química es la circunstancia de que en los procesos químicos no solo surgen desplazamiento mecánico (movimiento de partes), calor, luz, tensión eléctrica y corriente galvánica, sino que todos estos agentes son capaces a su vez de cambiar las transformaciones químicas. Tal reciprocidad, o reversibilidad, depende, desde luego, de que todos los fenómenos de la naturaleza son solo distintas clases y formas de movimientos, visibles e invisibles (moleculares). Primero el sonido, y luego la luz, resultaron ser en esencia movimientos vibratorios, como la física desarrolla y demuestra sin lugar a dudas. Después la relación del calor con el movimiento mecánico y el trabajo dejó de ser una suposición y se hizo cierta, y el equivalente mecánico del calor (425 kilográmetros de trabajo mecánico corresponden a una unidad de calor del kilogramo, o caloría) da una medida mecánica de los fenómenos térmicos. Se sabe que por medios mecánicos se obtiene electricidad tanto estática como dinámica (por ejemplo, en las dinamos de Gramme y otras), y, a la inversa, con una corriente puede producirse movimiento mecánico (en los motores eléctricos). Así, haciendo pasar una corriente por los conductores de una máquina de Gramme, puede hacerse que gire, y haciéndola girar puede obtenerse una corriente, es decir, demostrar la reversibilidad de la electricidad en movimiento mecánico. Por eso la mecánica química debe sacar los rasgos principales de su desarrollo de la relación de los fenómenos químicos con los físicos y mecánicos. Pero, por su complejidad y su relativa novedad, este tema aún no ha recibido una teoría armoniosa

ni siquiera una hipótesis satisfactoria, y por eso en la exposición posterior evitamos detenernos en él, dejando este campo de la química física como una parte aparte de nuestra ciencia.

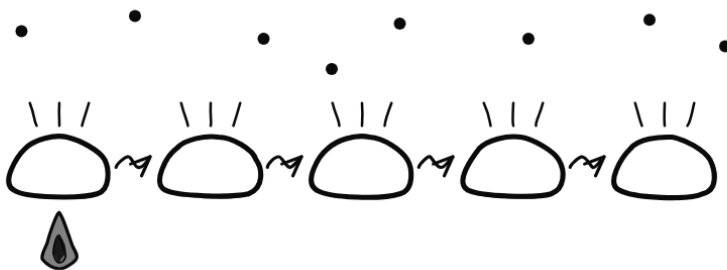


Cada fuerza se convierte en otra

El cambio químico en una dirección determinada ocurre no solo por la diferencia de masas, de composición de los cuerpos y de la distribución en ellos de partes y afinidades, o energía química, sino también bajo la influencia de las condiciones en que se encuentran las sustancias. Para que entre cuerpos capaces de reaccionar tenga lugar una reacción química determinada, a menudo hacen falta muchas condiciones, a veces muy distintas de las condiciones ordinarias en que se encuentran los cuerpos en la naturaleza. Así, por ejemplo, para que arda el carbón no solo hace falta la presencia del aire, y

precisamente del oxígeno que contiene, sino además que el carbón esté al rojo, es decir, calentado hasta un calor considerable. La parte del carbón que está al rojo se enciende, es decir, se combina con el oxígeno del aire, y en ello se desprende calor, que sirve para poner al rojo otras partes del carbón, y estas arden solo porque se han puesto al rojo de antemano. Así como la combustión del carbón depende de que esté al rojo, toda reacción química ocurre solo en ciertas condiciones físicas, mecánicas y de otro tipo. Las principales condiciones que influyen en el curso de las reacciones químicas son las siguientes.

OXÍGENO DEL AIRE



AL ROJO EL CALOR SE EXTIENDE

El carbón debe estar al rojo



Una ventana de temperaturas

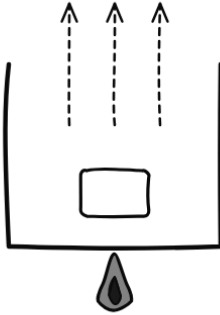
Primera: el grado de calentamiento. Las reacciones de combinación ocurren solo dentro de ciertos límites definidos de temperatura, y fuera de esas temperaturas no tienen lugar. Puede darse como ejemplo no solo que la combustión, como se señaló antes, empieza y continúa solo con un calentamiento fuerte, sino incluso que los compuestos del cloro o de la sal común con el agua se forman solo a temperaturas por debajo de 0°. A temperaturas más altas no se forman estos compuestos, y los ya formados se destruyen total o parcialmente en sus partes componentes. En algunos casos, mientras transcurre una reacción de combinación, esto puede explicarse porque uno de los cuerpos que reaccionan pasa entonces del estado sólido al líquido o al de vapor. Pasar a líquido favorece el curso de la reacción porque favorece el contacto pleno de las partículas que

actúan unas sobre otras. Otra causa a la que hay que dar importancia para explicar la influencia del calentamiento en el inicio de las reacciones es que la cohesión física, o el vínculo interno de las partículas semejantes, disminuye al calentar, y así la separación de las partes de los cuerpos tomados y su transformación en compuestos nuevos ocurre con más facilidad. En el caso de que la reacción requiera absorber calor, como en la descomposición, la necesidad de calentar es evidente por sí misma. Con base en todos los datos sobre la acción de las altas temperaturas, hoy puede afirmarse que todos los cuerpos complejos se descomponen con un calor más o menos fuerte. Ya hemos visto ejemplos de tal descomposición al describir la descomposición del óxido rojo de mercurio en mercurio y oxígeno y la descomposición de la madera bajo la acción del calor. Muchos cuerpos se descomponen con poco calor; por ejemplo, la sal fulminante de mercurio que se pone en los pistones, o cápsulas de escopeta, se descompone al calentarla apenas por encima de 120° . Multitud de cuerpos que forman los tejidos de animales y plantas se descomponen ya a una temperatura de 200° . Por otro lado, a temperaturas muy bajas no tiene lugar ninguna reacción química. Lo vemos en las plantas, que detienen sus procesos químicos con el frío del invierno. Raoul Pictet (1892), usando las temperaturas muy bajas (hasta -200°C) que se obtienen al hervir gases licuados, confirmó que a temperaturas por debajo de -120° no ocurren ni siquiera reacciones como las del ácido sulfúrico con la sosa cáustica o con el sodio metálico, y que incluso la coloración del tornasol por los ácidos empieza solo a temperaturas por encima de -80° . Así, toda reacción química requiere ciertos límites de temperatura para producirse, y en el sol, donde las temperaturas son muy altas, o en la luna, donde son muy bajas, sin duda no pueden ocurrir multitud de las transformaciones químicas que observamos en la tierra.

La influencia del calentamiento en las reacciones químicas reversibles es especialmente instructiva. Si, por ejemplo, se calienta un cuerpo complejo capaz de formarse de nuevo a partir de sus productos de descomposición y se llega a cierta temperatura en la que empieza la descomposición, para una masa definida de sustancia encerrada en un volumen definido la descomposición no termina de golpe, ni en el tiempo ni en la cantidad. Solo una parte de la sustancia se descompone, mientras la otra queda sin cambio; si la temperatura sube, aumenta la cantidad de sustancia descompuesta, y después a cada temperatura definida le corresponde, a un volumen dado, su propia relación entre sustancia descompuesta e intacta, hasta que la temperatura alcanza aquella en la que el cuerpo complejo se descompone por completo. Esta descomposición incompleta bajo la influencia de la temperatura se llama disociación. Pueden distinguirse las temperaturas de inicio y de fin de la disociación. Si a una temperatura dada ocurre la disociación, pero uno o todos los productos de la descomposición no permanecen en contacto con el cuerpo complejo sin descomponer, la descomposición llegará hasta el final. Así, la piedra caliza, con el calor de un horno encendido, se descompone por completo en cal y gas carbónico, porque este puede escapar. Pero si se encierra cierta masa de la misma piedra en un volumen definido, por ejemplo se coloca en un cañón de escopeta que luego se remacha y se calienta fuertemente, el gas carbónico no puede escapar, y entonces a cada temperatura superior a la de inicio de la disociación solo se descompondrá una parte de la piedra. La descomposición se detendrá cuando el gas carbónico desprendido ejerza la mayor presión de disociación correspondiente a la temperatura dada. Si se aumenta la presión añadiendo gas, empezará de nuevo la combinación; si se reduce la presión, continuará la descomposición. La descomposición es aquí del todo semejante a la

evaporación: si no se retira el vapor, su presión alcanza la máxima que corresponde a la temperatura, y la evaporación se detiene. Si entonces se añade más vapor, se condensará en líquido; si se quita, es decir, si se baja la presión manteniendo la temperatura, se producirá evaporación. Estas nociones de disociación, introducidas en la ciencia por Henri Sainte-Claire Deville, las desarrollaremos más de una vez más adelante. Notemos además que las partes componentes separadas de una sustancia se combinan con tanta más facilidad cuanto más cerca está su temperatura de la temperatura de inicio de la disociación; es decir, la temperatura de inicio de la disociación está cerca de la temperatura de inicio de la reacción. En algunos casos existe una temperatura de transformación química perfectamente definida, que puede determinarse directamente (y compararse con las temperaturas de fusión o de ebullición): por encima de ella ocurre, por ejemplo, la descomposición del cuerpo complejo, y por debajo su combinación, o formación, lo cual puede observarse no solo con un termómetro, sino también por el rápido cambio de volumen (con un dilatómetro) que se produce a esa temperatura de transición. Así, el yeso natural, o sal de sulfato de calcio con dos aguas ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), a 107° se descompone por completo (en un espacio cerrado; si no, el agua se va como vapor) en una papilla líquida que contiene tres cuartas partes del agua anterior en forma líquida y la sal de sulfato de calcio con media agua ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$); y a temperaturas más bajas vuelve a formarse la sal con dos aguas.

DISOCIACIÓN

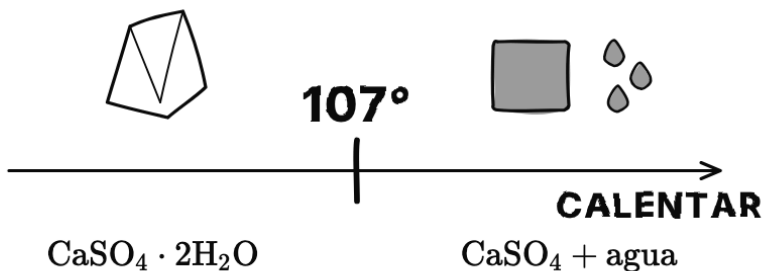


HORNO ABIERTO:
CALIZA → CAL



CERRADO: SOLO PARTE
+ GAS → SE RECOMBINA

Disociación en un cañón cerrado



COMO UN PUNTO DE FUSIÓN

El yeso cambia a 107 grados

Preguntas

1. ¿Por qué el carbón, una vez encendido, sigue ardiendo solo?
 - a. Porque el calor que desprende la parte que arde pone al rojo las partes siguientes, y solo arde el carbón al rojo
 - b. Porque el carbón arde a cualquier temperatura si hay aire
 - c. Porque el oxígeno del aire está calentado por el sol
 - d. Porque la primera chispa guarda calor suficiente para todo el carbón

2. La caliza en un horno abierto se descompone por completo, pero encerrada en un cañón de escopeta remachado solo se descompone en parte. ¿Por qué?
 - a. Porque el cañón no puede calentarse tanto como un horno
 - b. Porque en el cañón el gas carbónico no puede escapar, y la descomposición se detiene cuando su presión alcanza el mayor valor para esa temperatura
 - c. Porque el hierro reacciona con la caliza y la protege
 - d. Porque la cal solo se forma en presencia del fuego
3. En el cañón cerrado se bombea gas de modo que la presión sube mientras la temperatura se mantiene. ¿Qué ocurre?
 - a. Se descompone más caliza
 - b. Nada cambia, porque solo importa la temperatura
 - c. Empieza de nuevo la combinación: la cal y el gas carbónico vuelven a formar caliza
4. ¿Qué mostraron los experimentos de Pictet a temperaturas muy bajas?
 - a. Que todas las reacciones van más rápido con frío
 - b. Que el tornasol cambia de color solo por debajo de menos ochenta grados
 - c. Que el ácido sulfúrico congela el sodio
 - d. Que por debajo de unos menos ciento veinte grados no ocurren ni siquiera reacciones vigorosas

Respuestas

1. a) La parte al rojo se combina con el oxígeno del aire y desprende calor, que pone al rojo otras partes, y estas arden solo porque se han puesto al rojo

de antemano.

2. b) En el cañón cerrado el gas no puede escapar, así que solo se descompone una parte de la piedra; la descomposición se detiene en la mayor presión de disociación para esa temperatura.

3. c) Si se aumenta la presión añadiendo gas, empezará de nuevo la combinación, igual que el vapor añadido se condensa en líquido.

4. d) Por debajo de menos ciento veinte grados no ocurren ni siquiera las reacciones del ácido sulfúrico con la sosa cáustica o con el sodio, así que toda reacción tiene sus límites de temperatura.

Ejemplos resueltos

El calor medido como trabajo El equivalente mecánico del calor es de 425 kilográmetros de trabajo por una caloría (una unidad de calor del kilogramo). ¿Cuánto trabajo mecánico corresponde a 4 calorías?

El equivalente dice que una caloría y 425 kilográmetros de trabajo son la misma cantidad de energía en formas distintas.

Así que a 4 calorías les corresponde cuatro veces más trabajo.

$$4 \times 425 = 1700.$$

Respuesta: 1700 kilográmetros

Ejercicios

1. Una máquina hace 2125 kilográmetros de trabajo, y todo se convierte en calor. ¿Cuántas calorías son, con 425 kilográmetros por caloría?

Pista: Divida el trabajo entre el trabajo que corresponde a una caloría.

Respuesta: 5 calorías, ya que $2125 / 425 = 5$.

2. El yeso, sal de sulfato de calcio con dos aguas, se descompone a 107° en un espacio cerrado en la sal con media agua y agua líquida. Muestre que esta agua líquida es tres cuartas partes del agua que tenía el yeso, y diga qué pasa al enfriarlo por debajo de 107° .

Pista: Compare las dos aguas de antes con la media agua que conserva la sal nueva.

Respuesta: De las dos aguas, la sal nueva conserva media agua, así que se liberan $2 - \frac{1}{2} = 1\frac{1}{2}$ aguas, y $1\frac{1}{2}$ de 2 son tres cuartas partes. Por debajo de 107° vuelve a formarse la sal con dos aguas, así que es una temperatura de transición definida, como un punto de fusión.

3. Explique con sus palabras por qué la disociación se compara con la evaporación.

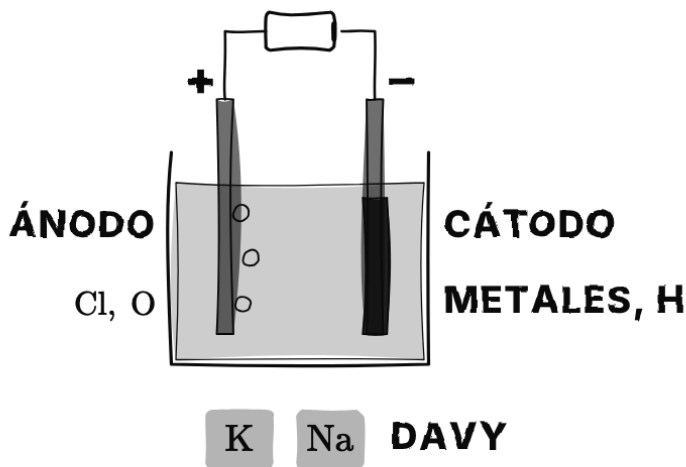
Pista: Piense en lo que ocurre cuando el vapor, o el gas, no puede salir.

Respuesta: En ambas, si el vapor o el gas no se retira, su presión sube hasta un valor máximo fijado por la temperatura y entonces el proceso se detiene. Añadir más gas o vapor lo hace retroceder, combinándose o condensándose; quitar una parte deja que la descomposición o la evaporación continúen.

Introducción

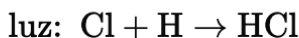
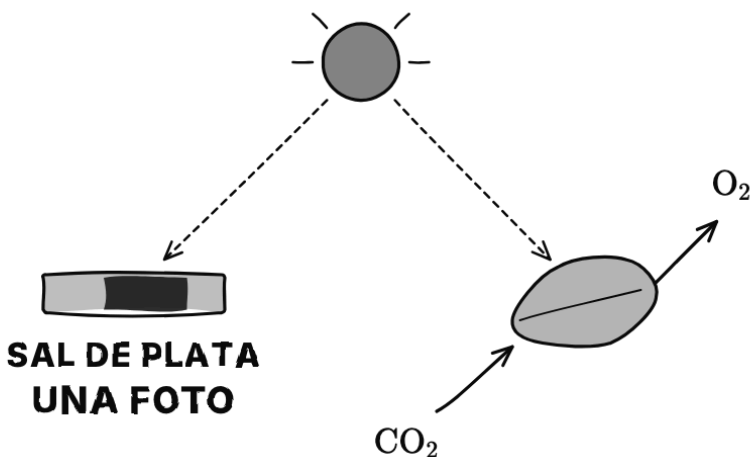
Segunda. La influencia de la corriente galvánica, y de la electricidad en general, en el curso de las transformaciones químicas es muy parecida a la influencia del calor. La mayoría de los cuerpos complejos que conducen la corriente galvánica se descomponen bajo su acción. Y cerca de las condiciones en que ocurre la descomposición suelen ocurrir también combinaciones, y por eso con la acción de la electricidad a menudo se produce combinación, exactamente como al calentar. La electricidad debe considerarse también una clase particular de movimiento molecular, como el calor, y todo lo que se refiere a la influencia del calor se refiere también a las influencias que produce la acción de la corriente; solo que aquí la división de un cuerpo en sus partes componentes puede lograrse a veces con más comodidad, porque ocurre a temperatura ordinaria. Los cuerpos más estables pueden descomponerse de este modo, y aquí se nota la importante particularidad de que las partes componentes aparecen en polos distintos, o electrodos, por los que la corriente pasa al cuerpo. Las sustancias que aparecen en el polo positivo (el ánodo) se llaman electronegativas, y las que aparecen (como, por ejemplo, los metales) en el cátodo, es decir, en el polo negativo, se llaman electropositivas. A la clase de las primeras pertenecen los cuerpos no metálicos, al menos en la mayoría de los casos, como el cloro, el oxígeno y otros parecidos, y también los ácidos y los cuerpos semejantes a ellos. En el polo negativo, en cambio, aparecen los metales, el hidrógeno y productos de descomposición semejantes a él, o iones. La descomposición de los cuerpos complejos mediante la corriente galvánica llevó en la historia de la química a descubrimientos muy

importantes. Muchos cuerpos simples se obtuvieron de este modo. Especialmente famosa es la obtención de los metales potasio y sodio, cuyos compuestos con el oxígeno Lavoisier y los químicos de su tiempo no sabían descomponer. El inglés Davy mostró que estas sustancias se descomponen con la corriente galvánica, y en el polo negativo obtuvo los metales contenidos en estos compuestos, a saber, el potasio y el sodio. En los últimos tiempos, cuando las dinamos han permitido obtener cómodamente corriente galvánica quemando combustible o usando la fuerza del agua y otros motores, se ha vuelto cómodo y rentable aplicar el método de Davy a la producción fabril de metales, por ejemplo sodio a partir de NaHO fundido, cloro a partir de disoluciones de sal común, y así sucesivamente.



Dividir con corriente

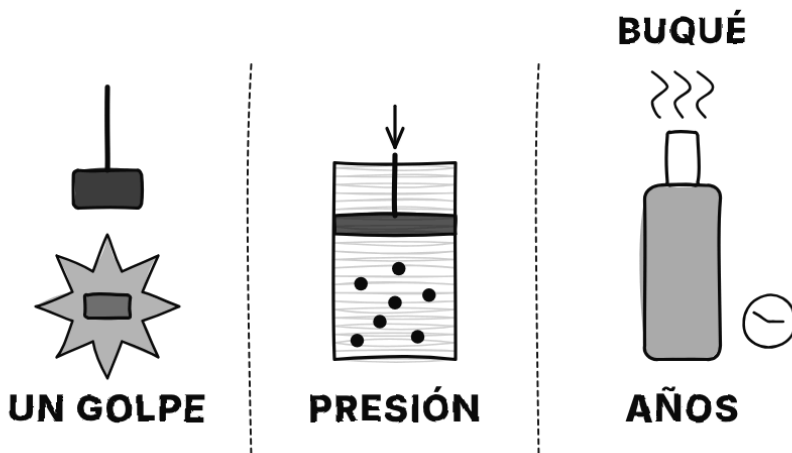
Tercera. Algunos compuestos poco estables se descomponen también por la acción de la luz. En esta propiedad de ciertas sustancias (por ejemplo, las sales de plata) se basa la fotografía. El trabajo mecánico de las vibraciones que determinan los fenómenos de la luz es muy pequeño, y por eso solo ciertos cuerpos, en general poco estables, pueden descomponerse con la luz, al menos en condiciones ordinarias. Pero hay clases de fenómenos químicos determinados por la luz que constituyen un problema todavía sin resolver de la química. Son precisamente los fenómenos que ocurren en las plantas bajo la influencia de la luz. Aquí ocurren descomposiciones y combinaciones muy diversas, a menudo todavía no reproducidas por medios artificiales. Así, por ejemplo, el gas carbónico, tan estable frente a la acción de la corriente y del calor, se descompone en las plantas bajo la influencia de la luz, desprendiendo oxígeno. El cloro se combina con el hidrógeno no solo bajo la influencia del calor, sino también bajo la influencia de la luz, lo que muestra que las combinaciones, igual que las descomposiciones, pueden provocarse por la acción de la luz.



La luz divide y une

Cuarta. Las influencias mecánicas, como las de las clases anteriores, actúan tanto sobre el curso de las combinaciones químicas como sobre el de las descomposiciones químicas. Muchas sustancias se descomponen por un simple roce o un golpe. Así es, por ejemplo, el compuesto llamado yoduro de nitrógeno, que contiene nitrógeno, yodo e hidrógeno; y así es la sal fulminante de mercurio, que se descompone por un golpe en las cápsulas de escopeta (pistones). El roce mecánico hace arder el azufre a costa del oxígeno contenido en la sal de Berthollet. La presión influye también tanto en el estado físico como en el químico de las sustancias que reaccionan, y junto con la temperatura determina el estado de las sustancias; esto se manifiesta con especial claridad cuando una sustancia está en forma gaseosa elástica, ya que entonces los volúmenes cambian mucho con un

cambio de presión, y por tanto también el número de puntos de encuentro de sustancias distintas. Así, el gas hidrógeno comprimido actúa con más energía sobre el yodo y sobre las disoluciones de muchas sales, en condiciones adecuadas de temperatura.



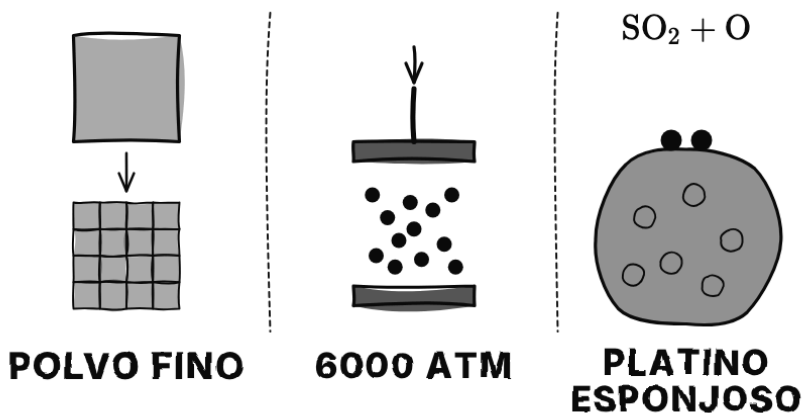
Golpes, presión y tiempo

Quinta. La influencia del tiempo en el curso de las reacciones se manifiesta no solo en que, para que los cuerpos se penetren mutuamente y pueda haber acción química entre ellos, hace falta un desplazamiento mecánico, que solo puede ocurrir con una velocidad definida (así, la combustión de una sustancia sólida en el aire, que ocurre en su superficie, depende de la renovación de esa superficie y de la llegada de aire, que solo ocurre con una velocidad limitada), sino también en que, tras el contacto pleno, el desplazamiento interno que

determina las reacciones químicas requiere su propio tiempo, o solo ocurre con una velocidad definida. Un ejemplo conocido por todos es la llamada maduración, o envejecimiento, del vino de uva, que favorece la aparición en el vino de un «buqué» particular, o principios aromáticos. Estos surgen de los ácidos y del alcohol que el vino fresco (joven) contiene por separado, y que, al guardar el vino, dan por su interacción (doble descomposición) agua y éteres compuestos aromáticos. Esta reacción, que transcurre lentamente a temperatura ordinaria y pertenece a las reversibles (es decir, los éteres compuestos y el agua pueden dar alcohol y ácido), avanza con una velocidad claramente limitada, cuyo valor depende de la temperatura y de otras condiciones. Hay muchas reacciones así, que avanzan lentamente, pero la mayoría de las transformaciones químicas más marcadas (con las que hay que familiarizarse ante todo al empezar el estudio de la química) transcurren tan deprisa que, al tratarlas, no suele tenerse en cuenta el tiempo.

Sexta. Además de las diversas circunstancias expuestas, favorece o dificulta el curso de las reacciones químicas el estado de contacto en que se encuentran los cuerpos que actúan. Aumentar el número de puntos de contacto significa, en igualdad de condiciones, aumentar la intensidad del curso de las reacciones. Basta señalar un solo ejemplo: el ácido sulfúrico no absorbe el gas oleificante en condiciones ordinarias de contacto, pero al agitarlo largo tiempo esa absorción ocurre, porque el número de puntos en contacto aumenta muchísimo. Cuando se hace actuar a los cuerpos sólidos unos sobre otros, para su interacción completa y más rápida hay que mezclarlos lo más finamente posible, convirtiéndolos en un polvo lo más fino posible. El químico belga Spring mostró que los polvos de cuerpos sólidos que no reaccionan entre sí a temperatura ordinaria pueden hacerse

reaccionar con una presión mayor. Así, a una presión de 6000 atmósferas el azufre puede combinarse con muchos metales a temperatura ordinaria, y los polvos de muchos metales forman una aleación a temperatura ordinaria. Es evidente que aquí hay que reconocer ante todo el aumento de los puntos o planos de contacto como causa de la interacción que se produce, que sin duda puede ocurrir con los cuerpos sólidos como con los líquidos o los gaseosos, porque en todos los estados de la materia, aunque en distinta medida y forma, hay que reconocer la existencia de un movimiento interno y la movilidad de las partículas que forman los propios cuerpos. Es muy importante prestar atención a que el movimiento interno, o el estado de las partes en las partículas de los cuerpos, debe ser distinto en el interior de una sustancia y en su superficie, porque dentro de un cuerpo sobre cada partícula actúan desde todos los lados otras partículas iguales, mientras que en la superficie de los cuerpos actúan solo desde un lado. Por eso el estado de una sustancia en sus superficies de contacto con otros cuerpos será modificado por ellos en mayor o menor medida, y puede ser como cuando se eleva la temperatura. Esta consideración explica la numerosa clase de reacciones químicas de contacto, es decir, las que surgen por la presencia (contacto, catálisis) de ciertos cuerpos particulares. Actúan de este modo con especial frecuencia los cuerpos porosos y en polvo, y entre ellos sobre todo el platino esponjoso y el carbón. Así, el gas sulfuroso no se combina directamente con el oxígeno, pero en presencia de platino esponjoso la combinación ocurre, con desprendimiento de calor.



Más contacto, cambio más rápido

Las nociones químicas generales e introductorias expuestas adquieren su verdadero sentido solo al conocer los detalles químicos, a los que pasaremos ahora. Con todo, era inevitable conocer desde el principio principios tan abarcadores como las leyes de la conservación de la materia y de las fuerzas, porque solo cuando se reconocen, y solo bajo su influencia, el examen de los detalles puede ser manejable y fructífero.

Preguntas

1. Cuando una corriente galvánica descompone un compuesto, ¿dónde aparecen los metales y el hidrógeno?
 - a. En el polo negativo, el cátodo, por eso se llaman electropositivos
 - b. En el polo positivo, el ánodo, por eso se llaman electronegativos
 - c. En los dos polos por igual
 - d. En ninguna parte: siguen disueltos en el líquido
2. ¿Por qué la luz, en condiciones ordinarias, solo puede descomponer ciertos cuerpos, en general poco estables?
 - a. Porque la luz solo actúa sobre la plata
 - b. Porque el trabajo mecánico de las vibraciones de la luz es muy pequeño
 - c. Porque la luz no puede llegar al interior de un cuerpo
 - d. Porque la luz solo provoca combinaciones, no descomposiciones
3. El ácido sulfúrico no absorbe el gas oleificante cuando solo se tocan, pero sí tras agitarlo largo tiempo. ¿Por qué?
 - a. Porque agitar calienta el ácido
 - b. Porque agitar hace más pesado el gas
 - c. Porque agitar aumenta muchísimo el número de puntos de contacto
4. ¿Cómo explica el pasaje que el platino esponjoso haga combinarse el gas sulfuroso con el oxígeno?
 - a. El propio platino se combina con el oxígeno y se gasta
 - b. El platino desprende calor propio

- c. El platino aporta el azufre que falta
- d. En una superficie sobre cada partícula se actúa solo desde un lado, así que cambia el estado de las sustancias que la tocan, como si subiera la temperatura

Respuestas

1. **a)** Los metales, el hidrógeno y los productos de descomposición semejantes aparecen en el polo negativo, y las sustancias que aparecen en el cátodo se llaman electropositivas.
2. **b)** El trabajo mecánico de las vibraciones que determinan la luz es muy pequeño, así que con la luz solo pueden descomponerse cuerpos poco estables.
3. **c)** Al agitar largo tiempo la absorción ocurre porque el número de puntos en contacto aumenta muchísimo.
4. **d)** El estado de una sustancia en sus superficies de contacto cambia, y puede ser como cuando se eleva la temperatura; esto explica las reacciones de contacto, o catálisis.

Ejercicios

1. Lavoisier no pudo descomponer los compuestos del potasio y del sodio con el oxígeno. Explique cómo lo hizo Davy y por qué su método se volvió después un método de fábrica.

Pista: Piense en qué polo aparecen los metales y qué abarató la corriente.

Respuesta: Davy hizo pasar una corriente galvánica por estos compuestos, y los metales potasio y sodio aparecieron en el polo negativo. Más tarde, las dinamos movidas por combustible o por la fuerza del agua abarataron la corriente, así que el mismo método se volvió rentable para producir metales como el sodio, y cloro a partir de disoluciones de sal.

2. Explique con sus palabras por qué el vino joven desarrolla su bouquet solo lentamente mientras se guarda.

Pista: ¿Qué sustancias reaccionan, a qué temperatura, y es reversible la reacción?

Respuesta: Los ácidos y el alcohol del vino joven reaccionan por doble descomposición y dan agua y éteres compuestos aromáticos. A temperatura ordinaria esta reacción avanza solo con una velocidad limitada, y es reversible, así que el bouquet tarda mucho en desarrollarse.

3. Spring hizo combinarse el azufre con metales a temperatura ordinaria. ¿Qué usó y qué razón da el pasaje para la reacción?

Pista: Piense en lo que hace la presión con los polvos que se tocan.

Respuesta: Prensó los polvos a unas 6000 atmósferas. La presión aumenta los puntos o planos de contacto entre las partículas, y como hay movimiento interno en todos los estados de la materia, los sólidos pueden entonces reaccionar igual que los líquidos y los gases.