

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

En la balanza no se pierde nada

La balanza que atrapa un gas perdido

Un polvo blanco y la piedra filosofal

Doce días bajo una campana de vidrio

Cada elemento lleva su propia cuenta

Setenta y siete ladrillos y la fuerza que los une

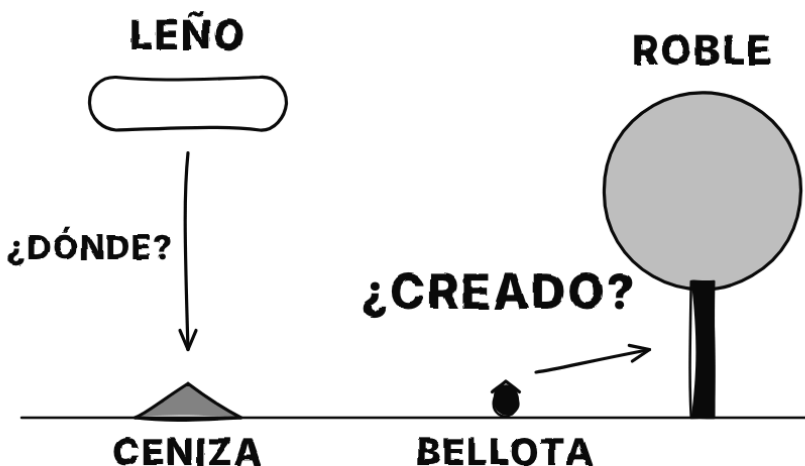
La reserva oculta de energía química

El calor abre y cierra la puerta

Corriente, luz, un golpe y un toque de platino

En la balanza no se pierde nada

Ponga un leño en una hoguera y vuelva una hora después. Donde estaba el leño pesado queda un montoncito de ceniza gris y unos pocos trozos negros de carbón. Ahora imagine la escena contraria: una semilla que pesa menos que un clip y, años después, un roble que pesa tanto como un camión. Parece que en el primer caso la materia se desvanece en la nada y en el segundo aparece de la nada. Mendeléyev abre su gran manual de química mostrando por qué ambas impresiones son falsas, y por qué entender esto fue el momento en que la química se hizo ciencia.



¿Perdido en el fuego, creado en un árbol?

Primero, ¿de qué trata la química? Mendeléyev dice que su objeto más cercano es el estudio de las sustancias homogéneas, aquellas de las que está hecho todo cuerpo del mundo, de cómo se transforman unas en otras y de lo que ocurre mientras lo hacen. Un cambio así se llama reacción. Una reacción ocurre solo cuando las sustancias se tocan lo más estrechamente posible, y la mueven fuerzas propias de las partículas más diminutas e invisibles de la materia, que él llama moléculas. La física ya había puesto nombre a la gravedad, la cohesión, el calor, la luz y la electricidad. La química tuvo que admitir algo más: fuerzas ocultas dentro de las partículas más pequeñas, quietas en condiciones ordinarias y claramente activas cada vez que una sustancia se convierte en otra.

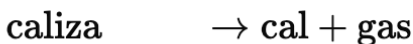
Mendeléyev clasifica las reacciones en tres clases principales. La primera es la combinación: de dos sustancias aparece una sustancia nueva, o en general, de un número dado de sustancias salen menos. Su ejemplo se puede hacer en la mesa de un colegio. Mezcle limaduras de hierro con azufre amarillo en polvo. Mientras sea solo una mezcla, un imán sacará el hierro, y un líquido aceitoso adecuado disolverá y se llevará el azufre. Ahora caliente la mezcla. Se pone incandescente, y lo que queda es una sustancia nueva y oscura, el sulfuro de hierro, en la que ni la lupa más potente encuentra un grano de hierro ni una mota de azufre. Los dos se han empapado el uno del otro y ya no se pueden distinguir ni separar a mano. Las combinaciones suelen desprender calor, y la combustión corriente es justamente una combinación así: el combustible se une a una parte del aire llamada oxígeno, y el resultado son los gases y vapores de la llama y del humo. La llama de gas de una cocina es una combinación de este tipo, que ocurre en silencio cada vez que usted hierve agua.

COMBINACIÓN



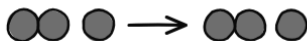
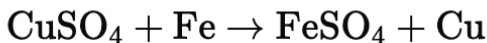
HIERRO + AZUFRE → SULFURO DE HIERRO

DESCOMPOSICIÓN



EL GAS ES DIÓXIDO DE CARBONO

SUSTITUCIÓN

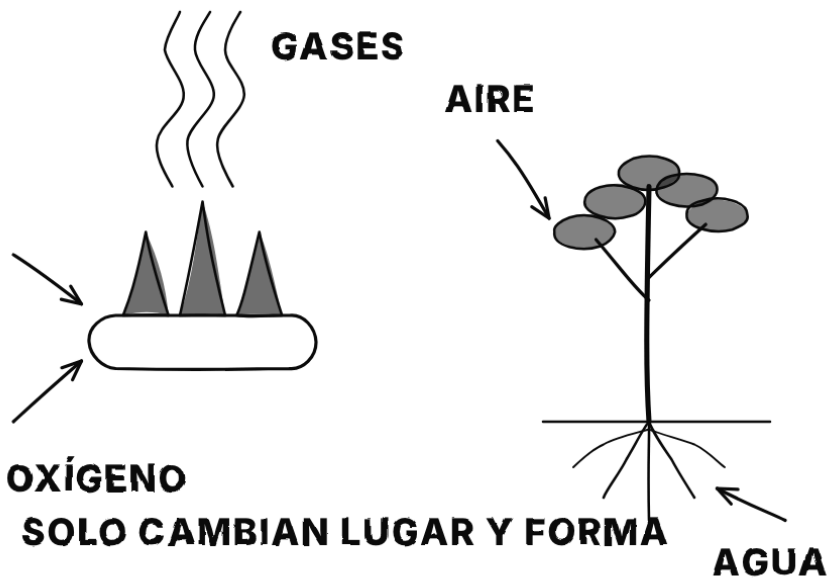


Tres clases de reacción

La segunda clase es la descomposición, lo contrario: una sustancia da dos, o un número dado da más. Caliente fuertemente madera sin que le llegue aire, y obtendrá un gas que arde, un líquido acuoso, alquitrán y carbón vegetal. Antiguamente las fábricas obtenían así, a gran escala, alquitrán, gas de alumbrado y carbón. La caliza, la tiza y el mármol, al calentarse mucho, también se descomponen: dejan cal y liberan un gas especial, el dióxido de carbono. El compuesto verde de cobre que se encuentra en el mineral malaquita hace lo mismo a una temperatura mucho más baja, tan baja que lo resiste un vidrio fino; pronto volveremos a él. Si las combinaciones suelen liberar calor, las descomposiciones suelen tragárselo. Por eso un horno de cal en una fábrica de cemento tiene que quemar combustible todo el tiempo: romper la caliza cuesta calor.

La tercera clase toma tantas sustancias como entrega, y se puede imaginar como una descomposición y una combinación ocurriendo a la vez. Suponga que empieza con dos cuerpos y termina con otros dos cuerpos. Imagine que el primer cuerpo se parte en dos trozos, conserva uno como primer producto y entrega el otro trozo al segundo cuerpo, que se une a él para formar el segundo producto. Mendeléyev llama a estas reacciones sustituciones; cuando dos sustancias dan dos nuevas, la reacción se llama doble descomposición, o intercambio. Aquí está la demostración. Disuelva en agua vitriolo azul, los cristales azules de sulfato de cobre, y sumerja un clavo de hierro en la solución azul. Al cabo de un rato el clavo se cubre de cobre rojo, y la solución se ha convertido en vitriolo verde, sulfato de hierro, que se diferencia de la sal azul solo en que el hierro ha ocupado el lugar del cobre. Del mismo modo se puede recubrir el hierro de cobre, y el cobre de plata, y estas reacciones se usan constantemente en la práctica. Platear un tenedor barato con una fina capa de plata por galvanoplastia es un primo moderno de este clavo en agua azul.

¿Por qué la gente usó los cambios químicos durante miles de años sin tener una ciencia de ellos? Mendeléyev da dos razones. La primera es que la mayoría de los cambios en la naturaleza y en la industria están enredados: muchas combinaciones, descomposiciones y sustituciones ocurren a la vez. La segunda, y más profunda, es que en muchísimas reacciones intervienen gases, sobre todo el aire. Solo en los siglos dieciséis y diecisiete se comprendió que el aire tiene peso y que un gas es un estado especial y elástico de la materia que se expande en todas direcciones. Antes de eso, los gases se escapaban de las cuentas sin que nadie lo notara, y por eso parecía que la materia podía crearse y destruirse.



Adónde va el leño quemado

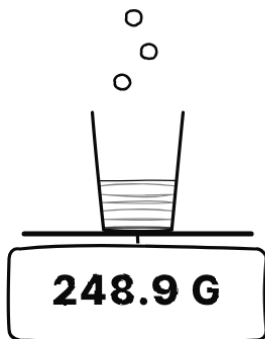
Volvamos al leño que arde. Su sustancia no desaparece; el cambio químico la convierte en gases, que se van con el humo. Recoja ese humo y encontrará gases muy distintos del aire, gases en los que una vela se apaga y un animal no puede respirar. Péselos, y resulta que pesan más que la madera quemada. El peso de más viene del aire: al arder, las partes de la madera se unen con una parte del aire, igual que el hierro gana peso al oxidarse. La pólvora tampoco desaparece al estallar; se convierte en gases y humo. Y la semilla no crece a partir de sí misma. Crece porque sus hojas toman gases del aire y sus raíces absorben agua con sustancias disueltas, y con ellas la propia química de la planta construye su savia y su cuerpo sólido. Ponga una planta en un gas sin la parte nutritiva del aire, y no crece; muere. El agua que se seca de un paño mojado tampoco se pierde: vuelve como lluvia,

rocío y nieve, y el agua que se hunde en la tierra se reúne en algún sitio y sale de nuevo como manantial. Así que la materia, en todo cambio físico y químico, solo cambia de lugar y de forma; conserva la misma cantidad que tenía. En la frase breve de Mendeléyev, la materia es eterna para nosotros.

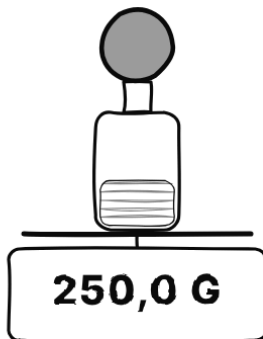
Pruébalo

Ponga juntos en una báscula de cocina un vaso de agua y una bolsita de papel con una cucharada de bicarbonato, y anote la lectura. Primero eche un poco de vinagre en el vaso y vuelva a pesar con todo en el plato, y luego vuelque el bicarbonato. La mezcla burbujea, y si el vaso está abierto, la lectura baja despacio mientras el gas se escapa a la habitación. Repita lo mismo dentro de una botella de plástico cerrada con un globo puesto en el cuello, y la lectura no se mueve en absoluto. La báscula de cocina muestra lo que a los químicos les llevó siglos ver: el peso que faltaba era solo el gas que usted dejó escapar.

ABIERTO



CERRADO



PESO ENTRA = PESO SALE

Vaso abierto, botella cerrada

Algunos filósofos de la antigua Grecia y científicos del siglo diecisiete, como Mariotte, ya sospechaban que la cantidad total de materia no cambia, pero ninguno lo enunció con claridad ni lo puso a trabajar. Los experimentos que lo decidieron los hizo en la segunda mitad del siglo dieciocho Antoine Lavoisier, académico francés y además recaudador de impuestos, a quien Mendeléyev llama el fundador de la química moderna. La herramienta de Lavoisier era la balanza, el único instrumento que indica directa y exactamente la cantidad de una sustancia. Pesaba cada sustancia con la que empezaba, e incluso los recipientes que usaba, y luego pesaba todo lo que salía tras el cambio. Cada vez encontraba que el peso total de los productos era igual al peso total de las sustancias tomadas.

Esa es la ley de conservación de la materia, y se puede decir de varias maneras: la materia no se crea ni se destruye; la materia es eterna; la masa, o el peso, de la materia en la naturaleza permanece constante. Mendeléyev es cuidadoso aquí. Señala que estas frases cortas contienen una conjetura sobre toda la naturaleza, y que lo realmente observado es más largo y más modesto. En todos nuestros experimentos, y en todo fenómeno natural estudiado, nadie ha encontrado nunca que los productos pesen más o menos que las sustancias tomadas, dentro de la precisión de la balanza. Como el peso es proporcional a la masa, es decir, a la cantidad de materia, nadie ha visto nunca desaparecer materia ni aparecer materia nueva. Una balanza moderna de laboratorio aprecia la diezmilésima de gramo, y la ley se cumple con esa precisión en toda reacción corriente.

La ley es útil además de cierta, porque permite escribir un balance, una ecuación, para cada reacción. Suma los pesos de todo lo que entra; suma los pesos de todo lo que sale; las dos sumas deben ser iguales. Aquí va un cálculo en voz alta, con el hierro y el azufre del principio. Caliente cincuenta y seis gramos de hierro con treinta y dos gramos de azufre, y forman un solo compuesto sin que sobre nada. Cincuenta y seis más treinta y dos son ochenta y ocho, así que el sulfuro de hierro debe pesar ochenta y ocho gramos, ni más ni menos. Y si un leño quemado parece pesar menos después, el balance le dice enseguida que algo salió de la habitación: el peso que falta está en los gases del humo.

56 G HIERRO 32 G AZUFRE

ENT.  **88 G**

=

SALE  **88 G**

88 G FES

FALTA = GAS

$$56 + 32 = 88$$

Para recordar

La química estudia cómo las sustancias homogéneas se transforman unas en otras, y cada uno de esos cambios, una reacción, necesita el contacto más estrecho entre las partículas. Las reacciones son de tres clases principales: combinación, donde salen menos sustancias de las que entraron; descomposición, donde salen más; y sustitución, donde salen tantas como entraron, como cuando el hierro ocupa el lugar del cobre en el vitriolo azul. La química llegó tarde porque las reacciones están enredadas y porque los gases, que tienen peso, quedaban fuera de las cuentas. Lavoisier, pesándolo todo antes y después, mostró que el peso total nunca cambia: la materia no se crea ni se destruye. Esto da a cada reacción un balance, en el que lo que entra debe pesar exactamente lo mismo que lo que sale.

Preguntas

1. El humo recogido al quemar madera pesa más que la propia madera. ¿Por qué?
 - a. La combustión crea un poco de materia nueva a partir del calor de la llama.
 - b. Las partes de la madera se unen con una parte del aire, y ese aire añade su peso.
 - c. El humo es más denso que la madera, así que la misma materia pesa más como humo.
 - d. La ceniza que queda ha pasado parte de su peso al humo.

2. Se sumerge un clavo de hierro en una solución azul de vitriolo de cobre; aparece cobre rojo sobre él y la solución se vuelve verde. ¿Qué clase de reacción es?
- a. Una combinación, porque el cobre se une al clavo.
 - b. Una descomposición, porque la sal azul se deshace en cobre solo.
 - c. Una sustitución, porque el hierro ocupa el lugar del cobre y dos sustancias dan dos nuevas.
 - d. Ninguna reacción, solo cobre que se deposita de una mezcla.
3. ¿Por qué una verdadera ciencia química surgió solo después de los siglos dieciséis y diecisiete?
- a. Solo entonces se comprendió que el aire y los gases tienen peso y participan en las reacciones.
 - b. Solo entonces los hornos alcanzaron temperatura suficiente para producir reacciones.
 - c. Solo entonces la gente empezó a usar los cambios químicos en su trabajo.
 - d. Solo entonces se vieron moléculas al microscopio.
4. Antes de calentar, un imán saca el hierro de una mezcla de hierro y azufre; después de calentar, no puede. ¿Qué muestra esto?
- a. El calor ha destruido el hierro.
 - b. El hierro se ha calentado demasiado para ser magnético durante un rato.
 - c. El hierro se ha escapado como gas mientras la mezcla brillaba.

- d. Se ha formado una sustancia nueva en la que ya no se pueden distinguir el hierro y el azufre.

Respuestas

1. **b)** Al arder, la madera se combina con una parte del aire, igual que el hierro al oxidarse, así que los gases llevan el peso de la madera más el del aire tomado.
2. **c)** Dos sustancias, el hierro y el vitriolo azul, dan dos nuevas, el cobre y el vitriolo verde, porque el hierro ha ocupado el lugar del cobre en la sal.
3. **a)** Antes de saber que los gases tienen peso, los gases se escapaban de las cuentas sin que nadie lo notara, así que la materia parecía crearse y destruirse y no era posible una cuenta exacta.
4. **d)** Los dos se han combinado en sulfuro de hierro, en el que no se puede encontrar ni separar a mano el hierro ni el azufre, a diferencia de la mezcla anterior.

Ejemplos resueltos

Pesar una combinación Un químico calienta 14 gramos de limaduras de hierro con 8 gramos de azufre. Ambos se consumen por completo y forman sulfuro de hierro. ¿Cuánto pesa el sulfuro de hierro?

Por la conservación de la materia, el peso total de lo que sale es igual al peso total de lo que entró.

Entraron 14 gramos de hierro y 8 gramos de azufre, juntos 22 gramos.

No intervino nada más y no sobra nada, así que el único producto lleva todo el peso.

Por tanto, el sulfuro de hierro pesa 22 gramos.

Respuesta: 22 gramos

Encontrar el gas que no se ve Un trozo de tiza de 100 gramos se calienta fuertemente hasta que se descompone del todo, y la cal que queda pesa 56 gramos. ¿Cuánto dióxido de carbono se fue?

Calentar la tiza es una descomposición: una sustancia da cal y el gas dióxido de carbono.

Por la conservación de la materia, la cal y el gas juntos deben pesar lo mismo que la tiza, 100 gramos.

La cal son 56 gramos, así que el gas es lo que queda: 100 menos 56.

Son 44 gramos de dióxido de carbono, que se escaparon sin verse al aire.

Respuesta: 44 gramos

Ejercicios

1. Se deja oxidar un clavo de hierro en un frasco cerrado con aire. Después el clavo oxidado pesa más que el limpio. ¿El frasco cerrado con todo lo que contiene pesa más, menos o lo mismo que antes? Explíquelo.

Pista: Pregúntese de dónde vino el peso de más del clavo, y si ese lugar está dentro del frasco.

Respuesta: Lo mismo. El clavo ganó peso uniéndose a una parte del aire, y ese aire ya estaba dentro del frasco, así que el peso total no cambia: la materia solo pasó del aire al óxido.

2. En un recipiente cerrado, 32 gramos de un combustible arden por completo con el oxígeno del aire interior, y los gases formados pesan 160 gramos en total. ¿Cuánto oxígeno tomó el combustible del aire?

Pista: Lo que entra, el combustible y el oxígeno, debe pesar lo mismo que lo que sale.

Respuesta: 128 gramos. Los productos pesan 160 gramos y el combustible eran 32 gramos, así que el oxígeno que se le unió fue 160 menos 32.

3. Una semilla pequeña crece hasta un árbol cientos de veces más pesado. Explique, sin llamarlo creación de materia, de dónde vino el peso del árbol.

Pista: Piense en lo que toman las hojas y las raíces.

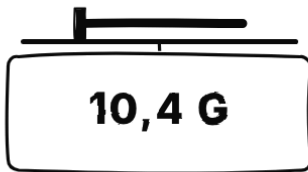
Respuesta: La materia del árbol vino de fuera: sus hojas toman gases del aire y sus raíces absorben agua con sustancias disueltas, y la química de la planta construye con ellas su cuerpo. No se creó nada; la materia solo cambió de lugar y de forma.

La balanza que atrapa un gas perdido

Deje un clavo de hierro brillante en un sitio húmedo durante una semana. Se vuelve marrón y escamoso, y si lo hubiera pesado antes, vería que ahora pesa más. Algo se le ha añadido, aunque usted no vio que nada se le acercara. El balance de la parte anterior, donde los pesos que entran deben igualar a los que salen, está a punto de mostrarnos qué es ese algo.

?

$$\sum m_{\text{tomada}} = \sum m_{\text{obtenida}}$$



INCÓGNITA → HALLADA

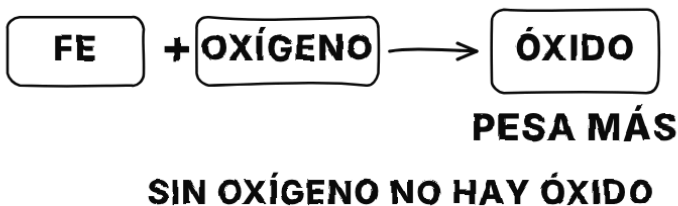
DESAJUSTE → OLVIDO

El clavo oxidado pesa más

Mendeléyev escribe la ley en una línea que, en palabras, dice esto: los pesos de todas las sustancias tomadas, sumados, igualan a los pesos

de todas las sustancias producidas, sumados. Esa sola igualdad tiene un uso práctico. Si se conocen todos sus pesos menos uno, el que falta se puede calcular. Y si un químico olvida una sustancia que participó, las dos sumas se negarán a coincidir, y el propio desajuste delata la omisión. Mendeléyev dice que quien empieza en la química debe familiarizarse por completo con esta verdad sencilla, y por eso da tres ejemplos.

El primero es el hierro. En aire húmedo el hierro se oxida, y calentado fuertemente al aire se cubre de una cascarilla, una costra terrosa muy parecida a los minerales de hierro que se sacan de la tierra. Pese el hierro antes y después, y verá que ha ganado peso. Lavoisier mostró de dónde viene la ganancia: de la parte del aire llamada oxígeno, la que mantiene encendido un fuego. La prueba es sencilla: en el vacío, o en gases sin oxígeno como el hidrógeno o el nitrógeno, el hierro ni se oxida ni forma cascarilla. Como el metal pesa más, la cascarilla debe ser más compleja que el hierro, y su formación debe ser una combinación. El óxido de una vieja cadena de bicicleta pesa más que el acero limpio que se comió, porque ha tomado oxígeno del aire.

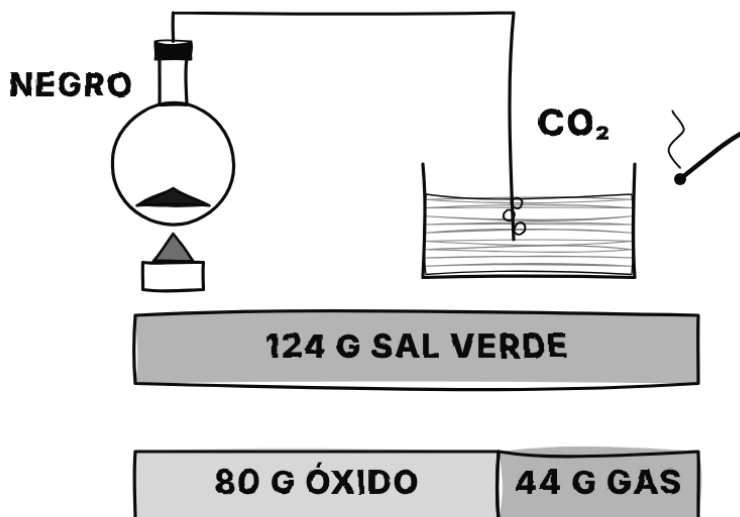


El hierro gana, no pierde

Sin la balanza era fácil entenderlo al revés, y durante mucho tiempo así se hizo. Antes de Lavoisier, los químicos creían que la cascarilla era el cuerpo más simple. Imaginaban que el hierro contenía una sustancia misteriosa, que llamaban flogisto, y que el calor expulsaba el flogisto y dejaba atrás la cascarilla terrosa. Pero si algo se hubiera ido, la cascarilla pesaría menos que el hierro, y pesa más. Solo con pesar se derribó la vieja idea.

El segundo ejemplo va en sentido contrario. El polvo verde que se vende como carbonato de cobre, y la piedra verde malaquita, usada en adornos y como mineral de cobre, se vuelven negros al calentarse. La sustancia negra es óxido de cobre, la misma cascarilla que se forma sobre el cobre calentado al aire. Esta vez el residuo negro pesa menos

que la sal verde. Así que el cambio es una descomposición: algo se ha ido. Cierre el recipiente con un tapón ajustado, lleve un tubo de él al agua, y al calentar saldrán burbujas de gas a través del agua. Recoja ese gas y meta en él una astilla encendida, y la astilla se apaga, como si la hubiera metido en agua; es dióxido de carbono, transparente e incoloro como el aire, y por eso era tan fácil pasarlo por alto.

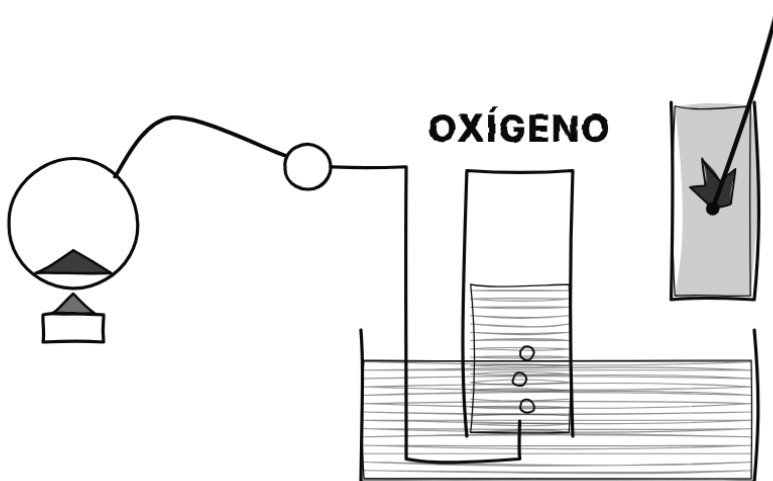


$$124 \text{ g} = 80 \text{ g} + 44 \text{ g}$$

Aquí va el cálculo en voz alta. Suponga que calienta ciento veinticuatro gramos de carbonato de cobre puro, y quedan ochenta gramos de óxido de cobre negro. El balance dice que el óxido y el gas juntos deben sumar ciento veinticuatro gramos. Así que el gas debe pesar ciento veinticuatro menos ochenta, es decir, cuarenta y cuatro gramos. Mendeléyev dice que esto se puede comprobar exactamente:

pese también el gas, y los pesos del óxido negro y del dióxido de carbono suman el peso de la sal verde. En una balanza de laboratorio que aprecia la centésima de gramo, los cuarenta y cuatro gramos de un gas invisible se ven tan claros como los ochenta gramos de polvo negro.

El tercer ejemplo es el que Mendeléyev llama especialmente importante para la historia de la química. Caliente mercurio al aire y poco a poco se convierte en un polvo rojo, el óxido rojo de mercurio. Ponga este polvo rojo en una retorta de vidrio, un matraz redondo con un cuello largo y curvado. El cuello entra por un tapón ajustado en un pequeño bulbo de vidrio, y del bulbo un tubo baja curvándose hasta una cubeta con agua. Cualquier gas que se forme no tiene otra salida que el tubo, así que usted lo ve como burbujas en la cubeta.



Atrapar el gas bajo el agua

Para atrapar el gas, se llena de agua hasta el borde un cilindro alto de vidrio, se cierra, se pone boca abajo y se abre bajo el agua. El agua se queda arriba dentro de él, sostenida por la presión del aire sobre la cubeta. Ponga la boca del cilindro sobre el extremo del tubo, y las burbujas suben a él y empujan el agua hacia abajo. Al calentar la retorta, primero sale aire corriente, que se dilata por el calor; luego sale un gas distinto. Cierre el cilindro bajo el agua, sáquelo, póngalo boca arriba y baje dentro una astilla que solo está al rojo. En aire corriente esa astilla se apaga sola; en este gas estalla en una llama brillante. Es el oxígeno, un gas que mantiene la combustión mucho más fuerte que el aire.

Pruébalo

Apague de un soplo una cerilla de madera y, mientras la punta sigue al rojo, sosténgala sobre las burbujas de un vaso recién preparado de agua oxigenada de farmacia con una pizca de levadura seca removida. La espuma desprende oxígeno, y si la brasa está bastante cerca, se aviva o incluso vuelve a encenderse. Es la misma prueba que describe Mendeléyev, hecha con un vaso de cocina en lugar de una retorta.

Al mismo tiempo, en las partes frías de la retorta y en el bulbo se juntan una película brillante y gotitas de metal líquido: el vapor de mercurio que se condensa. Así que el óxido rojo da dos cuerpos, mercurio y oxígeno; uno se ha vuelto dos, y eso es una descomposición. De nuevo los pesos cuadran entre sí. Digamos que calienta veintiún gramos y siete décimas de óxido rojo y recoge veinte gramos y una décima de mercurio; entonces el oxígeno que pasó al cilindro debe pesar un gramo y seis décimas.



ANTES

21,7 G ÓXIDO



1,6 G OXÍGENO



20,1 G MERCURIO
DESPUÉS

EL GAS DEL AIRE Y EL FUEGO

$$21,7 \text{ g} = 20,1 \text{ g} + 1,6 \text{ g}$$

Antes de Lavoisier ya se sabía recoger gases, pero fue él quien mostró qué papel juegan. El oxígeno liberado del polvo rojo es el mismo gas que hay en el aire, el gas que respiran los animales, en el que arden las cosas y que convierte los metales en óxido y cascarilla, las sustancias terrosas, como los minerales, de las que se obtienen los metales. Por eso este pequeño experimento con polvo rojo cambió toda la química.

Para recordar

El balance de una reacción permite hallar un peso desconocido a partir de todos los demás, y avisa enseguida cuando se ha dejado fuera una sustancia. El hierro pesa más al oxidarse, porque se combina con el oxígeno del aire; la vieja idea del flogisto que se escapaba era errónea, como muestra el pesaje. El carbonato de cobre verde pierde peso al calentarse, porque se descompone en óxido de cobre negro y dióxido de carbono, y los dos pesan exactamente lo que pesaba la sal. El óxido rojo de mercurio, al calentarse, se separa en mercurio y oxígeno, el gas que hace que una astilla al rojo se inflame. Ese oxígeno es el mismo gas que está en el aire que respiramos y en todo fuego.

Preguntas

1. El hierro calentado al aire se cubre de cascarilla y pesa más. ¿Qué nos dice el pesaje sobre la cascarilla?
 - a. Es más simple que el hierro, porque algo ha sido expulsado del metal.
 - b. Es más compleja que el hierro, porque el metal se ha combinado con algo del aire.
 - c. Es la misma sustancia que el hierro, solo que en otra forma.
 - d. Es ceniza de impurezas que ardieron en el hierro.
2. ¿Por qué fracasó la idea del flogisto en cuanto empezó el pesaje cuidadoso?

- a. Se descubrió que el flogisto era un gas, así que no podía estar dentro de un metal.
 - b. Nadie logró recoger flogisto en un cilindro sobre agua.
 - c. Si el flogisto saliera del hierro, la cascarilla pesaría menos, pero pesa más.
 - d. Lavoisier mostró que el hierro nunca forma cascarilla al calentarse.
3. El carbonato de cobre verde se convierte en óxido de cobre negro, que pesa menos que la sal verde. ¿Qué debe concluir primero un químico?
- a. alguna sustancia ha salido de la sal, muy probablemente un gas que no se ve.
 - b. Parte de la materia de la sal ha sido destruida por el calor.
 - c. El óxido negro es más denso, así que pesa menos para la misma cantidad.
 - d. La sal se ha combinado con el oxígeno del aire.
4. ¿Cómo se distingue el gas del óxido rojo de mercurio del aire corriente?
- a. Apaga una astilla encendida, como si se metiera en agua.
 - b. Tiene color, mientras que el aire es incoloro.
 - c. Se queda en el cilindro aunque se abra boca abajo.
 - d. Una astilla que solo está al rojo estalla en él en una llama brillante.

Respuestas

1. b) El metal pesa más, así que algo se añadió: la cascarilla es hierro combinado con oxígeno del aire, una combinación y no una pérdida.

- 2. c)** Que algo saliera haría la cascarilla más ligera que el hierro; la cascarilla pesa más, así que el pesaje derribó la vieja idea.
- 3. a)** Como la materia no se pierde ni se crea, una pérdida de peso significa que algo ha salido: aquí, el dióxido de carbono incoloro.
- 4. d)** En aire corriente una astilla al rojo se apaga sola; en oxígeno se inflama, porque el oxígeno mantiene la combustión mucho más fuerte que el aire.

Ejemplos resueltos

El gas de la sal verde de cobre Se calientan 124 gramos de carbonato de cobre puro hasta que todo se ha vuelto negro, y quedan 80 gramos de óxido de cobre negro. ¿Cuánto dióxido de carbono se desprendió?

Calentar la sal verde es una descomposición en óxido de cobre negro y dióxido de carbono.

Por el balance, el óxido y el gas juntos pesan lo que la sal tomada, 124 gramos.

El óxido pesa 80 gramos, así que el gas es la diferencia, 124 menos 80.

Da 44 gramos de dióxido de carbono, que salieron sin verse por el tubo.

Respuesta: 44 gramos

El oxígeno del óxido rojo de mercurio Se calientan 21,7 gramos de óxido rojo de mercurio hasta que se descompone del todo, y se recogen 20,1 gramos de mercurio. ¿Cuánto oxígeno se desprendió?

El óxido rojo se descompone solo en dos cuerpos, mercurio y oxígeno.

Así que el mercurio y el oxígeno juntos pesan lo que pesaba el óxido, 21,7 gramos.

El mercurio son 20,1 gramos, así que el oxígeno es 21,7 menos 20,1.

Son 1,6 gramos de oxígeno.

Respuesta: 1,6 gramos

Ejercicios

1. Una tira de cobre de 64 gramos se calienta al aire hasta que se convierte toda en óxido de cobre negro, que pesa 80 gramos. ¿Cuánto oxígeno del aire tomó el cobre?

Pista: Entran cobre y oxígeno, sale solo óxido de cobre.

Respuesta: 16 gramos. El óxido pesa 80 gramos y el cobre eran 64 gramos, así que se le unieron 80 menos 64 gramos de oxígeno.

2. Un estudiante calienta algo de carbonato de cobre verde en un plato abierto y pesa solo el plato antes y después. Los pesos no coinciden, y concluye que la materia se destruyó. ¿Qué pasó por alto, y cómo podría comprobarlo?

Pista: Piense en lo que salió de la sal y que el ojo no ve.

Respuesta: Pasó por alto el dióxido de carbono incoloro que se escapó. Calentar en un recipiente con tapón y un tubo hacia el agua mostraría el gas como burbujas, y pesar el gas recogido igualaría los dos lados del balance.

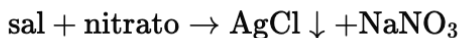
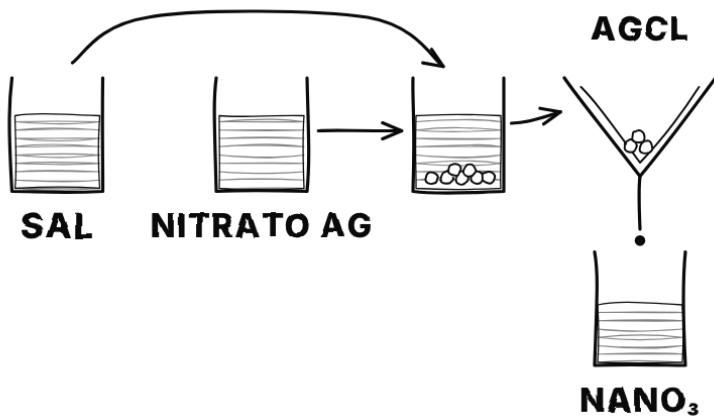
3. Se calienta hierro en un recipiente lleno de nitrógeno en lugar de aire, y no gana peso ni forma cascarilla. ¿Qué le dice esto sobre de dónde viene el peso de más de la cascarilla?

Pista: Compárelo con lo que pasa en aire corriente.

Respuesta: El peso de más debe venir del oxígeno del aire: en un gas sin oxígeno, como el nitrógeno, el hierro ni se oxida ni forma cascarilla, así que sin oxígeno no se añade nada.

Un polvo blanco y la piedra filosofal

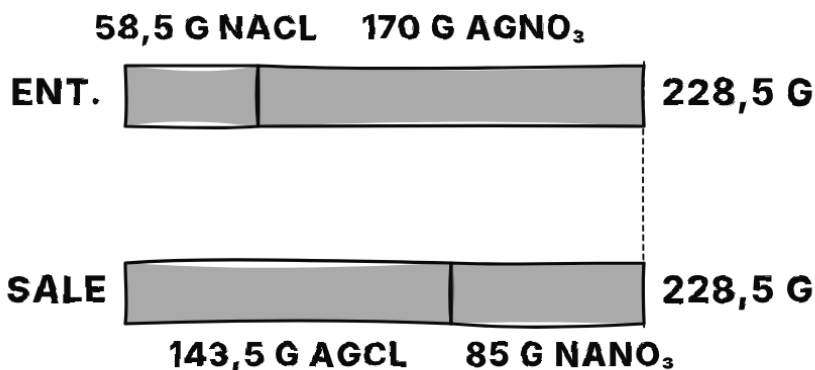
Tome dos vasos de agua que parecen exactamente iguales, los dos perfectamente transparentes. En uno se ha disuelto sal de mesa; en el otro, piedra infernal, la sal de plata que los médicos usaban antes para cauterizar heridas. Vierta un vaso en el otro. Al instante el líquido se vuelve lechoso, y un polvo blanco y pesado empieza a hundirse hasta el fondo. Dos líquidos transparentes han formado algo sólido, y Mendeléyev usa esta pequeña escena para su cuarto ejemplo del balance.



Dos líquidos claros, un polvo blanco

El polvo blanco se puede separar filtrando. Tome una hoja redonda de papel sin encolar, dóblela por la mitad y otra vez por la mitad, ábrala en forma de cono y coloque el cono dentro de un embudo de vidrio. Vierta el líquido turbio: la solución clara atraviesa el papel, y el polvo se queda sobre él. Seco, el polvo resulta ser una sustancia completamente nueva, el cloruro de plata, y la primera señal es que no se disuelve en agua, mientras que las dos sales del principio sí lo hacían. Ahora hierva el líquido claro que pasó hasta que quede seco. Deja otra sal nueva, soluble en agua como las dos primeras, pero distinta de ambas: el nitrato de sodio. Un filtro de café en su cocina funciona igual: deja pasar el líquido y retiene los posos.

Así que entraron dos sustancias solubles, y por sustitución salieron dos nuevas, una que se hunde y otra que sigue disuelta. El agua misma no participó; solo hizo que las dos sales fueran líquidas y móviles, para que sus partículas pudieran encontrarse. Y ahora, el pesaje. Mendeléyev da las cifras: unos cincuenta y ocho gramos y medio de sal con ciento setenta gramos de piedra infernal. Juntos son doscientos veintiocho gramos y medio que entran. Salen ciento cuarenta y tres gramos y medio de cloruro de plata y ochenta y cinco gramos de nitrato de sodio. Ciento cuarenta y tres y medio más ochenta y cinco son, otra vez, doscientos veintiocho gramos y medio. Los dos lados del balance coinciden hasta el medio gramo, como exige la ley de conservación de la materia.

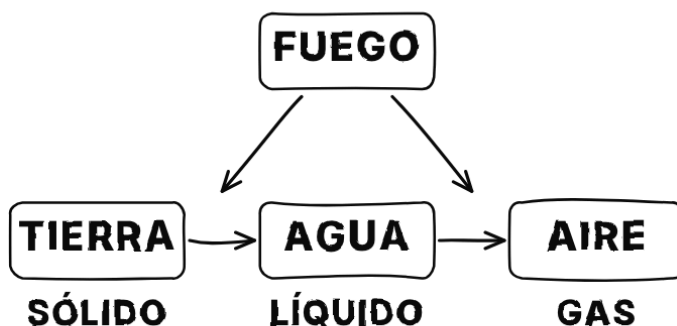


228,5 g entran, 228,5 g salen

Pruébalo

Disuelva una cucharada de sal de Epsom en un vaso de agua tibia y una cucharada de sosa de lavar en otro, y luego mézclelos. Los líquidos transparentes se vuelven blancos y turbios al instante, porque se forma una sustancia nueva que no se disuelve. Pase la mezcla por un filtro de café, y el sólido blanco se queda en el papel mientras el líquido claro atraviesa. Es el experimento de la sal y la plata de Mendeléyev con cosas de la estantería del supermercado.

En cuanto se sabe que la cantidad de materia nunca cambia, surge enseguida una segunda pregunta, y Mendeléyev la llama la segunda cuestión más esencial de la química. ¿Hay un límite a cómo las sustancias pueden transformarse unas en otras? ¿Se podría, en principio, convertir cualquier sustancia en una cantidad igual de cualquier otra? ¿O el círculo de los cambios posibles está cerrado? Es una pregunta sobre la calidad de la materia, no sobre su cantidad, y es mucho más difícil.



Los cuatro elementos antiguos

La experiencia corriente apunta en las dos direcciones. Por un lado, las plantas construyen todas sus sustancias variadas a partir del aire y del suelo, y con el hierro se puede hacer tinta y la pintura azul intensa llamada azul de Prusia, así que parece que los cambios no tienen fin.

Por otro lado, la experiencia diaria dice que no se puede hacer comida de una piedra, ni oro del cobre. Solo un estudio cuidadoso podía decidirlo, y a lo largo de los siglos se ha respondido de maneras distintas.

La respuesta más antigua y extendida era que todo lo visible está hecho de cuatro elementos: aire, agua, tierra y fuego. La idea llegó de Asia a los griegos, y Empédocles, que vivió unos cuatrocientos sesenta años antes de Cristo, la expuso de la forma más completa. No se sacó de una investigación exacta. Parece apoyarse en distinguir los gases, como el aire, de los líquidos, como el agua, y de los sólidos, como la tierra, y en notar que el fuego, es decir, el calor, los cambia.

Los sabios árabes fueron los primeros en llevar la pregunta al experimento, y a través de España trajeron a Europa el gusto por esa investigación. Desde entonces esta ciencia, considerada secreta y llamada alquimia, tuvo muchos seguidores. Los alquimistas no tenían ninguna ley firme de la que partir, y su gran mérito fue que hicieron una enorme cantidad de experimentos y descubrieron muchas transformaciones nuevas. Su propia respuesta a la pregunta era que el cambio no tiene límite: buscaban la piedra filosofal, que convertiría cualquier cosa en oro y diamantes e incluso devolvería la juventud a un cuerpo viejo.

ALQUIMIA



La plata ya estaba allí

Mendeléyev insiste en que no era pura fantasía; los primeros experimentos podían llevar honradamente hasta ahí. Los alquimistas tomaban una piedra brillante y metálica llamada galena y sacaban de ella plomo: de una piedra inútil, un metal blando y útil. Luego de ese plomo sacaban plata, aún más preciosa. Parecía natural pensar que una cadena de pasos así ennoblecería aún más los metales, y tras sacar plata del plomo, se empeñaron en sacar también oro.

Lo que les faltaba era la balanza. Si hubieran pesado, habrían visto que el plomo pesa mucho menos que la galena de la que salió, y que la plata es una cantidad diminuta al lado del plomo usado. Si hubieran estudiado el proceso de cerca, habrían visto que el plomo no se convierte en plata en absoluto. El plomo de la naturaleza simplemente

contiene un poco de plata, y una vez sacada esa plata, ningún tratamiento posterior dará más. Hasta hoy, señala Mendeléyev, la mayor parte de la plata del mundo se obtiene exactamente así de los minerales naturales de plomo. Es como encontrar unas monedas en un sillón viejo: el sillón no las hizo, y sacudirlo otra vez no le da nada.

Los alquimistas nunca podían tener éxito pleno, porque no hacían preguntas simples y claras cuyas respuestas les permitieran avanzar. Así que no encontraron ninguna ley exacta. Pero dejaron a la química una rica herencia de hechos experimentales nuevos.

Para recordar

Mezclar soluciones de sal de mesa y piedra infernal produce por sustitución dos sustancias nuevas: el cloruro de plata insoluble, retenido en un filtro, y el nitrato de sodio soluble. Los pesos coinciden exactamente: entran cincuenta y ocho y medio más ciento setenta gramos, y salen ciento cuarenta y tres y medio más ochenta y cinco gramos, doscientos veintiocho y medio en cada lado. Tras la pregunta de la cantidad viene la pregunta más difícil de la calidad: ¿hay un límite a aquello en que puede convertirse una sustancia? Los alquimistas creían que no lo había y persiguieron la piedra filosofal, engañados porque casi nunca pesaban. La plata que sacaban del plomo había estado en el plomo desde siempre; no hallaron ninguna ley, pero dejaron a la química una riqueza de experimentos.

Preguntas

1. Tras mezclar soluciones de sal y piedra infernal, ¿cómo sabemos que el polvo blanco del filtro es una sustancia nueva?
 - a. Pesa más que las dos sales juntas.
 - b. No se disuelve en agua, mientras que las dos sales iniciales sí lo hacían.
 - c. Es blanco, y la piedra infernal no lo es.
 - d. Solo se forma cuando se evapora el agua.
2. ¿Qué papel juega el agua en la reacción de la sal con la piedra infernal?
 - a. Solo hace que las sales sean líquidas y móviles para que sus partículas se encuentren.
 - b. Se combina con la sal para formar cloruro de plata.
 - c. Se gasta y se convierte en nitrato de sodio.
 - d. Añade su peso al polvo blanco.
3. ¿Por qué los primeros experimentos podían llevar honradamente a creer que el plomo puede convertirse en plata?
 - a. Porque la plata y el plomo tienen el mismo color.
 - b. Porque el plomo se convierte poco a poco en plata si se deja al aire.
 - c. Porque se podía sacar plata del plomo, y sin pesar parecía una transformación.
 - d. Porque la galena está hecha de plata y oro.
4. ¿Qué les habría mostrado el pesaje a los alquimistas sobre su plomo y su plata?
 - a. Que la plata pesaba más que el plomo usado.
 - b. Que el plomo y la plata siempre pesan lo mismo.

- c. Que el plomo ganaba peso al ceder plata.
- d. Que la plata era diminuta al lado del plomo, y que una vez sacada no se podía obtener más.

Respuestas

- 1. **b)** Las dos sales iniciales se disuelven en agua; el polvo no, así que debe ser una sustancia muy distinta, el cloruro de plata.
- 2. **a)** El agua no participó; solo puso las dos sales en un estado líquido y móvil donde podían reaccionar.
- 3. **c)** Los alquimistas veían salir plata del plomo, y como casi no pesaban, no podían ver que era solo una pequeña cantidad que ya estaba en el plomo.
- 4. **d)** La plata era una parte diminuta del plomo, ya presente; una vez sacada, ningún tratamiento da más, así que el plomo no se convierte en plata.

Ejemplos resueltos

Comprobar el balance de Mendeléyev Unos $58\frac{1}{2}$ gramos de sal de mesa y 170 gramos de piedra infernal reaccionan y dan $143\frac{1}{2}$ gramos de cloruro de plata y 85 gramos de nitrato de sodio.

¿Obedecen los pesos a la conservación de la materia?

Sume los pesos que entran: $58\frac{1}{2}$ más 170 son $228\frac{1}{2}$ gramos.

Sume los pesos que salen: $143\frac{1}{2}$ más 85 son $228\frac{1}{2}$ gramos.

Deje el agua fuera de los dos lados, porque solo ayudó a que las sales se encontraran y no se gastó.

Los dos lados son iguales, como exige la conservación de la materia.

Respuesta: Sí: $228\frac{1}{2}$ gramos en cada lado.

Ejercicios

1. Un estudiante mezcla en agua $58\frac{1}{2}$ gramos de sal de mesa con 170 gramos de piedra infernal y filtra $143\frac{1}{2}$ gramos de cloruro de plata seco. ¿Cuánto nitrato de sodio debería obtener al evaporar hasta sequedad el líquido filtrado?

Pista: Lo que entra debe pesar lo mismo que lo que sale.

Respuesta: 85 gramos. $58\frac{1}{2}$ más 170 son $228\frac{1}{2}$ gramos que entran, y $228\frac{1}{2}$ menos $143\frac{1}{2}$ gramos de cloruro de plata dejan 85 gramos para el nitrato de sodio.

2. Explique la diferencia entre la cuestión de la cantidad y la cuestión de la calidad en química.

Pista: Una trata de cuánta materia hay, la otra de en qué puede convertirse.

Respuesta: La cuestión de la cantidad pregunta si la cantidad de materia cambia en una reacción, y la balanza responde: no cambia. La cuestión de la calidad pregunta si hay un límite a aquello en que puede convertirse una sustancia; es más difícil, porque la experiencia diaria apunta en las dos direcciones.

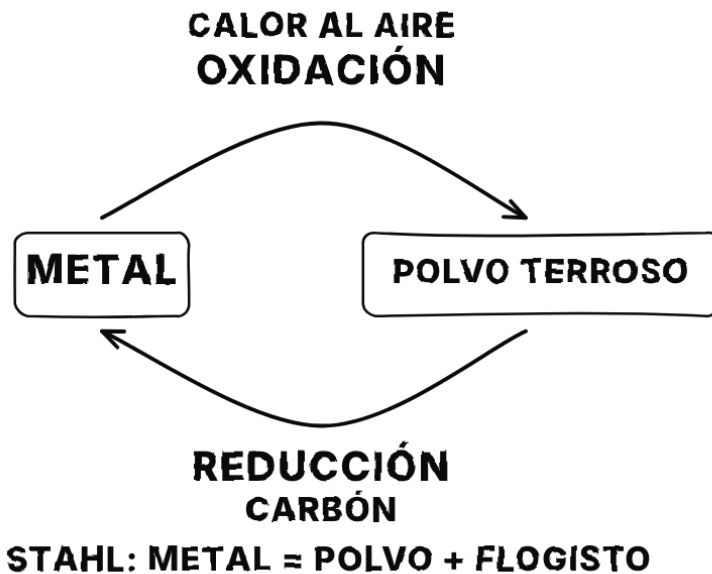
3. ¿Por qué, según Mendeléyev, los alquimistas nunca pudieron tener un éxito pleno, aunque hicieron muchos descubrimientos?

Pista: Piense en el tipo de preguntas que hacían, y en el pesaje.

Respuesta: No tenían ninguna ley firme de la que partir, rara vez pesaban y no hacían preguntas simples y claras cuyas respuestas les permitieran avanzar. Por eso no encontraron ninguna ley exacta, aunque dejaron a la química una riqueza de hechos experimentales.

Doce días bajo una campana de vidrio

Caliente una tira de plomo o de estaño en una llama abierta, y su superficie brillante se empaña y se deshace en un polvo gris o amarillo. Ahora caliente ese polvo con carbón, y vuelven a aparecer gotas de metal brillante. Los alquimistas lo hicieron mil veces, y también todo fundidor de minerales. Mendeléyev dice que, como los alquimistas estudiaron sobre todo los metales, la química fue durante mucho tiempo principalmente la química de los metales. Los dos cambios que acabamos de ver iban a llevar a sus leyes más importantes.



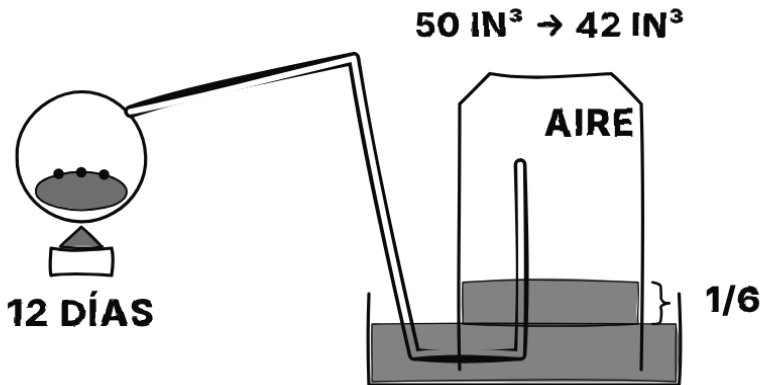
Oxidación y reducción

El primer cambio, cuando un metal se oxida o en general pasa de su estado brillante a un polvo terroso, se llama oxidación. Lo contrario, recuperar el metal del polvo terroso, se llama reducción. El hierro, el plomo y el estaño se oxidan con solo calentarse al aire, y se reducen de nuevo al calentarse con carbón. Muchos minerales de la tierra son justamente metales oxidados así, y de ellos se obtienen el estaño, el hierro y el cobre, como del óxido o la cascarilla, calentándolos con carbón. Un alto horno moderno sigue haciendo esto a escala gigantesca: el mineral de hierro y el coque entran por arriba, y el hierro fundido sale por abajo.

La primera teoría que explicaba los dos cambios vino de Becher y sobre todo de Stahl, médico del rey de Prusia, en su libro de mil setecientos veintitrés. Todo cuerpo, decía Stahl, consta de una materia ígnea sin peso llamada flogisto, junto con algún otro elemento propio de ese cuerpo. Cuanto más fácilmente arde o se oxida un cuerpo, más flogisto contiene, y el carbón contiene muchísimo. Cuando un cuerpo se oxida o arde, el flogisto lo abandona; cuando se reduce, el flogisto vuelve a entrar. El carbón reduce un mineral porque es rico en flogisto y le da una parte. Así que para Stahl un metal era un compuesto, polvo terroso más flogisto, y la teoría era tan sencilla que encontró muchísimos seguidores.

Lavoisier, con su balanza, mostró que toda oxidación, todo enmohecimiento y toda combustión hacen el cuerpo más pesado, a costa del aire. Adoptó la idea natural de que el cuerpo más pesado es el más complejo. Para decidir entre las dos ideas, hizo un famoso experimento en mil setecientos setenta y cuatro.

AIRE = MERCURIO +



50 pulgadas cúbicas se vuelven 42

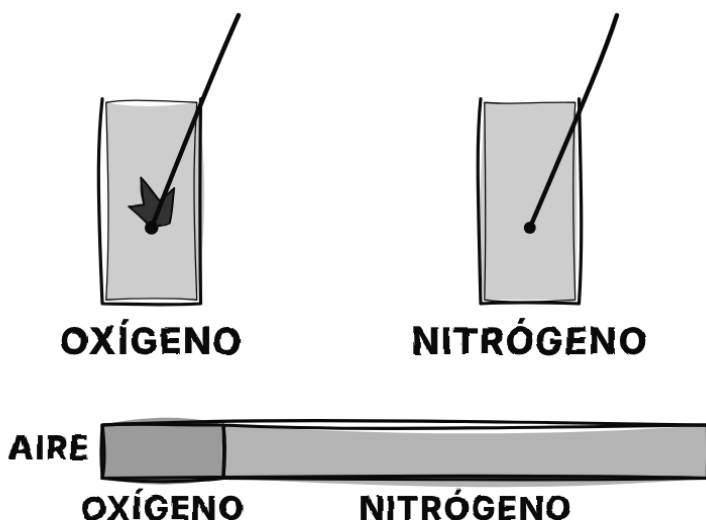
Echó cuatro onzas de mercurio puro en una retorta de vidrio cuyo cuello largo se curvaba hacia abajo y luego hacia arriba, y terminaba dentro de una cubeta también llena de mercurio. Sobre el extremo del cuello había una campana de vidrio, de modo que una cantidad fija de aire quedaba aislada de la habitación, en parte en la retorta y en parte bajo la campana. Antes de empezar midió el mercurio y, con mucho cuidado, el volumen de ese aire atrapado. Para ello tenía que conocer la capacidad total de la retorta, el volumen de mercurio vertido, el volumen de la campana hasta el nivel del aire, y la temperatura y la presión en el momento de medir. ¿Por qué tanto cuidado con el aire? Porque las dos teorías hacían predicciones opuestas. Si Stahl tenía razón, el flogisto saldría del mercurio y pasaría al aire, y el aire no

debería disminuir. Si Lavoisier tenía razón, el mercurio tomaría parte del aire, y el aire debería disminuir.

Durante doce días Lavoisier mantuvo caliente la retorta, cerca del punto de ebullición del mercurio. La superficie se cubrió de muchas escamitas rojas: el mercurio se oxidaba en el óxido rojo de mercurio que vimos antes. A los doce días dejó enfriar todo y volvió a medir el aire. De cincuenta pulgadas cúbicas de aire, solo quedaban cuarenta y dos. Aquí va ese resultado en voz alta: cincuenta menos cuarenta y dos son ocho pulgadas cúbicas perdidas, y ocho de cincuenta son dieciséis de cada cien, más o menos una sexta parte del aire. El aire había disminuido, y eso refutaba la idea del químico alemán. Más aún, el peso del aire había bajado exactamente tanto como había subido el peso del mercurio. Así que esa parte del aire no se había destruido; se había unido al mercurio.

Pruébalo

Moje un estropajo de lana de acero, métalo en el fondo de un vaso alto y estrecho, y ponga el vaso boca abajo en un platillo con agua. Marque el nivel del agua dentro del vaso y mire otra vez a los pocos días. La lana de acero se ha oxidado, y el agua ha subido dentro del vaso más o menos una quinta parte del espacio de aire, y luego se ha detenido. Es la campana de Lavoisier en una cocina: el hierro que se oxida ha sacado el oxígeno del aire atrapado, y el resto del aire ya no lo oxida más.

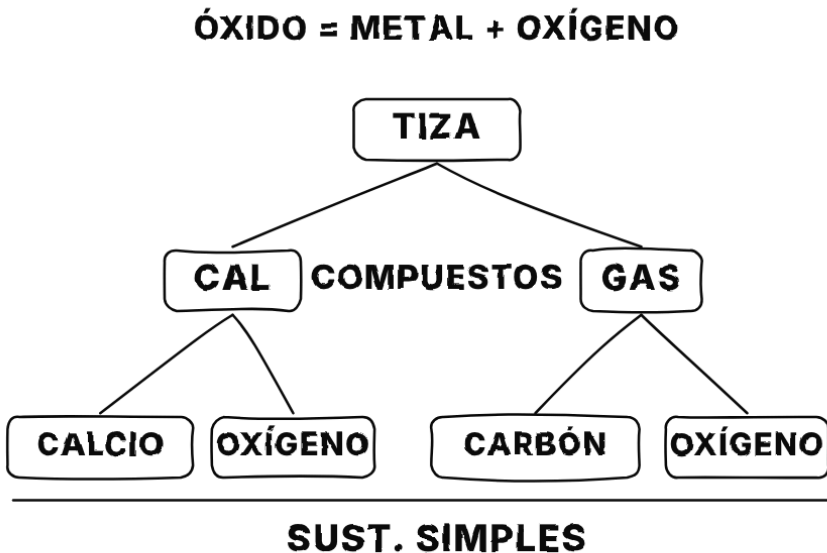


El aire son dos gases

La parte del aire que se unió al mercurio se puede volver a sacar del óxido rojo, como vimos, y no se parece al aire: es oxígeno. La parte que quedó bajo la campana no oxidaba los metales en absoluto y no podía mantener ni la combustión ni la respiración. Una astilla encendida, escribió Lavoisier en su informe, «se apaga en él como si se hundiera en agua». Ese gas se llama nitrógeno. Así que el aire no es un cuerpo simple sino que consta de dos gases, oxígeno y nitrógeno, y la vieja idea de que el aire es un elemento es falsa. Mezcle de nuevo oxígeno con nitrógeno, y obtiene el mismo aire que antes.

Ahora toda la historia se pone del derecho. En la combustión y en la oxidación de los metales se toma el oxígeno del aire. Los polvos terrosos que forman los metales al oxidarse son cuerpos compuestos

de metal y oxígeno. Y el experimento directo mostró que cuando el carbón reduce un óxido, el oxígeno del óxido pasa al carbón y forma el mismo gas que forma el carbón al arder en el aire. Así que ese gas también es un compuesto, de carbón y oxígeno, igual que los óxidos son compuestos de metales y oxígeno.



Desmontar compuestos

Muchos ejemplos de combinación y descomposición muestran que la mayoría de los cuerpos que nos rodean son compuestos hechos de varios otros. Caliente tiza, como calentamos la sal verde de cobre, y obtiene cal y el mismo gas que da el carbón al arder. Junte la cal con ese gas y algo de agua a temperatura corriente, y vuelve a obtener una sustancia parecida a la tiza, así que la tiza es un compuesto. Pero sus partes también son compuestos: el gas es carbón más oxígeno, y la cal

viene de la oxidación de un metal especial llamado calcio.

Desmontando las cosas así, se llega al final a sustancias que ningún medio puede partir en otras, y que no se pueden hacer a partir de nada. Solo pueden combinarse entre sí o actuar sobre otros cuerpos, y se llaman sustancias simples. Así que todas las sustancias homogéneas se dividen en dos clases, simples y compuestas, una división que la ciencia mantiene desde Lavoisier.

Hay muy pocas sustancias simples comparadas con los compuestos que forman. En tiempos de Mendeléyev se conocían con certeza unas setenta y cinco; algunas son raras o solo se encuentran en pequeñas cantidades. Las sustancias simples cuyos compuestos encontramos en la vida diaria no pasan de veinticinco. Una cocina guarda cientos de cosas distintas, pero la mayoría están construidas con solo un puñado de sustancias simples, como el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el sodio y el cloro.

Para recordar

La oxidación convierte un metal brillante en un polvo terroso; la reducción, calentando con carbón, devuelve el metal, y los minerales son esos metales oxidados. Stahl explicaba las dos cosas con un flogisto imaginario y sin peso que salía del metal o entraba en él. Lavoisier calentó mercurio bajo una campana de aire durante doce días: cincuenta pulgadas cúbicas se redujeron a cuarenta y dos, y el aire perdió exactamente el peso que ganó el mercurio. El aire es oxígeno, que se une a los metales y mantiene el fuego y la respiración, mezclado con nitrógeno, que no hace ni una cosa ni otra; los óxidos son metal más oxígeno.

Desmontando compuestos llegamos a sustancias simples, que no se pueden partir ni fabricar, unas setenta y cinco, de las que unas veinticinco nos salen al paso cada día.

Preguntas

1. ¿Por qué Lavoisier puso tanto cuidado en medir el aire atrapado antes y después de calentar el mercurio?
 - a. Porque las dos teorías predecían cosas opuestas para el aire: sin cambio para Stahl, disminución para Lavoisier.
 - b. Porque el vapor de mercurio es venenoso y había que controlarlo.
 - c. Porque quería saber cuánto se calentaba la retorta.
 - d. Porque el aire hacía falta para que el mercurio no hirviera.

2. Según Stahl, ¿por qué calentar un mineral con carbón devuelve el metal?
 - a. Porque el carbón saca el oxígeno del mineral.
 - b. Porque el calor solo expulsa lo terroso del mineral.
 - c. Porque el carbón es rico en flogisto y le da una parte al mineral.
 - d. Porque el carbón se funde y se mezcla con el mineral.
3. ¿Qué mostró sobre el aire el gas que quedó bajo la campana de Lavoisier?
 - a. Que el aire es, después de todo, una sola sustancia simple.
 - b. Que el aire es una mezcla de dos gases, uno que se une a los metales y otro que no mantiene ni la combustión ni la respiración.
 - c. Que el aire se convierte en mercurio si se calienta lo suficiente.
 - d. Que el aire contiene flogisto liberado por el mercurio.
4. ¿Cómo sabemos que la tiza es un compuesto y no una sustancia simple?
 - a. Porque es blanca y blanda.
 - b. Porque se disuelve por completo en agua.
 - c. Porque se encuentra en todas partes en el suelo.
 - d. Porque al calentarla se divide en cal y un gas, y estos se pueden volver a unir en una sustancia parecida a la tiza.

Respuestas

1. a) Si el flogisto saliera del mercurio, el aire no disminuiría; si el mercurio tomara parte del aire, sí. Solo una medición cuidadosa del aire podía

decidirlo.

2. c) Para Stahl un metal era polvo terroso más flogisto, así que el carbón, lleno de flogisto, devolvía el metal cediéndole flogisto.

3. b) La parte que se unió al mercurio era oxígeno; la parte restante, el nitrógeno, apagaba una llama. Así que el aire es oxígeno y nitrógeno, no un elemento.

4. d) Una sustancia simple no se puede ni partir ni fabricar; la tiza se puede partir en cal y un gas y rehacerse a partir de ellos, así que es un compuesto.

Ejemplos resueltos

Cuánto aire se unió al mercurio En el experimento de Lavoisier, 50 pulgadas cúbicas de aire quedaron encerradas con el mercurio, y tras doce días de calentamiento solo quedaban 42 pulgadas cúbicas. ¿Qué parte del aire tomó el mercurio?

El aire perdido es la diferencia entre antes y después: 50 menos 42 son 8 pulgadas cúbicas.

Para hallar la parte, compare la pérdida con el total: 8 de 50.

8 de 50 es lo mismo que 16 de 100, es decir, el dieciséis por ciento.

Es más o menos una sexta parte del aire atrapado, la parte que se combinó con el mercurio como oxígeno.

Respuesta: 8 pulgadas cúbicas, más o menos una sexta parte (el 16 por ciento) del aire.

Ejercicios

1. En el experimento de Lavoisier, el aire bajo la campana perdió peso mientras el mercurio lo ganaba. Si el mercurio ganó 1,2 gramos, ¿cuánto peso perdió el aire?

Pista: Nada se crea ni se pierde: ¿de dónde vino el peso de más del mercurio?

Respuesta: 1,2 gramos. La parte del aire que desapareció se había unido al mercurio, así que el aire perdió exactamente lo que ganó el mercurio.

2. Explique por qué la disminución del aire refutó la teoría de Stahl.

Pista: ¿Qué decía Stahl que sale del metal al oxidarse, y adónde iría?

Respuesta: Stahl sostenía que al oxidarse el flogisto sale del metal y pasa al aire, así que el aire no debería disminuir. El aire sí disminuyó, en tanto peso como ganó el mercurio, así que algo pasó del aire al metal, y no al revés.

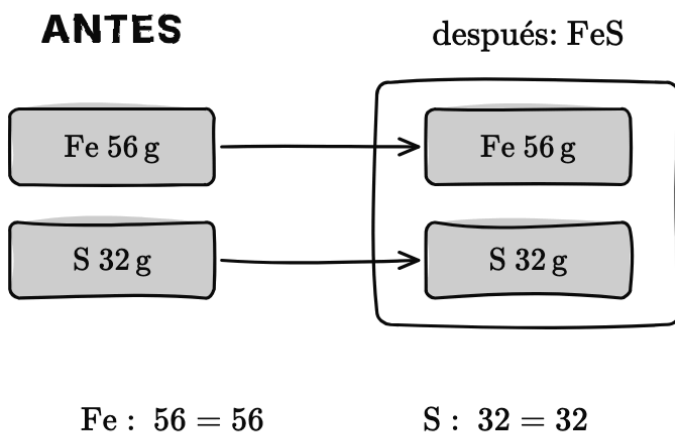
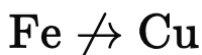
3. Cuando un mineral de hierro se reduce con carbón, se desprende un gas. ¿De qué está hecho este gas, y qué nos dice eso sobre el mineral?

Pista: ¿Adónde va el oxígeno del mineral?

Respuesta: El oxígeno del mineral pasa al carbón y forma el mismo gas que da el carbón al arder, un compuesto de carbón y oxígeno. Así que el mineral era hierro combinado con oxígeno, y la reducción se lleva el oxígeno.

Cada elemento lleva su propia cuenta

Imagine que intenta convertir un trozo de hierro en un trozo de cobre. Puede fundirlo, disolverlo en ácido, oxidarlo, reducirlo otra vez con carbón, hacerlo pasar por cien compuestos. Al final, por ingenioso que sea el camino, lo que recupera es hierro, y exactamente tanto hierro como tenía al principio. El siguiente paso de Mendeléyev es decir por qué es así, y qué significa para todo cambio químico.



Cada sustancia simple cuadra

Las sustancias simples, dice, no son capaces de transformarse unas en otras; al menos, nunca se ha observado ni un solo caso de tal cambio.

Así que hoy es imposible convertir un metal en otro. A pesar de muchísimo esfuerzo, no ha aparecido ni un hecho que sugiera que sustancias simples bien establecidas, como el oxígeno, el hierro o el azufre, sean a su vez compuestos. Por su propia idea, entonces, las sustancias simples no se pueden descomponer.

Ahora ponga esto junto a la ley de conservación de la materia. Si ninguna sustancia simple se puede crear, destruir o convertir en otra, entonces la cantidad de cada sustancia simple se mantiene constante en todos los cambios químicos. Eso da al balance un sentido nuevo y mucho más importante. No es solo el peso total lo que debe coincidir en los dos lados; el peso de cada sustancia simple debe coincidir por su cuenta. Si sabemos cuánto hay de cada sustancia simple en las sustancias de partida, entonces todos los compuestos nuevos que surjan solo pueden contener esa misma cantidad de cada una. Así que, dice Mendeléyev, la esencia del cambio químico se reduce a estudiar con qué está unida cada sustancia simple, y cómo, antes del cambio y después. Es como un banco que lleva cuentas separadas en libras, euros y dólares: el dinero puede moverse entre clientes todo el día, pero al cerrar cada moneda tiene que cuadrar por su cuenta.

Para escribir esos balances de forma compacta, los químicos acordaron unos símbolos. Cada sustancia simple se marca con una o dos primeras letras de su nombre latino. El oxígeno, oxygenium, se marca con una O mayúscula; el nitrógeno, nitrogenium, con una N mayúscula; el mercurio, hydrargyrum, con una H y una g; el hierro, ferrum, con una F y una e. Un compuesto se escribe poniendo una junto a otra las letras de las sustancias simples que lo forman, así que el óxido rojo de mercurio se escribe con las letras del mercurio seguidas de la letra O. Además, cada letra representa un peso relativo definido de su sustancia simple, llamado su parte o su peso atómico.

Así que una fórmula no solo dice qué sustancias simples hay en un compuesto, sino cuánto hay de cada una. Todo proceso químico se puede escribir como una ecuación de esas fórmulas, y el peso de cada sustancia simple debe ser igual en los dos lados, porque ninguna se crea y ninguna se pierde.

O OXYGENIUM

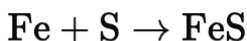
N NITROGENIUM

Hg HYDRARGYRUM

Fe FERRUM

HgO

ÓXIDO ROJO



Letras de nombres latinos

Mendeléyev muestra luego cómo una fórmula da la composición en tanto por ciento. Imagine un compuesto de dos sustancias simples. La fórmula dice cuántas partes de la primera contiene, y cuántas partes de la segunda. Multiplique el número de partes de la primera por el peso de una parte, y tiene el peso de la primera en el compuesto; haga lo mismo con la segunda. El porcentaje de la primera es entonces su peso dividido por el peso total de las dos, por cien; y lo mismo para la

segunda. En palabras: la parte de cada componente en el total, contada sobre cien.

$$\%_1 = \frac{n_1 a_1}{n_1 a_1 + n_2 a_2} \times 100$$

Na = 23

Cl = 35.5

NaCl = 58.5

$$\frac{23}{58.5} = 39.3\%$$

$$\frac{35.5}{58.5} = 60.7\%$$

EN 100 G DE SAL

Na 39 g	Cl 61 g
---------	---------

Porcentajes a partir de una fórmula

Ahora un cálculo en voz alta, con el propio ejemplo de Mendeléyev, la sal de mesa. Su fórmula dice una parte de sodio y una parte de cloro. Una parte de sodio pesa veintitrés, y una parte de cloro treinta y cinco y medio. Juntas son cincuenta y ocho y medio. La parte del sodio es veintitrés de cincuenta y ocho y medio, que da treinta y nueve coma tres por ciento. La parte del cloro es treinta y cinco y medio de cincuenta y ocho y medio, sesenta coma siete por ciento. Las dos suman cien, como deben. Así que si le dan un peso real del compuesto, la fórmula le dice los pesos reales de las sustancias simples que contiene: cien gramos de sal contienen unos treinta y

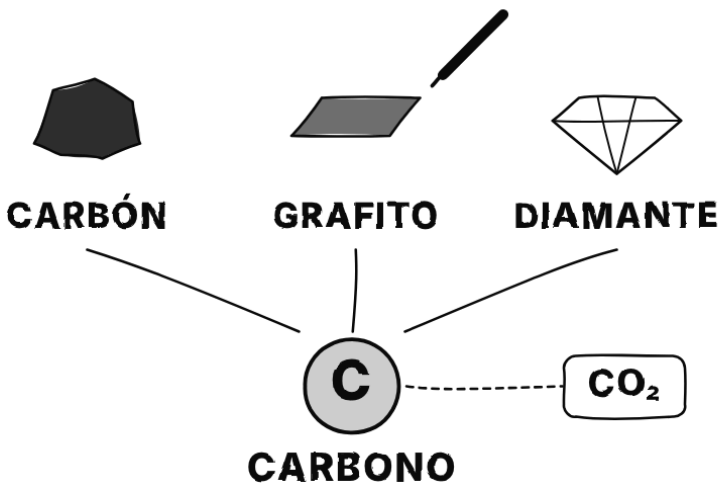
nueve gramos de sodio y sesenta y uno de cloro. Un paquete de un kilo de sal de cocina contiene por tanto cerca de cuatrocientos gramos de sodio, un metal blando que burbujearía sobre el agua si se pudiera sacar.

Esto limita claramente lo que puede hacer el cambio químico. De cuerpos de una calidad dada no se puede obtener cualquier cuerpo posible, sino solo los que contienen exactamente las mismas sustancias simples. Aun así, incluso con este primer límite, el número de compuestos que podrían formarse es infinitamente grande, y solo se ha estudiado y descrito un número relativamente pequeño. Cualquiera que empiece a trabajar puede descubrir fácilmente un compuesto nuevo, y muchos nuevos los prevé la ciencia antes de que se fabriquen. La ciencia, dice Mendeléyev, consiste en captar la uniformidad oculta en esta multitud, y su objetivo es comprender las leyes que gobiernan cómo se forman los compuestos y qué propiedades tienen.

Aquí Mendeléyev hace una distinción cuidadosa. Cuando decimos que el óxido rojo de mercurio contiene oxígeno, no queremos decir que el oxígeno, como gas, esté dentro del polvo. Queremos decir solo lo que el óxido puede hacer: que de él se pueden obtener mercurio y oxígeno, y que puede pasárselos a otros cuerpos. En resumen, la composición de un compuesto es una expresión de los cambios de que es capaz. Así que el óxido rojo no contiene dos sustancias simples, un metal y un gas, sino dos elementos, mercurio y oxígeno, que por separado dan el metal y el gas oxígeno. Contiene solo la materia de esos cuerpos simples, dice Mendeléyev, como el vapor contiene la materia del hielo pero no el hielo mismo, o como el pan contiene la materia del grano pero no el grano. Su azúcar de mesa contiene el elemento carbono, pero no hay carbón escondido entre los cristales.

Un elemento se puede reconocer incluso sin conocer su sustancia simple, solo por sus compuestos. Durante mucho tiempo no se había obtenido el flúor solo, y sin embargo había que contarle como elemento, porque se conocían sus compuestos con otras sustancias simples, y se diferenciaban de todos los demás compuestos parecidos.

Dos hechos más aclaran todavía la diferencia entre elemento y sustancia simple. Primero, los compuestos pueden unirse a su vez en compuestos aún más complejos, y luego volver a sacarse de ellos por los mismos métodos que se usan para liberar sustancias simples; así que ser extraído no hace por sí solo que algo sea simple. Segundo, muchas sustancias simples existen en varias formas, mientras que el elemento es algo que no cambia. El carbono aparece como carbón, grafito y diamante, que son cuerpos distintos, y cada uno es una sustancia simple, pero el elemento es uno. Ese mismo carbono está en el dióxido de carbono, y sin embargo ese gas no contiene ni carbón, ni grafito, ni diamante. La mina gris de un lápiz y la piedra de un anillo de diamante son dos sustancias simples muy distintas de un solo elemento.



Tres cuerpos, un carbono

Para recordar

Nunca se ha visto que una sustancia simple se convierta en otra, así que un metal no se puede hacer a partir de otro. Junto con la conservación de la materia, esto significa que la cantidad de cada sustancia simple se mantiene igual en todo cambio químico. Las fórmulas escriben los compuestos con letras latinas, cada una con una parte definida en peso, así que muestran a la vez qué contiene un compuesto y en qué porcentaje: la sal de mesa es más o menos un treinta y nueve por ciento de sodio y un sesenta y uno por ciento de cloro. La composición de un compuesto expresa qué cambios puede sufrir; el óxido rojo de mercurio contiene los elementos mercurio y oxígeno, no el metal y el gas. Una sustancia simple puede tomar varias formas, como el carbono en el carbón, el grafito y el diamante, mientras el elemento que hay debajo sigue siendo uno e inmutable.

Preguntas

1. ¿Por qué la cantidad de cada sustancia simple se mantiene igual en todo cambio químico?
 - a. Porque las sustancias simples son demasiado pesadas para participar en reacciones.
 - b. Porque una sustancia simple no se puede ni crear, ni destruir, ni convertir en otra, y la materia se conserva.
 - c. Porque los químicos siempre reponen lo que se pierde.

- d. Porque los compuestos siempre contienen cantidades iguales de cada sustancia simple.
2. ¿Qué le dice una fórmula química que no le dice una simple lista de sustancias simples?
- a. Cuánto hay de cada sustancia simple en el compuesto, porque cada símbolo representa un peso definido.
 - b. El color y el olor del compuesto.
 - c. A qué temperatura hay que calentar el compuesto para descomponerlo.
 - d. Qué compuestos nunca se pueden fabricar en un laboratorio.
3. Solo con hierro y azufre, ¿cuál de estas cosas podría obtener un químico?
- a. Sulfuro de cobre, ya que el cobre se parece al hierro.
 - b. Un compuesto de azufre y oxígeno, usando solo el azufre.
 - c. Solo compuestos hechos de hierro y azufre, y nada que contenga otra sustancia simple.
 - d. Oro, si la reacción se hace con suficiente ingenio.
4. El carbón, el grafito y el diamante son cuerpos distintos. ¿Cómo describe Mendeléyev su relación?
- a. Son tres elementos distintos con nombres parecidos.
 - b. Solo el diamante es una sustancia simple; el carbón y el grafito son compuestos.
 - c. Son compuestos de carbono con distintas cantidades de oxígeno.
 - d. Son sustancias simples distintas de un mismo elemento inmutable, el carbono.

Respuestas

1. **b)** Uniendo la conservación de la materia con el hecho de que ninguna sustancia simple se puede crear, descomponer ni cambiar en otra, cada una debe salir exactamente en la cantidad en que entró.
2. **a)** Cada símbolo representa un peso relativo definido, su parte, así que la fórmula muestra a la vez qué contiene el compuesto y en qué cantidades.
3. **c)** De cuerpos de una calidad dada solo se obtienen cuerpos que contienen exactamente las mismas sustancias simples; ni el cobre, ni el oxígeno, ni el oro están entre ellas.
4. **d)** Muchas sustancias simples existen en varias formas mientras el elemento sigue siendo uno: el carbón, el grafito y el diamante son tres cuerpos, pero el elemento es el carbono.

Ejemplos resueltos

La sal de mesa en tanto por ciento La sal de mesa tiene una parte de sodio y una de cloro; una parte de sodio pesa 23 y una de cloro 35,5. ¿Qué porcentaje de la sal es sodio, y qué porcentaje cloro?

El peso del sodio en una fórmula de sal es una parte por 23, es decir, 23; el del cloro, 35,5.

El compuesto entero pesa entonces 23 más 35,5, es decir, 58,5.

El porcentaje del sodio es 23 dividido por 58,5, por 100, que da 39,3.

El porcentaje del cloro es 35,5 dividido por 58,5, por 100, que da 60,7; los dos suman 100.

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

Ejercicios

1. Con las cifras de Mendeléyev para la sal de mesa, ¿cuántos gramos de sodio hay en 200 gramos de sal?

Pista: La sal es un 39,3 por ciento de sodio; tome esa parte de 200.

Respuesta: Unos 78,6 gramos. El 39,3 por ciento de 200 gramos es 0,393 por 200, que da 78,6 gramos; los 121,4 gramos restantes son cloro.

2. Un compuesto imaginario contiene dos partes de una sustancia simple A y una parte de una sustancia simple B. Una parte de A pesa 10 y una de B pesa 30. ¿Qué porcentaje del compuesto es A?

Pista: Primero halle el peso de A en el compuesto: número de partes por el peso de una parte.

Respuesta: El 40 por ciento. A aporta 2 por 10, es decir, 20; B aporta 30; el total es 50. El porcentaje de A es 20 dividido por 50, por 100, que da 40.

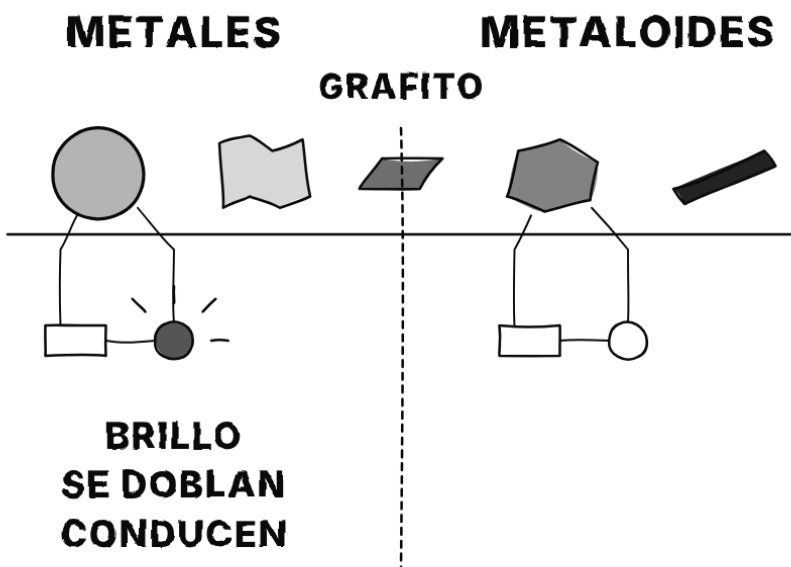
3. Explique por qué el flúor se contaba como elemento incluso antes de que nadie lo hubiera obtenido solo.

Pista: Piense en lo que los químicos ya sabían de sus compuestos.

Respuesta: Un elemento se puede reconocer solo por sus compuestos. Se conocían los compuestos del flúor con otras sustancias simples y se diferenciaban de todos los demás compuestos parecidos, así que debían contener un elemento propio e inmutable.

Setenta y siete ladrillos y la fuerza que los une

Ponga cuatro cosas sobre una mesa: una moneda de cobre, un trozo amarillo de azufre, una barrita de carbón y una tira de papel de aluminio. Acerque cada una a la luz, intente doblarla, tóquela con el labio y conéctela entre una pila y una bombillita. La moneda y el papel de aluminio brillan, se doblan sin partirse, se notan fríos y encienden la bombilla. El azufre es mate, se desmenuza, se nota tibio, y la bombilla sigue apagada. Esa sencilla prueba es la primera clasificación que Mendeléyev ofrece entre las sustancias simples, y enseguida nos advierte que no confiemos demasiado en ella.

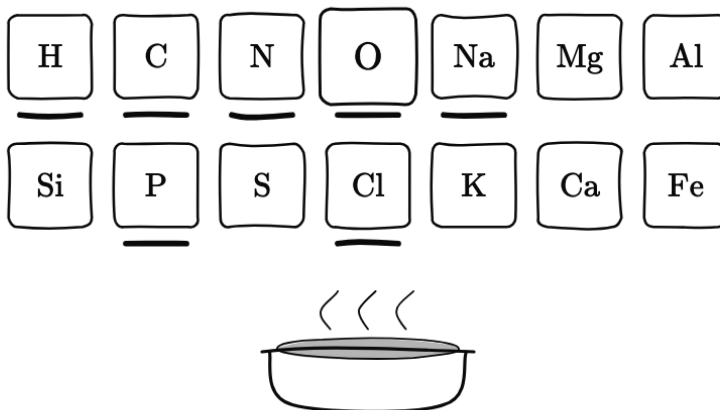


Metales y metaloides

Muchas sustancias simples, aunque no todas, tienen un brillo especial, son opacas, se pueden batir y conducen muy bien el calor y la electricidad. Esas son las propiedades de los metales y de sus mezclas entre sí, que se llaman aleaciones. Las sustancias simples sin los signos físicos de los metales se llaman metaloides, lo que en tiempos de Mendeléyev significaba lo que hoy llamamos no metales. En ejemplos claros, como el cobre junto al azufre, las dos clases son claramente distintas. Pero en muchos casos particulares la diferencia no es tajante, y por eso no puede servir de base para una división exacta de las sustancias simples en dos grupos. La mina gris de un lápiz muestra el problema: el grafito no es un metal, pero tiene un brillo suave y conduce la electricidad lo bastante bien como para usarse en baterías modernas.

Sea cual sea la clasificación, las ideas de elemento y sustancia simple son la base de la química, y Mendeléyev da una lista de las sustancias simples desde el principio para mostrar el estado del conocimiento. Se reconocen unas ochenta sustancias simples. Algunas, unas seis, son tan raras y se han obtenido en cantidades tan pequeñas que lo que se sabe de ellas es a veces escaso e incompleto. Los cuerpos corrientes de la naturaleza contienen solo un número muy pequeño de sustancias simples, y son las mejor estudiadas, simplemente porque más investigadores podían experimentar con ellas.

≈ 80 CONOCIDAS



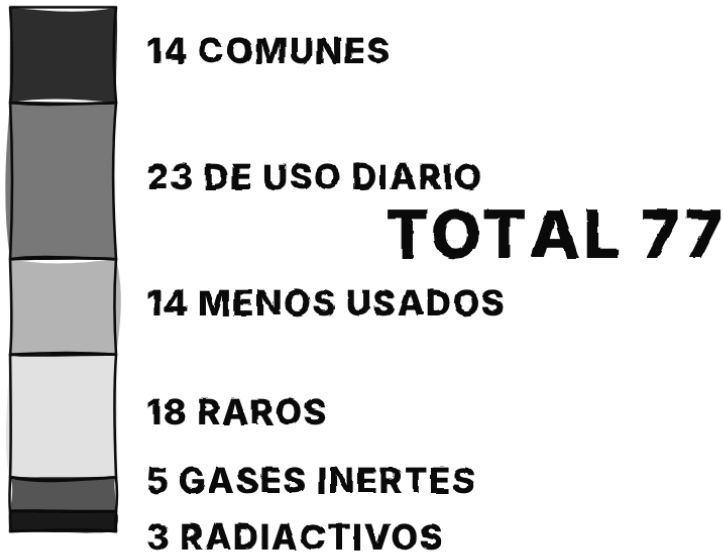
Las catorce más comunes

Las más extendidas son catorce. El hidrógeno está en el agua y en los seres vivos. El carbono está en los seres vivos, en el carbón mineral y en la caliza. El nitrógeno está en el aire y en los seres vivos. El oxígeno

está en el aire, el agua y la tierra, y de todas su masa es la mayor. El sodio está en la sal de mesa y en muchas piedras; el magnesio en el agua de mar y en piedras; el aluminio en piedras y arcilla; el silicio en la arena, la arcilla y las piedras. El fósforo está en los huesos, la ceniza vegetal y el suelo; el azufre en la piritita, el yeso y el agua de mar; el cloro en la sal de mesa y el agua de mar. El potasio está en piedras, ceniza vegetal y salitre; el calcio en la caliza, el yeso y los seres vivos; y el hierro en el suelo, los minerales de hierro y los seres vivos. Un plato de sopa salada en la mesa de su cocina ya contiene la mayoría: hidrógeno y oxígeno en el agua, sodio y cloro en la sal, carbono, nitrógeno, fósforo y los demás en la comida.

Una segunda lista reúne sustancias simples poco extendidas en la naturaleza pero cuyos compuestos se usan en la vida diaria o en la industria. El litio se usa en medicina y fotografía; el boro en el bórax y el ácido bórico; el flúor en la fluorita y en el ácido que graba el vidrio. El cromo y el manganeso dan compuestos de colores intensos usados como oxidantes; el cobalto colorea el vidrio de azul; el níquel se deposita sobre otros metales. El cobre, el conocido metal rojo; el cinc, en láminas, en pilas galvánicas y en el latón; y el arsénico, cuyo óxido blanco es un veneno. El bromo es un líquido pardo y volátil; el estroncio da el rojo de las luces de bengala; la plata es el conocido metal blanco; el cadmio da una pintura amarilla. El estaño, el antimonio en aleaciones como la de los tipos de imprenta, el yodo en medicina y fotografía, el bario en el espato pesado y como aditivo de la pintura blanca. Y por último el platino, el oro, el mercurio y el plomo, metales que todo el mundo conoce, y el bismuto, usado en medicina y en aleaciones que funden a baja temperatura. La batería de su teléfono lleva litio, y el cubo galvanizado de su cobertizo es hierro con

una capa de cinc: dos objetos de la segunda lista de Mendeléyev en una casa moderna.



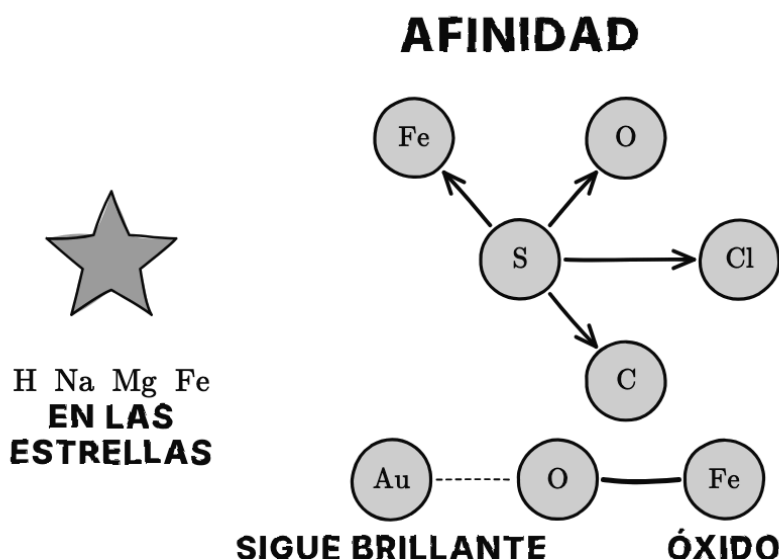
Contar hasta setenta y siete

Una tercera lista se usa menos, aunque es bien conocida y aparece con bastante frecuencia en la naturaleza en pequeñas cantidades: berilio, titanio, vanadio, selenio, circonio, molibdeno, paladio, cerio, wolframio, osmio, iridio, talio, torio y uranio. Una cuarta lista es aún más rara y no tiene uso práctico, aunque sus compuestos se han estudiado con bastante detalle: entre ellos el escandio, el galio, el germanio, el rubidio, el cesio y el lantano, y un grupo de tierras raras muy parecidas.

Luego viene un grupo distinto de todos los demás: los gases hallados por Ramsay, presentes en pequeñas cantidades en el aire. Son el helio, el neón, el argón, el criptón y el xenón, y lo que los distingue es que aún no se había hecho ningún compuesto de ninguno de ellos con otro elemento. Hay también algún motivo para contar como distintos los metales actinio, polonio y radio, este último descubierto por madame Curie, hallados en los llamados compuestos radiactivos que aparecen como pequeñas mezclas en minerales de uranio y torio. El brillo rojo de un letrero de neón es uno de los gases de Ramsay trabajando, elegido precisamente porque apenas reacciona con nada.

Aquí va una cuenta en voz alta. Catorce sustancias extendidas, más veintitrés de uso diario, hacen treinta y siete. Sume catorce menos usadas y tiene cincuenta y una; sume dieciocho raras pero estudiadas y llega a sesenta y nueve. Cinco gases de Ramsay la llevan a setenta y cuatro, y los tres metales radiactivos a setenta y siete. Ese es exactamente el número que da Mendeléyev, y más allá de estas setenta y siete nombra algunas más, gadolinio, terbio, tulio, holmio y otras, cuyas propiedades aún se conocen poco y cuya independencia no está del todo establecida.

¿Son estas las sustancias de la Tierra solamente? No: la presencia de muchas de las más comunes, como el hidrógeno, el sodio, el magnesio y el hierro, se ha demostrado sin duda en cuerpos celestes lejanos, estudiando su luz. Esto nos convence de que la forma de la materia que en la Tierra aparece como sustancias simples se extiende muy lejos por el universo. Por qué algunas sustancias simples son tanto más abundantes en la naturaleza que otras, dice Mendeléyev, todavía no lo sabemos.



Los mismos ladrillos, distinto apetito

El carácter básico de cada elemento es su capacidad de combinarse con otros en compuestos, más o menos estables e inclinados a formar otros aún más complejos. El azufre, por ejemplo, se combina fácilmente con los metales, con el oxígeno, con el cloro y con el carbono. La plata y el oro se combinan con dificultad, y muchos de sus compuestos son inestables y se descomponen fácilmente al calentarse. La causa o fuerza que empuja a las sustancias al cambio químico debe ser a la vez la causa que mantiene unidos los distintos elementos en un compuesto y le da cierta estabilidad. Esa causa se llama afinidad, o afinidad química. Un anillo de oro perdido un siglo en un campo sale brillante, mientras un clavo de hierro a su lado se deshace en óxido: la afinidad, vista en la tierra.

¿Qué es esta fuerza? Hay que pensarla como puramente atractiva, como la gravedad, y por eso algunos científicos, Bergman a finales del siglo dieciocho y Berthollet a principios del diecinueve, supusieron que la afinidad podía ser en esencia lo mismo que la gravitación universal, actuando solo a las distancias más pequeñas. Pero la afinidad no se puede identificar del todo con la gravitación, porque la gravitación depende solo de la masa y la distancia, no del tipo de sustancia, mientras que la afinidad depende mucho de él. Tampoco se puede identificar con la cohesión, la fuerza que da a un sólido homogéneo su forma cristalina, su elasticidad y su dureza, y a un líquido su superficie, sus gotas y su ascenso en tubos estrechos. La cohesión actúa entre partículas de una misma sustancia, la afinidad entre sustancias distintas, aunque las dos actúan solo a distancias imperceptiblemente pequeñas y tienen mucho en común.

Ni es la afinidad lo mismo que las fuerzas que hacen que cuerpos distintos se adhieran: dos placas planas pulidas que se pegan, un líquido que moja un sólido, un gas que se condensa sobre una superficie sólida. En un cambio químico un cuerpo penetra en el otro y se forma uno nuevo, cosa que no ocurre en la mera adherencia. Aun así, estas fuerzas de adherencia, que actúan solo en contacto pleno, son una transición de las fuerzas mecánicas a las químicas. Una gota de agua que se queda pegada a una ventana es adherencia, no reacción: el vidrio y el agua siguen siendo lo que eran.

Durante mucho tiempo, sobre todo en la primera mitad del siglo diecinueve, la atracción química se identificó con las fuerzas eléctricas. Las dos están muy unidas: las interacciones químicas producen electricidad, y la electricidad influye mucho en los procesos químicos, como cuando una corriente galvánica descompone compuestos. Pero la química está igual de unida al calor: en los

cambios químicos se desprende calor, y el calor puede descomponer los cuerpos. Esos vínculos solo muestran la unidad de las fuerzas de la naturaleza, la capacidad de una fuerza para producir otra, convertirse en ella y cambiarla. Por eso la identificación de las fuerzas químicas con las eléctricas no sobrevivió a la prueba experimental.

De todos los fenómenos moleculares de la naturaleza, el calor es el mejor comprendido, reducido a las ideas mecánicas básicas de energía, equilibrio y movimiento, accesibles a la matemática rigurosa desde Newton. Así que es natural, dice Mendeléyev, sobre todo en las últimas décadas, intentar poner las ideas químicas en relación rigurosa con los fenómenos del calor, aunque sin tratar los fenómenos químicos como fenómenos térmicos. La naturaleza de las fuerzas químicas nos está tan oculta como la naturaleza de la gravitación. Pero igual que la astronomía, sin saber qué es la gravitación, aprendió a describir y predecir el cielo con gran detalle mediante ideas mecánicas, la química puede esperar un progreso real a través de la teoría mecánica del calor.

Esa parte de la química aún se está elaborando y se desarrolla en una rama aparte, llamada química teórica o física, y mejor llamada mecánica química. Da por sabido que ya se conocen las muchas sustancias, los cambios que sufren y los fenómenos que los acompañan. Así que, concluye Mendeléyev, a la mecánica química solo se puede llegar después de aprender las ideas y sustancias básicas de la química, y ese es el objetivo principal de su libro.

Para recordar

Los metales brillan, son opacos y maleables, y conducen el calor y la electricidad; los metaloides carecen de estos signos; pero la línea es borrosa y no puede dividir exactamente las sustancias simples. Se reconocían unas ochenta sustancias simples: catorce extendidas, con el oxígeno como la de mayor masa, luego las de uso diario, otras más raras, los gases de Ramsay sin compuestos conocidos y los metales radiactivos, setenta y siete en total, más unas pocas dudosas. Las mismas sustancias simples se encuentran en la luz de estrellas lejanas. Cada elemento se distingue por su disposición a combinarse; la fuerza que hay detrás, la afinidad química, no es la gravitación, ni la cohesión, ni la adherencia, ni la electricidad, aunque está unida al calor y a la electricidad. Su naturaleza está oculta, y la mecánica química, que la estudia a través de la teoría del calor, debe venir después de conocer las propias sustancias.

Preguntas

1. ¿Por qué la división en metales y metaloides no puede servir como división exacta de las sustancias simples?
 - a. Porque los metaloides se convierten en metales al calentarse.
 - b. Porque en muchos casos particulares los signos físicos de un metal están presentes solo en parte, así que la línea es borrosa.
 - c. Porque hay más metaloides que metales.

- d. Porque los metales y los metaloides no pueden formar compuestos entre sí.
2. ¿Qué distingue a los gases de Ramsay, como el helio y el argón, de todas las demás sustancias simples?
- a. Aún no se había hecho ningún compuesto de ninguno de ellos con otro elemento.
 - b. Son las sustancias más extendidas de la naturaleza.
 - c. Son radiactivos.
 - d. Son metales que resultan ser gases.
3. ¿Por qué la afinidad química no puede ser lo mismo que la cohesión, aunque las dos actúen solo a distancias diminutas?
- a. Porque la cohesión solo actúa en los líquidos.
 - b. Porque la afinidad depende solo de la masa y la distancia.
 - c. Porque la cohesión separa las partículas.
 - d. Porque la cohesión actúa entre partículas de la misma sustancia, y la afinidad entre sustancias distintas.
4. El cambio químico produce electricidad, y una corriente puede descomponer compuestos. ¿Por qué Mendeléyev rechazó aun así la idea de que las fuerzas químicas son eléctricas?
- a. Porque la electricidad todavía no se entendía en absoluto.
 - b. Porque la química está igual de unida al calor, y esos vínculos solo muestran que las fuerzas de la naturaleza pueden producirse unas a otras.
 - c. Porque una corriente nunca puede descomponer ningún compuesto.

d. Porque en la práctica los cambios químicos nunca producen electricidad.

Respuestas

1. **b)** En ejemplos claros como el cobre y el azufre la diferencia es nítida, pero en muchos casos no lo es, así que no puede servir de base para una división exacta.

2. **a)** Aparecen en pequeñas cantidades en el aire, y a diferencia de todas las demás sustancias simples, no se había obtenido ninguno de sus compuestos.

3. **d)** La cohesión da a un sólido homogéneo su forma y a un líquido sus gotas, actuando dentro de una sustancia; la afinidad actúa entre sustancias distintas y forma algo nuevo.

4. **b)** El calor está unido al cambio químico tan estrechamente como la electricidad; esos vínculos muestran la unidad de las fuerzas de la naturaleza, y la identificación eléctrica fracasó al ponerla a prueba.

Ejercicios

1. Las listas de Mendeléyev nombran 14 sustancias simples extendidas, 23 de uso diario, 14 menos usadas, 18 raras pero estudiadas, 5 gases hallados por Ramsay y 3 metales radiactivos. Compruebe que esto da su total.

Pista: Sume los grupos de uno en uno.

Respuesta: 77. Catorce más veintitrés son 37; más catorce, 51; más dieciocho, 69; más cinco, 74; más tres, 77, el número que da Mendeléyev antes de nombrar algunas dudosas más allá.

2. Explique en qué se diferencia un par de placas pulidas que se pegan de un cambio químico, y por qué Mendeléyev ve aun así esa adherencia como un enlace entre fuerzas mecánicas y químicas.

Pista: Pregunte si se forma una sustancia nueva, y a qué distancia actúan las fuerzas.

Respuesta: Cuando las placas se pegan, cada una sigue siendo lo que era; en un cambio químico un cuerpo penetra en el otro y se forma una sustancia nueva. Pero las fuerzas de adherencia, como las químicas, actúan solo en contacto pleno, así que forman una transición entre las fuerzas mecánicas y las químicas.

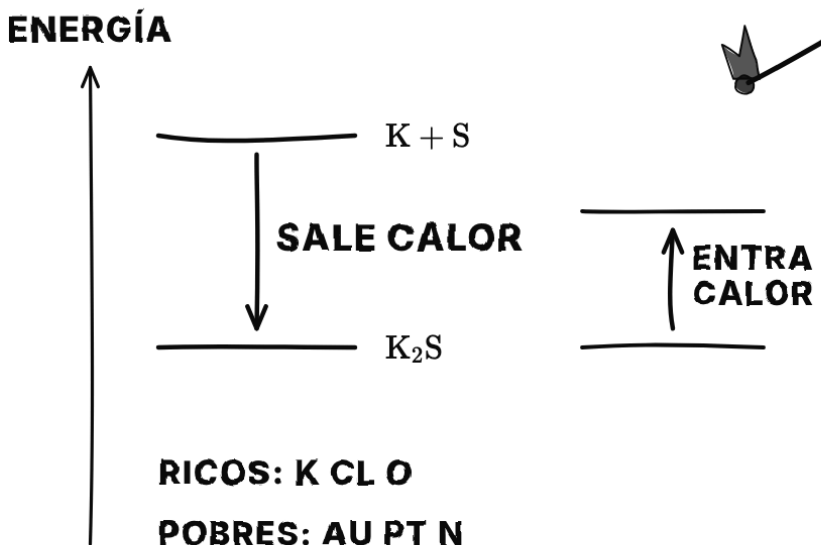
3. ¿Por qué espera Mendeléyev que la química pueda avanzar a través de la teoría del calor aunque se desconozca la naturaleza de la fuerza química?

Pista: Piense en cómo se las arregló la astronomía sin saber qué es la gravitación.

Respuesta: El calor es el fenómeno molecular mejor comprendido, reducido a ideas mecánicas de energía, equilibrio y movimiento. Igual que la astronomía predijo el cielo con ideas mecánicas sin saber qué es la gravitación, la química puede avanzar mediante la teoría mecánica del calor sin saber qué es la afinidad.

La reserva oculta de energía química

Encienda una cerilla. Hace un momento era un palito frío con la cabeza rosa; ahora da calor y luz que no se veían por ninguna parte. El calor no salió de la nada, porque la energía nunca se crea. Así que debía de estar esperando, oculto, en las sustancias de la cabeza de la cerilla y del aire. Ahí es adonde nos lleva ahora Mendeléyev: a la energía que las sustancias llevan dentro.



La reserva oculta de energía

Su argumento tiene tres pasos. Los cambios químicos vienen de fuerzas internas que pertenecen a las propias sustancias. Los

fenómenos químicos consisten siempre en el movimiento de partículas materiales. Y el estudio de la mecánica y la física ha establecido que la energía se conserva: cambia de forma, pero nunca se pierde ni se crea. Así que debemos admitir que las sustancias, y los elementos en particular, guardan una reserva de energía química, un movimiento invisible que las empuja a reaccionar. Si una reacción desprende calor, parte de la energía química ha pasado a calor; si una reacción absorbe calor, parte de ese calor se ha escondido como energía química. Una batería recargable lo hace visible: enchufarla mete energía en sus sustancias, y usar el teléfono deja que la gasten de nuevo, calentando un poco el teléfono al hacerlo.

Esta reserva se puede agotar. Tras varias combinaciones, cada una de las cuales desprende calor, al compuesto le puede quedar tan poca energía que se vuelve perezoso, un cuerpo sin energía. Pero ese cuerpo a veces puede combinarse con una sustancia simple o compuesta energética, y dar cuerpos aún más complejos que vuelven a ser capaces de reaccionar. Entre las sustancias simples, el oro, el platino y el nitrógeno tienen poca energía; el potasio, el cloro y el oxígeno tienen muchísima.

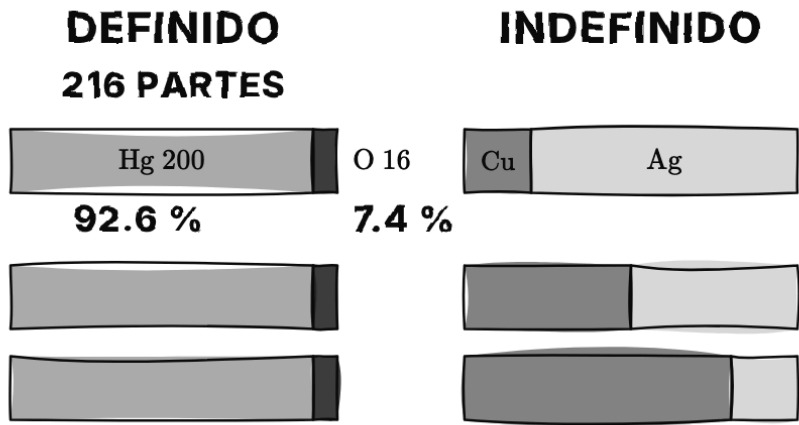
Las sustancias distintas que se combinan suelen dar un producto con menos energía. El potasio y el azufre arden fácilmente los dos en el aire una vez calentados. Pero una vez combinados entre sí, el compuesto, aunque todavía se puede oxidar, no arde en el aire como sus partes por separado. Parte de la energía del potasio y del azufre se desprendió como calor al unirse. Igual que se absorbe o se desprende algo de calor cuando una sustancia pasa de un estado a otro, como del hielo al agua, en toda combinación, descomposición y demás proceso químico cambia la reserva de energía química, y con ella se desprende o se absorbe calor.

Para entender el cambio químico de forma mecánica, es decir, para estudiar cómo transcurren las reacciones, Mendeléyev señala cinco clases de conocimiento especialmente importantes. La primera es la estequiometría, la parte de la química que estudia las relaciones cuantitativas, en peso y en volumen, entre las sustancias que reaccionan. La segunda es distinguir las diferentes clases y tipos de interacción química. La tercera es estudiar cómo cambian las propiedades cuando cambia la composición. La cuarta son los fenómenos que acompañan al cambio químico, y la quinta es una visión general de las condiciones en que ocurren las reacciones.

La estequiometría está muy elaborada. Sus leyes, halladas por Dalton, por Avogadro y Gerhardt, y por otros, llegan tan hondo en toda la química que su estado actual puede llamarse la era de su aplicación detallada a casos particulares. Expresar la composición de los cuerpos en peso y en volumen sigue siendo la tarea principal de la investigación química, así que el resto del libro de Mendeléyev se rige por estas leyes. Incluso el sentido de la combinación, la descomposición y la sustitución adquirió un carácter nuevo con ideas exactas sobre las cantidades que reaccionan. Y de estas ideas surgió una nueva división de los compuestos en definidos e indefinidos.

A principios del siglo diecinueve, Berthollet no hacía tal distinción. Pero Proust mostró que muchísimos compuestos contienen sus partes en una proporción en peso completamente exacta, que no cambia en ninguna condición. El óxido rojo de mercurio, por ejemplo, contiene dieciséis partes en peso de oxígeno por cada doscientas partes de mercurio. Aquí va un cálculo en voz alta. Doscientas más dieciséis son doscientas dieciséis partes de óxido. La parte del oxígeno es dieciséis de doscientas dieciséis, más o menos un siete coma cuatro por ciento; la del mercurio es doscientas de doscientas dieciséis, más o menos un

noventa y dos coma seis por ciento. Así que cualquier muestra de óxido rojo de mercurio, de cualquier laboratorio, es más o menos un noventa y tres por ciento de mercurio.

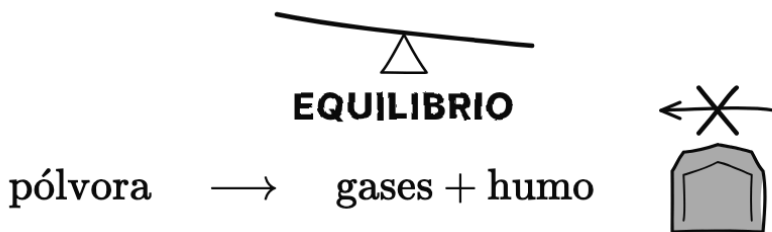
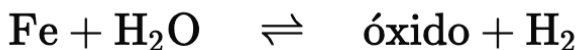


$200 + 16 = 216$

En una aleación de cobre y plata, en cambio, se puede añadir cualquier cantidad de cualquiera de los dos metales, igual que se puede cambiar la proporción de azúcar y agua en una solución, y aun así se obtiene un todo uniforme con las propiedades combinadas de sus partes. Esos son compuestos indefinidos. En la naturaleza y en la práctica del laboratorio y de la fábrica, las aleaciones y las soluciones tienen un papel tan importante como los compuestos definidos, pero como las leyes de las proporciones se habían aplicado sobre todo a los definidos, el conocimiento de los compuestos indefinidos era menos

completo, y solo en los últimos años los investigadores se habían vuelto hacia ellos. Lo dulce que esté su té depende de usted, un compuesto indefinido; pero el agua de la taza tiene la misma proporción fija de hidrógeno y oxígeno tanto si sale de un grifo de Moscú como de un manantial de los Alpes.

Para la mecánica química es muy importante distinguir las reacciones reversibles de las irreversibles. Las sustancias que pueden reaccionar a una temperatura dada dan cuerpos que, a la misma temperatura, pueden o no devolver las sustancias iniciales. La sal se disuelve en agua a temperatura corriente, y a esa misma temperatura la solución puede devolver la sal al evaporarse el agua. El sulfuro de carbono se forma a partir de azufre y carbón a una temperatura a la que también puede separarse de nuevo en azufre y carbón. El hierro, a cierta temperatura, libera hidrógeno del agua y forma óxido de hierro, y a esa misma temperatura el óxido con hidrógeno puede dar hierro y agua.



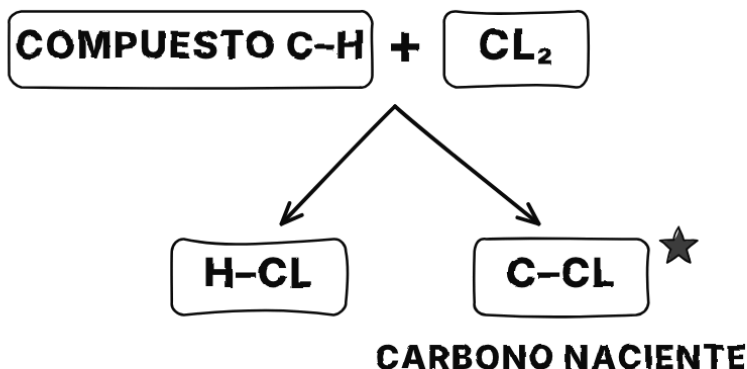
En los dos sentidos, o en uno

Esto es lo que se deduce, contado en palabras. Suponga que dos sustancias dan otras dos, y que esas dos pueden devolver las dos primeras. Entonces, tanto si empieza con una masa dada de la primera pareja como con la masa correspondiente de la segunda, acaba con las cuatro sustancias juntas, en equilibrio químico. Aumente la cantidad de una de ellas, y el balance se asienta en otro sitio, así que las reacciones reversibles nos permiten estudiar cómo la masa de una sustancia influye en el curso de un cambio.

Muchas reacciones de compuestos y mezclas muy complejos son irreversibles. Muchas sustancias complejas de plantas y animales se deshacen con el calor, y sus productos nunca devuelven la sustancia original, a ninguna temperatura. La pólvora, una mezcla de salitre,

azufre y carbón, arde en gases y humo que a ninguna temperatura devuelven las sustancias iniciales. La tostada es un ejemplo de cocina: ninguna temperatura convertirá la corteza dorada otra vez en pan tierno.

Para obtener esas sustancias hace falta un camino indirecto. Si una sustancia no se combina directamente con otra en ninguna condición, eso no significa que su compuesto no pueda existir. A menudo la primera se puede unir a una tercera sustancia, y la segunda a una cuarta; y si la tercera tiene una fuerte afinidad por la cuarta, entonces, cuando los dos compuestos actúan uno sobre otro, la tercera y la cuarta se emparejan, y la primera y la segunda quedan libres para unirse también. La primera y la segunda están entonces en un estado especial, recién liberadas, y se piensa que se combinan precisamente porque se encuentran en el momento de liberarse, en estado naciente.



El carbono encuentra al cloro de lado

El cloro es el ejemplo de Mendeléyev. No reacciona directamente con el carbón, el grafito ni el diamante, las formas del carbono libre, y sin embargo existen compuestos de cloro y carbono, y muchos son muy estables. Se hacen dejando que el cloro actúe sobre compuestos de carbono e hidrógeno. El cloro se lleva el hidrógeno, y el carbono, liberado en ese momento, se une a parte del cloro, así que al final el cloro está combinado tanto con el hidrógeno como con el carbono.

Para recordar

Las sustancias guardan una reserva de energía química, un movimiento invisible que las empuja a reaccionar; el calor que desprende una reacción sale de esa reserva, y el calor absorbido se esconde en ella. El oro, el platino y el nitrógeno tienen poca energía, el potasio, el cloro y el oxígeno mucha; las sustancias distintas suelen combinarse en un producto menos enérgico que sus partes. La estequiometría, el estudio de las proporciones en que reaccionan las sustancias, es la parte mejor desarrollada de la química, y divide los compuestos en definidos, como el óxido rojo de mercurio con dieciséis partes de oxígeno por doscientas de mercurio, e indefinidos como las aleaciones y las soluciones. Las reacciones reversibles van en los dos sentidos y llegan a un equilibrio químico que se desplaza con las cantidades presentes; las irreversibles, como la pólvora que arde, van solo en un sentido. Sustancias que no se combinan directamente a veces se pueden unir por un camino indirecto, encontrándose en estado naciente, como el cloro y el carbono.

Preguntas

1. Una reacción absorbe calor de su entorno. ¿Adónde ha ido ese calor, según Mendeléyev?
 - a. La reacción lo ha destruido.
 - b. Se ha escapado como luz.

- c. Ha pasado, al menos en parte, a la energía química de los productos.
 - d. Se ha convertido en peso de más de los productos.
2. ¿Qué mostró Proust que Berthollet no había distinguido?
- a. Que muchos compuestos contienen sus partes en una proporción fija en peso, a diferencia de las aleaciones y las soluciones.
 - b. Que todo compuesto se puede partir con calor.
 - c. Que las aleaciones son sustancias simples.
 - d. Que los gases no tienen peso.
3. En una reacción reversible, ¿qué pasa si se aumenta la cantidad de una de las sustancias?
- a. La reacción se vuelve irreversible.
 - b. No cambia nada, porque el balance es fijo.
 - c. Todas las demás sustancias desaparecen.
 - d. El balance se asienta en otro sitio, lo que permite estudiar cómo influye la masa en el cambio.
4. El cloro y el carbono no se combinan directamente, pero sus compuestos existen. ¿Por qué funciona el camino indirecto?
- a. Porque el cloro se convierte en carbono al encontrarse con el hidrógeno.
 - b. Porque el carbono liberado de su compuesto con el hidrógeno está en estado naciente y especialmente dispuesto a combinarse.
 - c. Porque el diamante se disuelve en cloro a alta temperatura.
 - d. Porque el hidrógeno le da su energía al cloro.

Respuestas

1. **c)** La energía se conserva; el calor que absorbe una reacción se esconde, en parte, como energía química guardada en las sustancias formadas.
2. **a)** Proust halló que muchos compuestos contienen sus partes en una proporción exacta que nunca cambia, lo que separa los compuestos definidos de los indefinidos.
3. **d)** Añadir más de una sustancia da nuevas condiciones de equilibrio, así que las reacciones reversibles muestran la influencia de la masa en el cambio químico.
4. **b)** El cloro se lleva el hidrógeno, y el carbono liberado en ese momento, en estado naciente, se une a parte del cloro.

Ejemplos resueltos

La proporción fija del óxido rojo de mercurio El óxido rojo de mercurio contiene 16 partes en peso de oxígeno por cada 200 partes de mercurio. ¿Qué porcentaje del óxido es oxígeno, y qué porcentaje mercurio?

La proporción es fija, así que tome cualquier muestra como 200 partes de mercurio y 16 de oxígeno.

Juntas son 216 partes de óxido.

La parte del oxígeno es 16 de 216; por 100 da más o menos un 7,4 por ciento.

La parte del mercurio es 200 de 216, más o menos un 92,6 por ciento; las dos suman 100.

Respuesta: Más o menos un 7,4 por ciento de oxígeno y un 92,6 por ciento de mercurio

Ejercicios

1. Usando la proporción fija de 16 partes de oxígeno por 200 de mercurio, ¿cuánto oxígeno se puede obtener descomponiendo por completo 54 gramos de óxido rojo de mercurio?

Pista: El oxígeno son 16 partes de cada 216 partes de óxido.

Respuesta: 4 gramos. 54 gramos es la cuarta parte de 216, así que el oxígeno es la cuarta parte de 16, es decir, 4 gramos, y el mercurio son 50 gramos.

2. Un joyero hace dos aleaciones de cobre y plata, una con mucha más plata que la otra, y las dos son uniformes. Un químico hace óxido rojo de mercurio dos veces y siempre encuentra la misma proporción de mercurio y oxígeno. Explique la diferencia.

Pista: Piense en compuestos definidos e indefinidos.

Respuesta: La aleación es un compuesto indefinido: se puede añadir cualquier cantidad de cualquiera de los dos metales y el todo sigue siendo uniforme. El óxido rojo de mercurio es un compuesto definido: sus partes están siempre en la misma proporción fija en peso, sean cuales sean las condiciones.

3. El potasio y el azufre arden cada uno en el aire una vez calentados, pero su compuesto no. Explíquelo con la idea de una reserva de energía química.

Pista: ¿Qué se desprendió cuando los dos se combinaron?

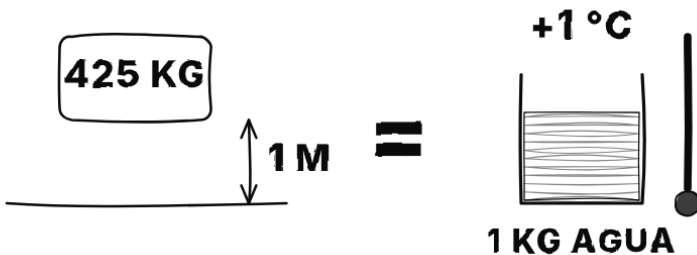
Respuesta: Cuando el potasio y el azufre se combinaron, parte de su reserva de energía química se desprendió como calor. Al compuesto le queda menos energía, así que aunque todavía se puede oxidar, ya no arde en el aire como sus partes.

El calor abre y cierra la puerta

Un trozo de carbón puede estar años al aire libre sin arder, aunque el oxígeno que necesita lo está tocando todo el tiempo. Acerque una llama a una esquina hasta que brille, y el fuego avanza solo hasta que no queda más que ceniza. Las sustancias estaban ahí desde el principio; tenía que cambiar otra cosa. Antes de que Mendeléyev llegue a qué es esa cosa, mira el tráfico en los dos sentidos entre la química y la física.



movimiento $\rightleftharpoons$ corriente



$$1 \text{ L, } +80^{\circ}\text{C} = 34 \text{ t} \times 1 \text{ m}$$

425 kilográmetros = 1 unidad de calor

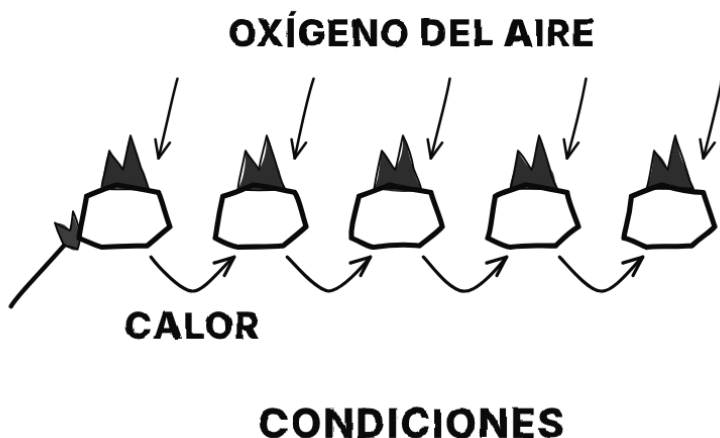
En los procesos químicos, dice, no hay solo movimiento de partículas, sino calor, luz, tensión eléctrica y corriente galvánica. Y cada uno de ellos, a su vez, puede alterar los cambios químicos. Esta acción en los dos sentidos, o reversibilidad, viene de que todos los fenómenos de la naturaleza son solo distintas clases y formas de movimiento, visible o invisible, movimiento molecular. La física había mostrado que el sonido, y luego la luz, son en esencia vibraciones.

El vínculo entre el calor y el trabajo mecánico también dejó de ser una conjetura y se volvió seguro, y se midió. Mendeléyev da la cifra: cuatrocientos veinticinco kilográmetros de trabajo mecánico corresponden a una unidad de calor de kilogramo, una caloría en su sentido. Esto es lo que significa, dicho en voz alta. Un kilográmetro es el trabajo de levantar un kilogramo un metro. Así que levantar cuatrocientos veinticinco kilogramos un metro es tanto trabajo como el calor que calienta un kilogramo de agua un grado. O, al revés, una pesa de un kilogramo tendría que caer cuatrocientos veinticinco metros para calentar un kilogramo de agua un solo grado, si todo su trabajo se convirtiera en calor. Por eso un hervidor en una placa eléctrica necesita tanta energía: calentar un litro de agua ochenta grados cuesta tanto trabajo como levantar treinta y cuatro toneladas un metro.

La electricidad también se puede obtener del trabajo mecánico, tanto la estática como la corriente, como en la dinamo de Gramme; y la corriente, en un motor eléctrico, devuelve movimiento mecánico. Haga pasar corriente por la máquina de Gramme y gira; hágala girar, y da corriente. Así que la mecánica química debe tomar las líneas principales de su desarrollo de estos vínculos entre los fenómenos químicos, físicos y mecánicos. Pero Mendeléyev es franco: el tema, complejo y nuevo, todavía no tiene una teoría ordenada, ni siquiera

una hipótesis satisfactoria, así que lo deja como rama aparte, la química física, y no se detiene en él. Un coche eléctrico hace el mismo truco en los dos sentidos: su motor mueve las ruedas con la batería, y al frenar, las ruedas que giran lo mueven como generador.

Ahora, al carbón. Un cambio químico va en una dirección dada no solo por las masas, la composición de los cuerpos y su reserva de energía química, sino también por las condiciones en que están las sustancias. Para que haya reacción entre sustancias capaces de reaccionar, a menudo hacen falta muchas condiciones, a veces muy distintas de aquellas en que las sustancias suelen estar en la naturaleza. Para que el carbón arda hace falta aire, y su oxígeno, pero además el carbón debe estar al rojo, muy calentado. La parte al rojo se combina con el oxígeno del aire, y el calor desprendido pone al rojo las partes siguientes, que arden solo porque antes se calentaron. Toda reacción, igualmente, ocurre solo en ciertas condiciones físicas, mecánicas y de otro tipo. Una barbacoa lo muestra cada verano: las brasas esperan frías en la bolsa hasta que una pastilla de encendido pone en marcha la cadena, y luego el calor de cada brasa enciende a sus vecinas.

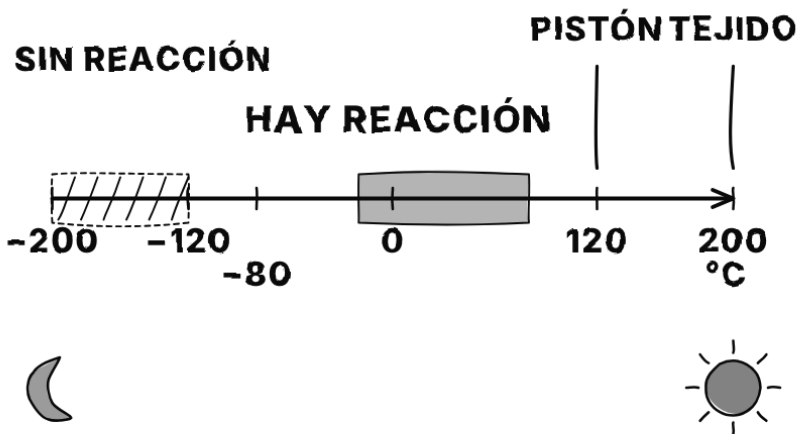


El calor pasa el fuego

La primera condición es el grado de calentamiento. Las combinaciones solo ocurren dentro de ciertos límites de temperatura y no fuera de ellos. La combustión empieza y continúa solo cuando el combustible está caliente; y, más sorprendente, los compuestos del cloro, o de la sal de mesa, con el agua solo se forman por debajo de cero grados. A temperaturas más altas estos compuestos no se forman, y una vez formados se deshacen, del todo o en parte.

¿Por qué el calentamiento pone en marcha las reacciones? Una razón es que el calor puede pasar uno de los cuerpos que reaccionan de sólido a líquido o vapor, y un líquido ayuda a que las partículas que reaccionan entren en pleno contacto. La otra es que el calentamiento debilita la cohesión, el vínculo interno entre partículas iguales, así que

los cuerpos iniciales se separan con más facilidad y se convierten en compuestos nuevos. Cuando una reacción necesita absorber calor, como una descomposición, la necesidad de calentar es evidente. Por todo lo que se sabe de las altas temperaturas, hoy se puede decir que todo compuesto se descompone con un calor lo bastante fuerte.



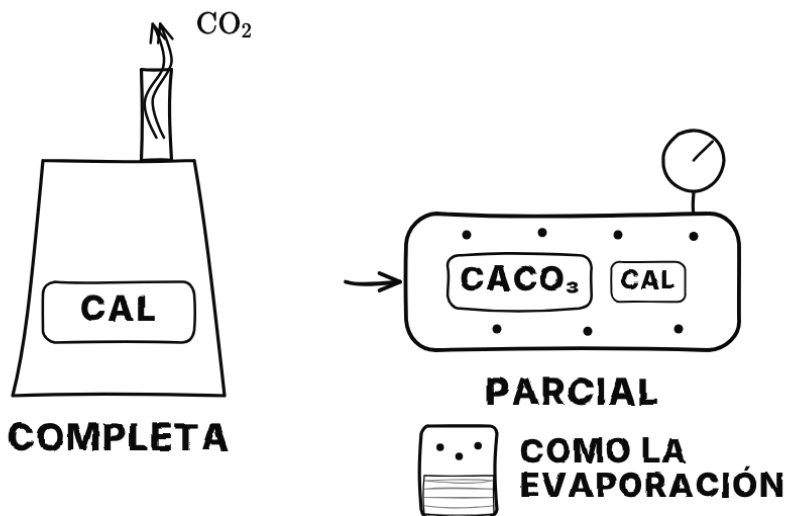
Cada reacción tiene su ventana

Ya hemos visto el óxido rojo de mercurio separarse en mercurio y oxígeno, y la madera deshacerse con el calor. Algunos cuerpos se descomponen con un calor suave: la sal fulminante de mercurio que se pone en los pistones se descompone al calentarse un poco por encima de ciento veinte grados. Muchas de las sustancias que forman los tejidos de animales y plantas se descomponen hacia los doscientos grados. Un horno de cocina a doscientos grados dora un asado

exactamente por esta razón: las sustancias de la carne empiezan a descomponerse.

A temperaturas muy bajas, en cambio, no ocurre ninguna reacción química. Lo vemos en las plantas, cuyos procesos químicos se detienen con el frío del invierno. En mil ochocientos noventa y dos, Raoul Pictet, usando las temperaturas muy bajas, hasta doscientos grados bajo cero, que se alcanzan haciendo hervir gases licuados, lo confirmó. Por debajo de ciento veinte grados bajo cero no reacciona ni siquiera el ácido sulfúrico con sosa cáustica o con sodio metálico, y el tornasol empieza a cambiar de color con los ácidos solo por encima de ochenta bajo cero. Así que cada reacción necesita su propio intervalo de temperatura, y en el sol, donde hace mucho calor, o en la luna, donde hace mucho frío, muchos de los cambios que vemos en la Tierra seguramente no pueden ocurrir.

El efecto del calor sobre las reacciones reversibles es especialmente instructivo. Caliente un compuesto que puede volver a formarse a partir de sus propios productos; cuando empieza la descomposición, no termina de golpe, ni en el tiempo ni en la cantidad, para una masa dada en un volumen dado. Solo se descompone una parte; suba la temperatura y la parte descompuesta crece; cada temperatura, a un volumen dado, tiene su propia proporción de sustancia descompuesta y sin tocar, hasta que se alcanza una temperatura en que todo el compuesto se deshace. Esta descomposición incompleta por el calor se llama disociación, y se pueden distinguir las temperaturas a las que empieza y termina.

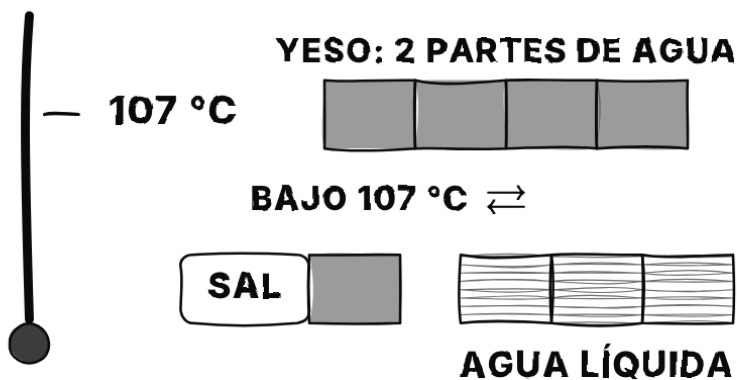


Horno abierto, cañón cerrado

Si uno o todos los productos no se quedan en contacto con el compuesto sin descomponer, la descomposición llega al final. En un horno de cal, la caliza se descompone por completo en cal y dióxido de carbono, porque el gas puede escapar. Encierre esa misma piedra en el cañón de un arma, remáchelo y caliéntelo, y el gas no puede escapar; entonces, a cada temperatura por encima del comienzo de la disociación, solo se descompone una parte de la piedra. Se detiene cuando el dióxido de carbono alcanza la mayor presión de disociación que corresponde a esa temperatura. Suba la presión añadiendo gas, y la combinación empieza de nuevo; bájela, y la descomposición continúa.

Esto, dice Mendeléyev, es igual que la evaporación. Si no se quita el vapor, su presión alcanza el mayor valor para esa temperatura, y la evaporación se detiene. Añada vapor, y se condensa en líquido; quite algo, manteniendo la temperatura, y la evaporación se reanuda. Estas ideas de disociación las introdujo Henri Sainte-Claire Deville. Mendeléyev añade que las partes separadas se combinan con más facilidad cuanto más cerca está su temperatura del comienzo de la disociación; esa temperatura está cerca de aquella a la que empiezan a reaccionar.

En algunos casos un cambio químico tiene una temperatura totalmente definida, comparable a un punto de fusión o de ebullición: por encima de ella un compuesto se deshace, por debajo se forma. Se puede ver con un termómetro, y también por el cambio repentino de volumen a esa temperatura. El yeso natural es el ejemplo: una sal de calcio y ácido sulfúrico con dos partes de agua ligadas a ella. A ciento siete grados, en un espacio cerrado para que el agua no pueda irse como vapor, se deshace por completo en una pasta líquida: una sal con solo media parte de agua, y tres cuartos del agua anterior como líquido. Aquí va la aritmética en voz alta: dos partes de agua se vuelven media parte, así que se liberan una parte y media, y una y media de dos son tres cuartos. Por debajo de esa temperatura, el yeso con dos partes de agua se vuelve a formar. La escayola para un brazo roto es yeso calentado para expulsar esa agua; mezclado otra vez con agua, se endurece.



$$\frac{1.5}{2} = \frac{3}{4}$$

El yeso a 107 °C

Para recordar

Los fenómenos químicos, térmicos, eléctricos y mecánicos se convierten unos en otros porque todos son formas de movimiento; cuatrocientos veinticinco kilográmetros de trabajo equivalen a una unidad de calor de kilogramo. Una reacción no depende solo de las sustancias sino de las condiciones; el carbón arde solo una vez calentado, y luego su propio calor lo mantiene. Cada reacción tiene su intervalo de temperatura: el calor ayuda poniendo en contacto las partículas y debilitando la cohesión, el calor fuerte descompone todo compuesto, y el frío intenso, como mostró Pictet, detiene las reacciones por completo. Los compuestos reversibles se disocian en parte, una proporción fija a cada temperatura, como la caliza en un cañón cerrado, igual que un líquido que se evapora en un espacio cerrado. Algunos cambios tienen una temperatura precisa, como el yeso a ciento siete grados, que libera tres cuartos de su agua.

Preguntas

1. ¿Por qué el resto de un trozo de carbón sigue ardiendo una vez encendida una esquina?
 - a. La llama añade oxígeno al carbón.
 - b. El calor que desprende la parte que arde pone al rojo las partes siguientes, que arden solo porque están calientes.
 - c. Encenderlo convierte el carbón en un gas que arde solo.
 - d. La llama destruye de golpe la cohesión del carbón.

2. La caliza se descompone por completo en un horno pero solo en parte en el cañón cerrado y caliente de un arma. ¿Qué marca la diferencia?
 - a. En el horno el dióxido de carbono escapa; en el cañón se acumula hasta la presión de disociación y la descomposición se detiene.
 - b. El cañón está más frío que el horno.
 - c. El hierro del cañón protege la piedra.
 - d. El aire del horno añade oxígeno a la piedra.
3. En un cañón cerrado con caliza en parte disociada, a temperatura fija, ¿qué pasa si se mete más dióxido de carbono?
 - a. Se descompone más caliza.
 - b. No cambia nada en absoluto.
 - c. La cal y el dióxido de carbono empiezan a combinarse de nuevo.
 - d. La cal se funde en una pasta.
4. ¿Qué mostraron los experimentos de Pictet a temperaturas muy bajas?
 - a. Que el frío hace más rápidas todas las reacciones.
 - b. Que los ácidos reaccionan con sosa cáustica a cualquier temperatura.
 - c. Que el tornasol cambia de color con más fuerza con el frío extremo.
 - d. Que por debajo de cierto frío no ocurren ni siquiera las reacciones violentas.

Respuestas

1. **b)** La parte al rojo se combina con el oxígeno y desprende calor, que calienta las partes siguientes; cada parte arde solo porque antes se calentó.
2. **a)** La descomposición llega al final solo cuando un producto puede salir; el gas atrapado alcanza la mayor presión para esa temperatura y la descomposición se detiene.
3. **c)** Subir la presión por encima de la presión de disociación impulsa la combinación, igual que añadir vapor sobre un líquido hace que se condense.
4. **d)** Por debajo de ciento veinte grados bajo cero no reacciona ni siquiera el ácido sulfúrico con sosa cáustica o sodio: toda reacción necesita su intervalo de temperatura.

Ejemplos resueltos

Trabajo y calor 425 kilográmetros de trabajo corresponden a una unidad de calor de kilogramo, el calor que calienta un kilogramo de agua un grado. ¿Cuánto trabajo corresponde a calentar 3 kilogramos de agua 2 grados?

Calentar 3 kilogramos 2 grados necesita 3 por 2, es decir, 6 unidades de calor de kilogramo.

Cada unidad de calor corresponde a 425 kilográmetros de trabajo.

Así que el trabajo es 6 por 425.

Son 2550 kilográmetros, tanto como levantar 2550 kilogramos un metro.

Respuesta: 2550 kilográmetros

Por qué el yeso libera tres cuartos de su agua El yeso contiene dos partes de agua; a 107 grados en un espacio cerrado se convierte en una sal con media parte de agua, más agua líquida. ¿Qué fracción de su agua se libera?

Antes, la sal contiene dos partes de agua; después, media parte.

Así que el agua liberada es dos menos media, una parte y media.

Como fracción del agua que tenía, es una y media de dos.

Una y media de dos son tres cuartos, como dice Mendeléyev.

Respuesta: Tres cuartos de su agua

Ejercicios

1. Una pesa de 10 kilogramos cae 85 metros, y todo su trabajo se convierte en calor. ¿Cuántas unidades de calor de kilogramo son?

Pista: El trabajo en kilográmetros es el peso en kilogramos por la altura en metros; luego divida por 425.

Respuesta: 2 unidades. El trabajo es 10 por 85, es decir, 850 kilográmetros, y 850 dividido por 425 son 2 unidades de calor de kilogramo.

2. Dé las dos razones de Mendeléyev por las que calentar ayuda a que las sustancias reaccionen.

Pista: Piense en lo que hace el calor al estado de un sólido y al vínculo entre sus partículas.

Respuesta: El calor puede convertir un sólido en líquido o vapor, lo que ayuda a que las partículas entren en pleno contacto; y debilita la cohesión, el vínculo entre partículas iguales, así que los cuerpos se separan con más facilidad y pueden formar compuestos nuevos.

3. Explique por qué la disociación de la caliza en un recipiente cerrado se compara con la evaporación del agua en un espacio cerrado.

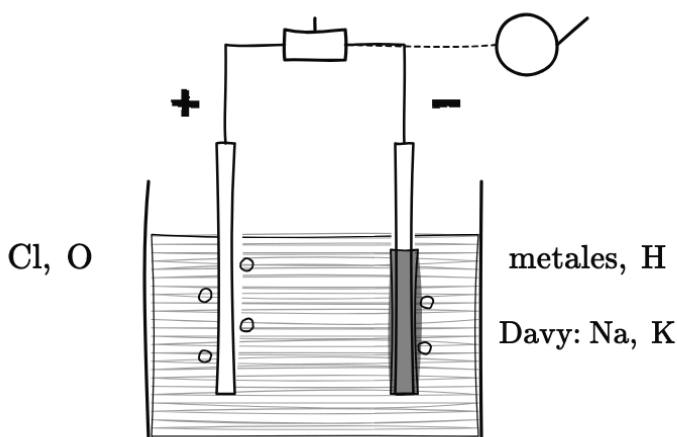
Pista: ¿Qué detiene cada proceso, y qué lo vuelve a poner en marcha?

Respuesta: En los dos, el proceso se detiene cuando el gas o el vapor alcanza la mayor presión que corresponde a esa temperatura. Añadir gas o vapor lo invierte, dando combinación o condensación; quitar algo a la

misma temperatura deja que la descomposición o la evaporación continúen.

Corriente, luz, un golpe y un toque de platino

Meta dos cables de una pila en un vaso de agua salada. De los dos cables empiezan a subir burbujitas, y si mira de cerca, no suben igual en los dos extremos. Algo del agua se está partiendo, y sus partes van a cables distintos. Esta es la segunda condición que dirige el cambio químico, y Mendeléyev empieza con ella el último tramo de su introducción.



ELECTRONEGAT.

ELECTROPOSIT.

La corriente separa las partes

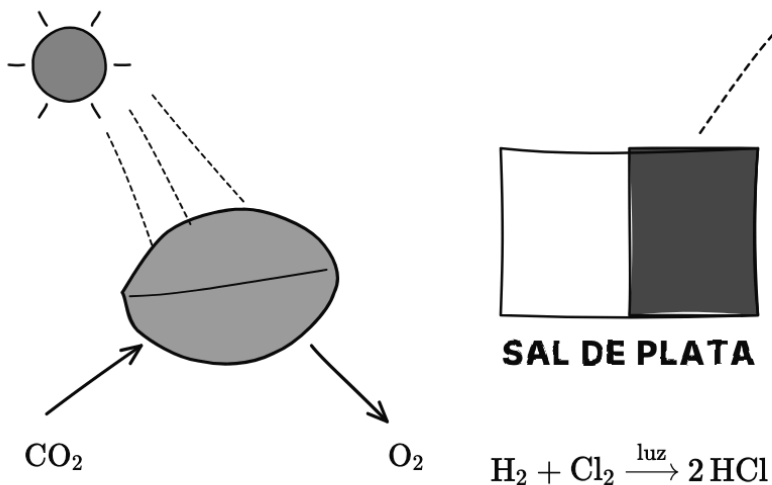
La influencia de la corriente galvánica, y de la electricidad en general, se parece mucho a la del calor. La mayoría de los compuestos que conducen una corriente son descompuestos por ella. Y cerca de las condiciones en que hay descomposición suele haber también combinación, así que la electricidad también puede producir combinación, igual que el calentamiento. La electricidad, dice Mendeléyev, debe contarse como otra clase de movimiento de partículas, como el calor, así que todo lo dicho sobre el calor vale también para la corriente. Su ventaja es que partir un cuerpo en sus partes a veces se puede hacer de forma más cómoda, porque ocurre a temperatura corriente, y así se pueden descomponer incluso los cuerpos más estables.

Hay una peculiaridad importante. Las partes 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: sobre todo no metales, como el cloro y el oxígeno, y también ácidos y cuerpos parecidos. En el polo negativo, el cátodo, aparecen metales, hidrógeno y productos de descomposición parecidos, llamados iones, y estos se llaman electropositivos. En su vaso de agua salada, el cloro se junta en un cable y el hidrógeno en el otro, y cargar un teléfono clasifica las partes de las sustancias de su batería justamente así.

Partir compuestos con corriente llevó a descubrimientos muy importantes. Muchas sustancias simples se obtuvieron por primera vez así. Lo más famoso es la obtención del potasio y del sodio, cuyos compuestos con el oxígeno Lavoisier y los químicos de su tiempo no podían descomponer. El inglés Davy mostró que estas sustancias se descomponen con una corriente galvánica, y en el polo negativo obtuvo los metales que contienen, el potasio y el sodio. En los últimos

tiempos, cuando las dinamos hicieron fácil obtener corriente quemando combustible o con la fuerza del agua, el método de Davy se volvió cómodo y rentable para las fábricas: el sodio se hace a partir de sosa cáustica fundida, y el cloro a partir de soluciones de sal de mesa. El aluminio de una lata de refresco se hace hoy de la misma manera, haciendo pasar una corriente enorme por un compuesto de aluminio fundido.

La tercera condición es la luz. Algunos compuestos inestables son descompuestos por la luz, y la fotografía se basa en esta propiedad de ciertas sustancias, como las sales de plata. El trabajo mecánico de las vibraciones que forman la luz es muy pequeño, así que solo algunos cuerpos, por lo general débiles, pueden descomponerse con la luz, al menos en condiciones corrientes. Pero hay fenómenos químicos producidos por la luz que siguen siendo un problema sin resolver de la química: los que ocurren en las plantas. Allí ocurre una gran variedad de descomposiciones y combinaciones, a menudo aún no reproducidas por medios artificiales. El dióxido de carbono, tan estable frente a la corriente y el calor, se descompone en las plantas bajo la influencia de la luz, desprendiendo oxígeno. Y el cloro se combina con el hidrógeno no solo al calentarse sino también al iluminarse, lo que muestra que la luz puede poner en marcha combinaciones además de descomposiciones. Una planta verde en su alféizar hace en silencio lo que ningún laboratorio de la época de Mendeléyev podía: partir el dióxido de carbono con nada más que luz del sol.



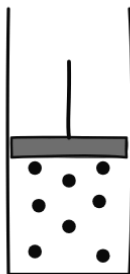
La luz parte y une

La cuarta condición es la acción mecánica, que afecta tanto a las combinaciones como a las descomposiciones. Muchas sustancias se descomponen con un simple roce o un golpe, como el yoduro de nitrógeno, un compuesto de nitrógeno, yodo e hidrógeno, y la sal fulminante de mercurio que estalla al golpearla en los pistones. El roce hace que el azufre arda a costa del oxígeno de la sal de Berthollet. La presión, junto con la temperatura, fija el estado de las sustancias, sobre todo de los gases: cambie la presión y el volumen cambia mucho, y con él el número de encuentros entre partículas distintas. Por eso el hidrógeno comprimido actúa con más fuerza sobre el yodo y sobre soluciones de muchas sales, a temperaturas adecuadas.

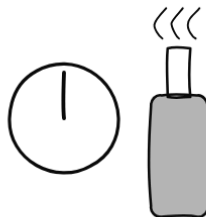
GOLPE



PRESIÓN



TIEMPO

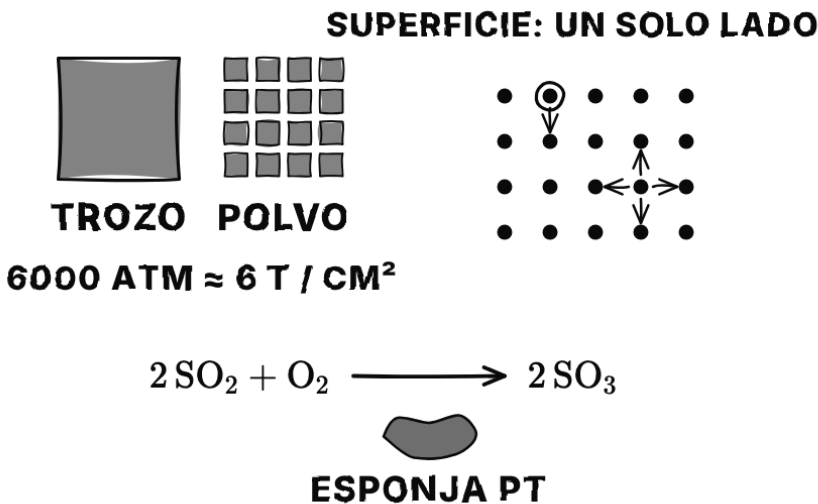


Un golpe, presión, tiempo

La quinta condición es el tiempo. Para que los cuerpos penetren uno en otro, primero tiene que haber un movimiento mecánico, y este va a una velocidad definida: un sólido que arde en el aire arde por su superficie, y depende de que esa superficie se renueve y de que llegue aire, lo que lleva tiempo. E incluso tras el contacto pleno, el movimiento interno que constituye la reacción necesita su propio tiempo. El ejemplo conocido es la crianza del vino, que le da su buqué. El vino joven contiene ácidos y alcohol por separado; mientras se guarda, reaccionan entre sí por doble descomposición, dando agua y ésteres compuestos aromáticos. Esta reacción es lenta a temperatura corriente, es reversible, ya que los ésteres y el agua pueden devolver alcohol y ácido, y su velocidad depende de la temperatura y de otras condiciones. Hay muchas reacciones lentas así, pero la mayoría de los

cambios químicos bruscos que se encuentran al empezar en la química van tan rápido que el tiempo no se suele tener en cuenta.

La sexta condición es el estado de contacto entre los cuerpos que reaccionan. Aumentar el número de puntos de contacto, en igualdad de lo demás, aumenta la intensidad de una reacción. El ácido sulfúrico no absorbe el gas oleificante en contacto corriente, pero sí con una agitación larga, porque los puntos de contacto aumentan muchísimo en número. Los sólidos, para actuar unos sobre otros del todo y deprisa, deben mezclarse lo más finamente posible, molidos hasta el polvo más fino.



Más contacto, cambio más rápido

El químico belga Spring mostró que polvos de sólidos que no reaccionan a temperatura corriente se pueden hacer reaccionar con mayor presión. A seis mil atmósferas, el azufre se combina con muchos metales a temperatura corriente, y los polvos de muchos metales forman una aleación. Aquí va esa presión en voz alta. Una atmósfera aprieta con aproximadamente un kilogramo sobre cada centímetro cuadrado, así que seis mil atmósferas son unos seis mil kilogramos, seis toneladas, sobre cada centímetro cuadrado, como un camión grande apoyado en la yema de un dedo. La causa aquí, dice Mendeléyev, es el aumento de los puntos y superficies de contacto, y así los sólidos pueden reaccionar igual que los líquidos y los gases, porque en todo estado de la materia las partículas conservan su movimiento interno y su movilidad.

Luego viene un detalle sutil. Dentro de una sustancia cada partícula recibe la acción de otras iguales desde todos los lados, pero en la superficie solo desde un lado. Así que el estado de la materia en una superficie donde toca otros cuerpos está más o menos alterado, y puede parecerse al estado producido al subir la temperatura. Esto explica la numerosa clase de reacciones de contacto, que surgen de la mera presencia, el toque, de ciertos cuerpos especiales, lo que se llama catálisis. Los cuerpos porosos y en polvo suelen actuar así, sobre todo el platino esponjoso y el carbón. El dióxido de azufre no se combina directamente con el oxígeno, pero en presencia de platino esponjoso la combinación ocurre, con desprendimiento de calor. El catalizador bajo un coche hace el mismo trabajo con una película de metales del platino, haciendo reaccionar los gases de escape al pasar sobre ella.

Estas ideas generales e introductorias de la química, termina Mendeléyev, solo adquieren su verdadero sentido conociendo los detalles de la química, a los que el libro se dirige ahora. Pero era

inevitable encontrarse desde el principio con principios tan amplios como las leyes de conservación de la materia y de las fuerzas, porque solo aceptándolos, y bajo su guía, puede el estudio de los detalles ser practicable y provechoso. Así que la introducción se cierra donde empezó: en la balanza, donde nada se pierde, y con la energía, que solo cambia de forma.

Para recordar

Una corriente eléctrica actúa de forma muy parecida al calor pero puede partir incluso los compuestos más estables a temperatura corriente, enviando los no metales y los ácidos al polo positivo y los metales y el hidrógeno al negativo; así Davy obtuvo por primera vez el potasio y el sodio. La luz parte compuestos frágiles, como en la fotografía, puede hacer que el cloro y el hidrógeno se combinen, y en las plantas descompone incluso el dióxido de carbono. El roce, los golpes y la presión pueden poner en marcha reacciones, y las reacciones necesitan tiempo, como la lenta formación del buqué del vino. Más puntos de contacto significan una reacción más fuerte: Spring hizo reaccionar polvos a seis mil atmósferas, y superficies como el platino esponjoso ponen en marcha reacciones de contacto. Todos los detalles de la química descansan en las leyes de conservación de la materia y de la energía, establecidas al principio.

Preguntas

1. ¿Qué ventaja tiene una corriente eléctrica sobre el calor para partir compuestos?
 - a. Actúa a temperatura corriente y puede partir incluso los cuerpos más estables.
 - b. Nunca produce combinaciones.
 - c. Solo parte compuestos débiles, así que es más segura.
 - d. Convierte los compuestos en luz en lugar de sustancias nuevas.
2. Cuando una corriente parte un compuesto, ¿dónde aparecen los metales y el hidrógeno?
 - a. En el polo positivo, el ánodo.
 - b. Repartidos por todo el líquido.
 - c. En el polo negativo, el cátodo.
 - d. No aparecen; solo se liberan no metales.
3. ¿Por qué una agitación larga deja que el ácido sulfúrico absorba un gas que ignora cuando solo se tocan?
 - a. La agitación calienta el ácido hasta que hierve.
 - b. La agitación convierte el gas en líquido.
 - c. La agitación libera oxígeno del ácido.
 - d. La agitación aumenta muchísimo el número de puntos de contacto.
4. ¿Por qué la superficie de un cuerpo como el platino esponjoso puede poner en marcha una reacción?
 - a. Porque el platino da su propia sustancia a los productos.
 - b. Porque sobre las partículas de una superficie se actúa solo desde un lado, así que su estado está alterado, un poco como

si se calentaran.

c. Porque el platino siempre lleva una corriente eléctrica.

d. Porque la luz se concentra en la superficie de los cuerpos porosos.

Respuestas

1. **a)** La corriente actúa de forma muy parecida al calor, pero la separación se puede hacer más cómodamente a temperatura corriente, y ceden incluso los cuerpos más estables.

2. **c)** Los metales, el hidrógeno y productos parecidos aparecen en el polo negativo y se llaman electropositivos; los no metales y los ácidos van al polo positivo.

3. **d)** Más puntos de contacto, en igualdad de lo demás, significan una reacción más intensa, y la agitación los multiplica.

4. **b)** Dentro de un cuerpo cada partícula es atraída desde todos los lados, en la superficie desde uno; el estado alterado allí puede parecerse al de una temperatura más alta, lo que explica las reacciones de contacto.

Ejemplos resueltos

Con cuánta fuerza apretó Spring Spring hizo que el azufre se combinara con metales a temperatura corriente bajo 6000 atmósferas. Tomando una atmósfera como aproximadamente un kilogramo sobre cada centímetro cuadrado, ¿qué carga es esa sobre un centímetro cuadrado?

Cada atmósfera es aproximadamente un kilogramo sobre cada centímetro cuadrado.

6000 atmósferas son por tanto 6000 veces un kilogramo sobre cada centímetro cuadrado.

Son 6000 kilogramos, o seis toneladas, sobre cada centímetro cuadrado. Esa presión aprieta las superficies de los polvos unas contra otras, multiplicando los puntos de contacto para que puedan reaccionar.

Respuesta: Unos 6000 kilogramos, seis toneladas, sobre cada centímetro cuadrado

Ejercicios

1. ¿A cuántas atmósferas se apretaría un polvo con aproximadamente tonelada y media sobre cada centímetro cuadrado?

Pista: Una atmósfera es aproximadamente un kilogramo sobre un centímetro cuadrado; una tonelada son mil kilogramos.

Respuesta: Unas 1500 atmósferas. Tonelada y media son 1500 kilogramos, y a aproximadamente un kilogramo por atmósfera son 1500 atmósferas, la cuarta parte de las 6000 de Spring.

2. ¿Por qué Davy pudo obtener potasio y sodio cuando Lavoisier no pudo?

Pista: ¿Qué puede hacer una corriente que el calor y los métodos de la época de Lavoisier no podían?

Respuesta: Los compuestos del potasio y del sodio con el oxígeno eran demasiado estables para los medios de la época de Lavoisier. Davy hizo pasar por ellos una corriente galvánica, que parte incluso los compuestos más estables, y los metales aparecieron en el polo negativo.

3. Explique por qué el vino que envejece gana despacio su buqué, usando la idea de que las reacciones necesitan tiempo.

Pista: ¿Qué reacciona en el vino, y a qué velocidad a temperatura corriente?

Respuesta: El vino joven contiene ácidos y alcohol por separado. Mientras se guarda, reaccionan por doble descomposición dando agua y

ésteres compuestos aromáticos, pero a temperatura corriente esta reacción reversible va despacio, a una velocidad limitada, así que el buqué solo aparece con el tiempo.