

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

Nada desaparece

Gases que no se ven

Doce días con mercurio

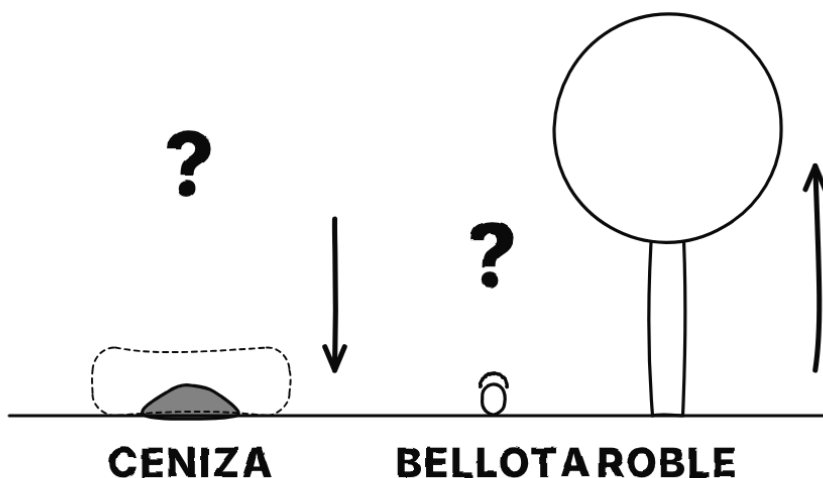
Qué mantiene unidas las sustancias

Una ventana de temperatura

A medio separar

Nada desaparece

Imagine un tronco que arde en la chimenea una tarde de invierno. Una hora después, un pesado trozo de madera se ha convertido en un montoncito gris de ceniza que cabe en una mano. Ahora imagine una bellota, más ligera que una moneda, que a lo largo de su vida se convierte en un roble de muchas toneladas. En el primer caso la materia parece desaparecer, y en el segundo parece surgir de la nada. Durante siglos, quienes observaban estas escenas sacaron exactamente esa conclusión, y Mendeléyev abre su gran manual mostrando por qué se equivocaban.



La materia parece ir y venir

Empieza diciendo de qué trata la química. La física ya sabía describir la gravedad, el calor, la luz y la electricidad, pero dentro de cada trozo de materia actuaba algo más. Fuerzas ocultas, tranquilas en la vida corriente, despiertan cuando una sustancia se transforma en otra. La química, en sus palabras, estudia las sustancias homogéneas de las que está hecho todo cuerpo del mundo, cómo se transforman unas en otras y qué ocurre mientras lo hacen. Ese cambio se llama reacción química, y solo se produce cuando las sustancias se tocan lo más íntimamente posible, hasta sus partículas invisibles más pequeñas, las moléculas.

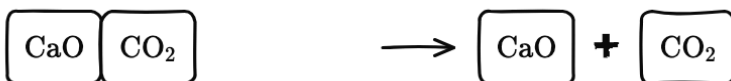
Después Mendeléyev clasifica las reacciones en tres tipos principales. El primero es la combinación, en la que dos sustancias se convierten en una. Caliente limaduras de hierro junto con azufre y obtendrá una sustancia nueva, el sulfuro de hierro. Antes de calentar se podía sacar el hierro con un imán y dejar el azufre; después, ni un imán ni un microscopio pueden separarlos. Las combinaciones suelen desprender calor, y la combustión corriente es una de ellas: el combustible se une a una parte del aire llamada oxígeno. La llama de gas bajo su hervidor es exactamente este tipo de reacción: el gas se combina con el oxígeno y libera el calor que hace hervir el agua.

COMBINAR



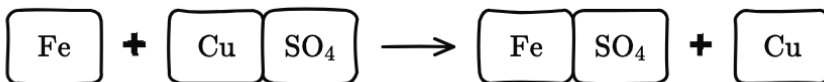
SALE CALOR

SEPARAR



ENTRA CALOR

INTERCAMBIO



Tres tipos de reacción

El segundo tipo es la descomposición, lo contrario: una sustancia se separa en varias. Caliente madera sin aire y dará un gas combustible, un líquido acuoso, alquitrán y carbón; así se fabricaban antes, a gran escala, el gas de alumbrado y el carbón vegetal. Caliente con fuerza la tiza, la caliza o el mármol, y dejarán cal mientras desprenden un gas, el dióxido de carbono. Si la combinación suele desprender calor, la descomposición suele absorberlo. La levadura química de un bizcocho funciona de forma parecida: al calentarse en el horno se descompone y libera dióxido de carbono, que hace subir la masa.

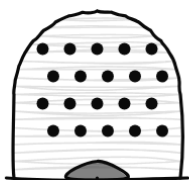
El tercer tipo es un intercambio: dos sustancias se encuentran y salen dos nuevas. Sumerja un clavo de hierro en una solución azul de sulfato de cobre y pronto el clavo se cubrirá de cobre rojo, mientras la

solución se vuelve verde poco a poco, porque el hierro ha ocupado el lugar del cobre. Mendeléyev lo llama sustitución, o doble descomposición, y señala que así se recubre el hierro de cobre y el cobre de plata. El plateado de una cuchara barata o la capa de cobre de una placa de circuito en una fábrica se basan en la misma idea: un metal ocupa el lugar de otro.

¿Por qué llegó tan tarde una ciencia de estos cambios, si la gente los usaba desde hacía miles de años? Mendeléyev da dos razones. Primero, la mayoría de los procesos reales, en la naturaleza y en la industria, son marañas de muchas combinaciones, descomposiciones e intercambios a la vez. Segundo, y más importante, en muchas reacciones intervienen gases, sobre todo el aire, y los gases son invisibles. Solo en los siglos dieciséis y diecisiete se comprendió que el aire y los demás gases tienen peso. Hasta entonces los gases escapaban de toda cuenta, y la materia parecía ir y venir.

Volvamos al tronco que arde. Si pudiera recoger todo el humo y pesarlo, vería que los gases pesan más que la madera, porque la madera se ha combinado con parte del aire. La bellota se convierte en roble tomando gases del aire y agua con sustancias disueltas del suelo. Tampoco se pierde el agua que se evapora de la ropa mojada; vuelve como lluvia, rocío y nieve. La materia solo cambia de lugar y de forma; nunca se crea ni se destruye.

CENIZA + GASES



LAVOISIER

PESAS

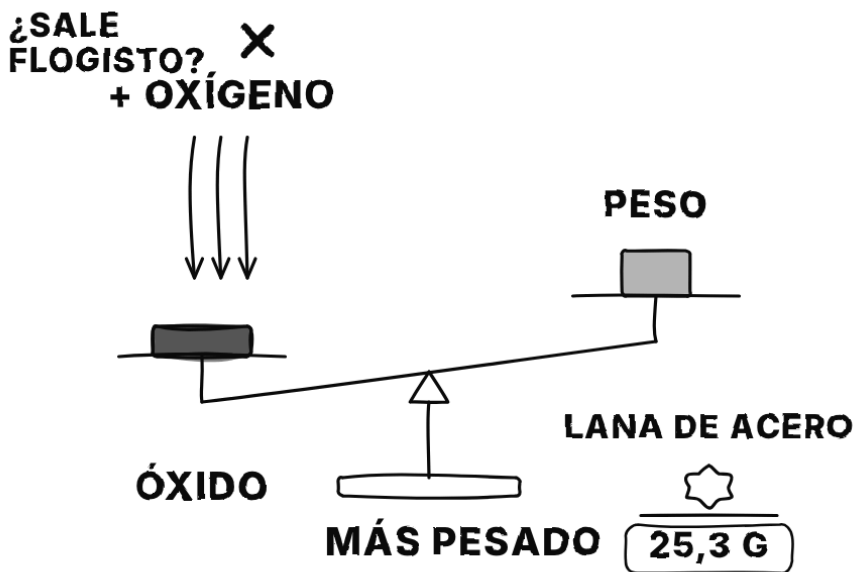


ANTES = DESPUÉS

Lavoisier lo pesa todo

Esta verdad la estableció el químico francés Antoine Lavoisier en la segunda mitad del siglo dieciocho, y su herramienta fue la balanza. Pesaba cada sustancia de partida, e incluso los recipientes, y luego pesaba todo lo que resultaba. Siempre, el peso total después de la reacción era igual al peso total antes. Es la ley de conservación de la materia, y Mendeléyev insiste en que quien estudia química debe hacerla suya antes de seguir. También da a cada reacción una ecuación: lo que entra debe ser igual a lo que sale, así que un peso desconocido puede hallarse a partir de los demás, y si las sumas no cuadran, algo se ha pasado por alto. Basta una báscula de cocina para sentir la idea: mezcle lo que mezcle en un frasco cerrado, el frasco pesa lo mismo después.

El primer ejemplo de Mendeléyev es el óxido. El hierro que se oxida en el aire húmedo, o el que se calienta hasta cubrirse de cascarilla oscura, se vuelve más pesado, no más ligero. El peso de más viene del oxígeno del aire: en el vacío, o en hidrógeno o nitrógeno, el hierro ni se oxida ni forma cascarilla. Así que la cascarilla es más compleja que el hierro; es una combinación. Antes de Lavoisier se veía al revés, como si algo hubiera salido del hierro, una sustancia imaginaria a la que llamaban flogisto. La balanza muestra que algo se ha unido al hierro, no que haya salido de él.



El hierro oxidado pesa más

Esta parte deja para más adelante los detalles de los ejemplos de Mendeléyev y la historia de la vieja idea del flogisto.

Pruébalo

Ponga un trozo de lana de acero en una báscula de cocina que marque décimas de gramo y anote su peso. Humedézcalo un poco, déjelo unos días hasta que se vuelva naranja de óxido, luego séquelo bien y vuelva a pesarlo. Pesará un poco más, no menos, porque el hierro se ha combinado con el oxígeno del aire.

Para recordar

La química estudia cómo las sustancias se transforman unas en otras mediante reacciones entre sus partículas más pequeñas. Hay tres tipos principales de reacción: combinación, descomposición y el intercambio en que una sustancia ocupa el lugar de otra. La química llegó tarde porque en muchas reacciones intervienen gases invisibles, que nadie pesaba. Lavoisier, pesándolo todo antes y después, demostró que el peso total nunca cambia: la materia ni se crea ni se destruye. Por eso el hierro que se oxida pesa más: ha tomado oxígeno del aire.

Preguntas

1. ¿Por qué se creyó durante tanto tiempo que quemar madera destruye la materia?
 - a. Porque la ceniza pesa de verdad menos que la madera original más el aire que consumió

- b. Porque los gases que se van con el humo son invisibles y nunca se pesaban
 - c. Porque el fuego convierte parte de la madera en calor, que no tiene peso
 - d. Porque la madera es una mezcla, y las mezclas pierden peso al calentarse
2. Se deja un clavo de hierro en aire húmedo hasta que se oxida. ¿Qué muestra la balanza y por qué?
- a. Pesa menos, porque el óxido es hierro al que se le ha quitado algo
 - b. Pesa lo mismo, porque la materia ni se crea ni se destruye
 - c. Pesa más, porque el hierro se ha combinado con el oxígeno del aire
 - d. Pesa menos, porque parte del hierro se ha desmoronado en polvo
3. Limaduras de hierro y azufre calentadas se convierten en una sustancia que ningún imán puede separar. ¿Qué tipo de reacción es?
- a. Combinación, porque dos sustancias se han convertido en una sustancia nueva
 - b. Descomposición, porque el calor rompe el hierro en trozos más pequeños
 - c. Sustitución, porque el azufre ocupa el lugar del hierro
 - d. Ninguna reacción, porque los dos solo están mezclados muy finamente
4. Si los pesos antes y después de un experimento no dan el mismo total, ¿qué debe concluir un químico?

- a. Que en la reacción se destruyó de verdad algo de materia
- b. Que una sustancia que participa, a menudo un gas, ha quedado fuera de la cuenta
- c. Que la reacción desprendió calor, y este se llevó parte del peso
- d. Que la ley solo vale para reacciones entre sólidos

Respuestas

- 1. **b)** La madera se combina con parte del aire y se va en forma de gases invisibles; si se recogen y se pesan, esos gases pesan más que la madera.
- 2. **c)** Oxidarse es una combinación: el hierro toma oxígeno del aire, así que el óxido pesa más que el hierro solo.
- 3. **a)** Tras calentarlos, se han unido en sulfuro de hierro, una sustancia nueva en la que ninguno de los dos puede encontrarse por separado.
- 4. **b)** Como la materia nunca se crea ni se destruye, unas sumas que no cuadran significan que algo se ha pasado por alto.

Ejemplos resueltos

Cómo hallar un peso que falta Un trozo de hierro de 56 gramos se calienta en el aire hasta que queda cubierto por completo de cascarilla, y ahora todo el trozo pesa 72 gramos. ¿Cuánto aire participó en la reacción?

La materia ni se crea ni se destruye, así que el peso de lo que entra es igual al peso de lo que sale.

Entraron el hierro y la parte del aire que se unió a él; salió el hierro con cascarilla.

Así que el aire que se unió al hierro pesa la diferencia: 72 gramos menos 56 gramos.

Eso da 16 gramos, todo ello oxígeno tomado del aire.

Respuesta: 16 gramos de oxígeno

Ejercicios

1. Una semilla de menos de un gramo se convierte en un árbol de varias toneladas. Usando la ley de conservación de la materia, explique de dónde salió el peso del árbol.

Pista: Piense en lo que la planta toma de su entorno, por encima y por debajo del suelo.

Respuesta: El peso no se creó. El árbol toma gases del aire con las hojas y agua con sustancias disueltas del suelo con las raíces, y con ellos construye su cuerpo. En un gas sin la parte nutritiva del aire, la planta no crece, sino que muere.

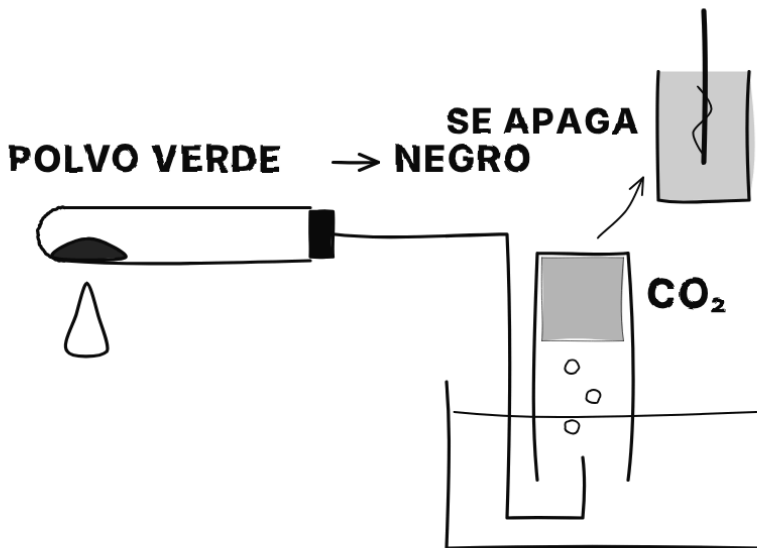
2. Se coloca un clavo de hierro en una solución azul de sulfato de cobre. Pronto se cubre de cobre y la solución se vuelve verde. ¿Qué tipo de reacción es y por qué no es una simple combinación?

Pista: Cuente cuántas sustancias entran y cuántas salen.

Respuesta: Es una sustitución, o intercambio: entran dos sustancias, el hierro y el sulfato de cobre, y salen dos, el cobre y el sulfato de hierro. El hierro ha ocupado el lugar del cobre, así que no es una sola sustancia hecha de dos.

Gases que no se ven

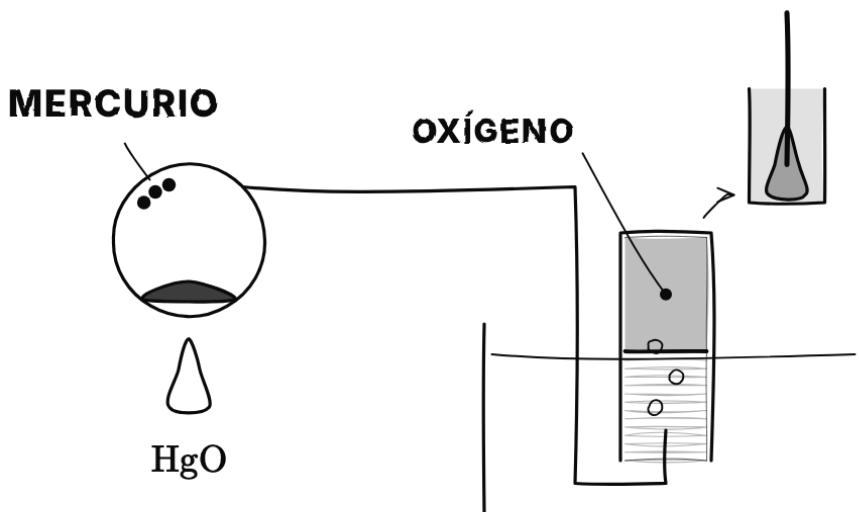
Tome una cucharada de un polvo verde brillante, la misma sustancia que da su color a la piedra verde llamada malaquita, y caliéntela en un tubo de vidrio. Ante sus ojos se vuelve negra. Pese el polvo negro y verá que es más ligero que el polvo verde. Según la ley que vimos en la primera parte, nada puede desaparecer sin más, así que algo ha salido del tubo. Pero parece que no sale nada: ni humo, ni llama, nada que ver.



Atrapar el gas oculto

Mendeléyev muestra cómo atraparlo. Cierre el tubo con un tapón bien ajustado, lleve un tubito desde el tapón hasta un cuenco con agua y vuelva a calentar. Ahora suben burbujas a través del agua. El polvo verde, carbonato de cobre, se está separando en óxido de cobre negro y un gas, el dióxido de carbono, tan transparente e incoloro como el aire. Introduzca una astilla encendida en este gas y se apagará como si la hubiera metido en agua. Y cuando se pesan el polvo negro y el gas, juntos pesan exactamente lo mismo que pesaba el polvo verde. Sin la balanza, dice Mendeléyev, habría sido fácil pasar el gas por alto por completo. Las burbujas de una botella de agua con gas son este mismo gas, y un extintor de fábrica lo usa por la misma razón por la que se apaga la astilla.

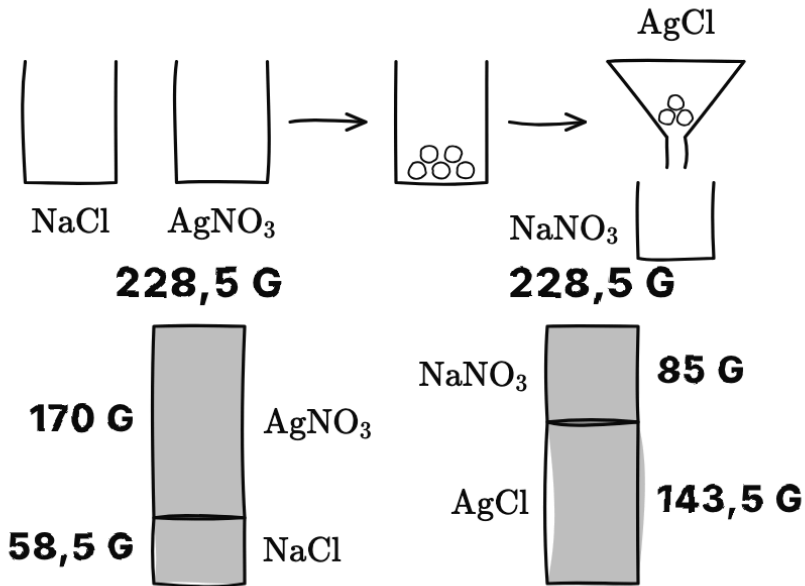
Su siguiente ejemplo es el experimento que más importó en la época de Lavoisier. Un polvo rojo, el óxido de mercurio, la cascarilla que se forma al calentar mercurio en el aire, se calienta en un recipiente de vidrio unido por un tubo a una cubeta de agua. Sobre el extremo del tubo hay un cilindro de vidrio lleno de agua y puesto boca abajo, de modo que cada burbuja que sale sube a él y empuja el agua hacia abajo. Así recogen los químicos un gas. Al calentarse el polvo rojo, se juntan gotas brillantes de mercurio metálico en el vidrio frío, y un gas burbujea hacia el cilindro. Acerque a ese gas una astilla con brasa, que en el aire corriente simplemente se apagaría, y estallará en una llama viva. Este gas es el oxígeno, la misma parte del aire que nos permite respirar, hace arder los combustibles y convierte los metales en óxido y cascarilla. Así que el polvo rojo se ha descompuesto en dos cosas: mercurio y oxígeno.



El óxido de mercurio cede oxígeno

Un tercer experimento muestra un intercambio, y esta vez con números. Disuelva sal común en agua, y en otro vaso disuelva nitrato de plata, que antes se usaba para cauterizar heridas. Mezcle las dos soluciones transparentes y al instante aparece un polvo blanco que se hunde hasta el fondo. Pase el líquido turbio por un filtro de papel: el polvo blanco, cloruro de plata, se queda en el papel, y el líquido claro que lo atraviesa contiene una nueva sal disuelta, el nitrato de sodio. Mendeléyev da los pesos: cincuenta y ocho gramos y medio de sal y ciento setenta gramos de nitrato de plata dan ciento cuarenta y tres gramos y medio de cloruro de plata y ochenta y cinco gramos de nitrato de sodio. Ambos lados suman los mismos doscientos veintiocho gramos y medio, tal como exige la ley. Un filtro de café en

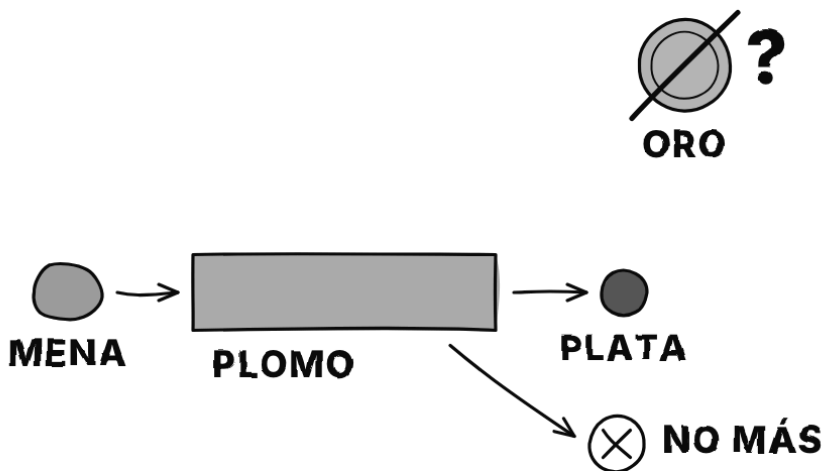
su cocina hace el mismo trabajo que el cono de papel de Mendeléyev: deja pasar el líquido y retiene el sólido.



Un intercambio que sigue cuadrando

Una vez sabido que la cantidad de materia es fija, Mendeléyev plantea una pregunta más profunda. ¿Puede convertirse cualquier sustancia en cualquier otra, sin límite, o hay una frontera? Es la pregunta por la clase de materia, no por su cantidad, y es más difícil. La vida diaria da pistas contradictorias: las plantas construyen innumerables sustancias a partir del aire y del suelo, y el hierro puede convertirse en tinta o en pintura azul, pero nadie ha hecho nunca pan de una piedra ni oro de cobre. La respuesta antigua, formulada en Grecia por Empédocles, era que todo está hecho de cuatro elementos: aire, agua,

tierra y fuego. No salía de mediciones; simplemente nombraba los tres estados, gas, líquido y sólido, y el fuego que los cambia.

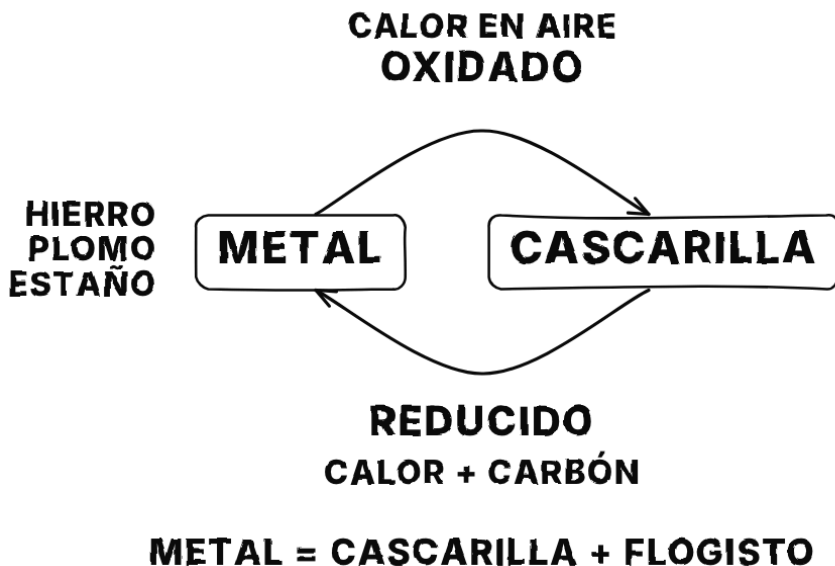


La plata ya estaba ahí

Los alquimistas, que aprendieron su arte de los sabios árabes y lo llevaron a Europa a través de España, eligieron la otra respuesta: transformación sin fin. Buscaban una piedra filosofal que convirtiera todo en oro y devolviera la juventud a los cuerpos viejos. Mendeléyev es justo con ellos: su error era natural. De una mena gris y brillante sacaban plomo, y del plomo sacaban plata, así que parecía que los metales podían ennoblecerse paso a paso y que el siguiente sería el oro. Si hubieran pesado con cuidado, habrían visto que la plata estaba en el plomo desde el principio, en una pequeña proporción, y que, una vez extraída, ningún trabajo posterior sacaría más plata. Su regalo a la

química fue una montaña de experimentos; su fracaso, que rara vez pesaban y nunca hacían preguntas sencillas y claras. Es la misma lección que da hoy una refinería: el metal precioso se extrae de una mena que ya lo contiene, nunca se fabrica a partir de otro más barato.

A los alquimistas les interesaban sobre todo dos cambios. Cuando un metal se oxida, o se convierte en cascarilla en el fuego, se oxida; cuando el metal se recupera de ese polvo terroso, se reduce. El hierro, el plomo y el estaño forman cascarilla al calentarse en el aire y vuelven a ser metal al calentarse con carbón, y así se funden los metales a partir de sus menas. La primera teoría que explicaba ambas cosas vino de Becher y, sobre todo, de Georg Stahl, médico del rey de Prusia, en mil setecientos veintitrés. Todo cuerpo combustible, decía Stahl, contiene una sustancia invisible del fuego, el flogisto. Un metal es cascarilla más flogisto: al arder u oxidarse desprende flogisto, y el carbón, rico en flogisto, se lo devuelve. La idea era de una sencillez hermosa y ganó muchos seguidores.



Oxidar y fundir, dos caminos

Esta parte ha dejado fuera cómo se recogen los gases paso a paso y la historia detallada de la alquimia; la siguiente parte pone la idea de Stahl en la balanza.

Para recordar

Muchas reacciones desprenden o absorben gases que no se ven, y solo el pesaje los revela. El carbonato de cobre verde se separa en óxido de cobre negro y dióxido de carbono, y el óxido de mercurio rojo en mercurio y oxígeno. Cuando la sal y el nitrato de plata intercambian pareja, los pesos de ambos lados siguen sumando el mismo total. Los alquimistas creían que la materia podía transformarse sin límite, pero no pesaban, y su plata había estado en el plomo desde el principio. Stahl explicó la oxidación y la fundición con una sustancia invisible del fuego, el flogisto, que el metal desprende al arder y recupera del carbón.

Preguntas

1. El carbonato de cobre verde, al calentarse, deja un polvo negro que pesa menos. ¿Por qué no es una pérdida de materia?
 - a. Porque el peso que falta se va como un gas incoloro, el dióxido de carbono, que puede atraparse y pesarse
 - b. Porque el calor hace más denso el polvo negro, y solo parece más ligero en la balanza
 - c. Porque el peso que falta se convierte en el calor que la llama da al tubo
 - d. Porque parte del cobre se evapora y se deposita como metal en el vidrio frío

2. ¿Cómo se distingue del aire corriente el gas que sale del óxido de mercurio calentado?
 - a. Apaga una astilla encendida, como si la metieran en agua
 - b. Hace que una astilla con brasa, que en el aire se apagaría, estalle en una llama viva
 - c. Es más pesado que el agua, así que se queda en el fondo del cilindro
 - d. Vuelve verde el agua de la cubeta al burbujear a través de ella
3. ¿Por qué creían los alquimistas que el plomo podía convertirse en plata?
 - a. Porque pesaron la plata y vieron que era más pesada que el plomo
 - b. Porque podían volver a convertir la plata en plomo cuando quisieran
 - c. Porque sacaban plata del plomo y no pesaban, así que no vieron que había estado allí desde el principio
 - d. Porque la teoría de los cuatro elementos demostraba que todo metal puede convertirse en cualquier otro
4. En la teoría de Stahl, ¿por qué calentar una mena con carbón devuelve el metal?
 - a. Porque el carbón le quita oxígeno a la mena
 - b. Porque el calor por sí solo expulsa de la mena la parte terrosa
 - c. Porque el metal está escondido dentro del carbón y queda libre
 - d. Porque el carbón es rico en flogisto y le pasa parte de él a la mena

Respuestas

- 1. a)** El polvo verde se separa en óxido de cobre negro y dióxido de carbono, y los dos juntos pesan exactamente lo que pesaba el polvo verde.
- 2. b)** El gas es oxígeno, que mantiene la combustión con mucha más fuerza que el aire, así que una astilla con brasa se aviva en él.
- 3. c)** La plata era una pequeña proporción que ya estaba dentro del plomo; un pesaje cuidadoso lo habría mostrado, y también que no sale más plata una vez extraída.
- 4. d)** Para Stahl un metal era cascarilla más flogisto, así que el carbón, rico en flogisto, se lo devolvía al polvo terroso.

Ejemplos resueltos

Sal y nitrato de plata en la balanza Se disuelven y mezclan unos 58,5 gramos de sal común y 170 gramos de nitrato de plata. Dan 143,5 gramos de cloruro de plata insoluble y 85 gramos de nitrato de sodio. ¿Cumplen los pesos la ley de conservación de la materia?

La ley dice que el peso total de lo que entra debe ser igual al peso total de lo que sale; el agua solo ayuda a que las sustancias se muevan y no se cuenta.

Lo que entra: 58,5 gramos de sal más 170 gramos de nitrato de plata suman 228,5 gramos.

Lo que sale: 143,5 gramos de cloruro de plata más 85 gramos de nitrato de sodio también suman 228,5 gramos.

Los dos totales son iguales, así que en el intercambio no apareció ni desapareció materia.

Respuesta: Sí: 228,5 gramos a cada lado

Ejercicios

1. En el mismo experimento alguien seca y pesa solo el cloruro de plata, 143,5 gramos, y las sustancias de partida, 58,5 gramos de sal y 170 gramos de nitrato de plata. ¿Cuánto nitrato de sodio debe encontrar al evaporar el líquido claro?

Pista: El total después de la reacción debe ser igual al total antes.

Respuesta: 85 gramos. Antes: 58,5 más 170 son 228,5 gramos; después, el cloruro de plata ocupa 143,5 gramos, así que el nitrato de sodio es 228,5 menos 143,5, es decir, 85 gramos.

2. Se calienta óxido de mercurio, y el polvo rojo va desapareciendo hasta dejar solo unas gotas brillantes de mercurio. Un amigo dice que el calor destruyó parte de la sustancia. ¿Qué le respondería y qué haría para demostrarlo?

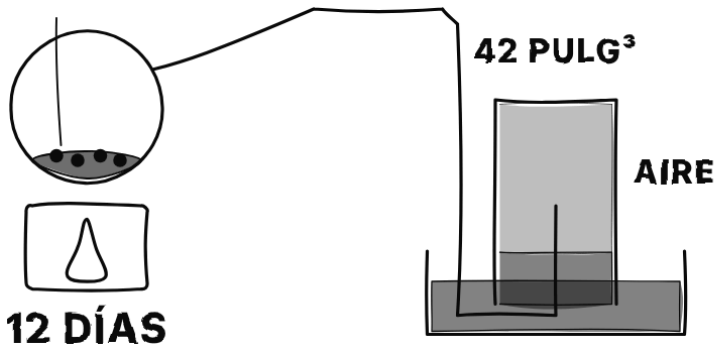
Pista: Piense en qué podría estar saliendo del recipiente sin verse, y cómo atraparlo.

Respuesta: No se destruyó nada: el polvo rojo se descompone en mercurio y oxígeno, un gas incoloro. Lleve un tubo del recipiente al agua y recoja las burbujas en un cilindro invertido; una astilla con brasa se aviva en el gas, y el mercurio y el gas juntos pesan lo mismo que el polvo rojo.

Doce días con mercurio

Imagine un matraz de vidrio con un cuello largo y curvado, que guarda en su vientre un pequeño charco de mercurio. El cuello baja y vuelve a subir bajo una campana de vidrio colocada en un cuenco de mercurio, de modo que una cantidad fija de aire queda encerrada, aislada de la habitación. Un pequeño horno mantiene el matraz casi a la temperatura de ebullición del mercurio, día y noche, durante doce días. Es el experimento que Antoine Lavoisier hizo en mil setecientos setenta y cuatro, y decidió entre dos imágenes de la combustión.

ESCAMAS ROJAS

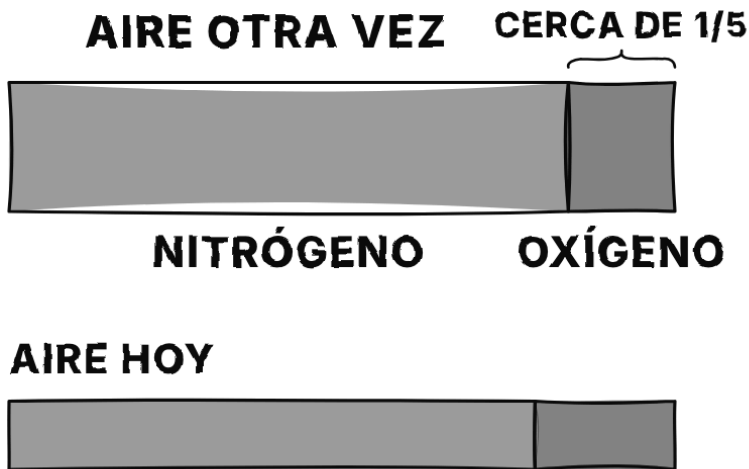


Doce días de calor

La pregunta era tajante. Según la teoría de Stahl de la parte anterior, un metal que se convierte en cascarilla desprende flogisto al aire, así que el aire de la campana debería ganar algo, o al menos no perder. Lavoisier pensaba lo contrario: el metal toma algo del aire. Así que todo el experimento depende de una sola medida: la cantidad de aire antes y después. Lavoisier midió el volumen del matraz, el volumen del mercurio, el aire bajo la campana e incluso la temperatura y la presión, de modo que sabía exactamente cuánto aire había encerrado.

Con los días, en la superficie del mercurio crecieron escamas rojas: el mismo óxido de mercurio rojo que vimos descomponerse en la parte anterior. Cuando el aparato se enfrió, el aire bajo la campana había menguado. De cincuenta pulgadas cúbicas de aire solo quedaban cuarenta y dos. Y el peso que había perdido el aire era exactamente el que había ganado el mercurio. Así que no se había desprendido nada al aire; una parte del aire se había unido al mercurio.

El aire que quedó en la campana era extraño. No convertía ningún metal en cascarilla y no mantenía ni la combustión ni la respiración. Una astilla encendida que se metía en él se apagaba al instante, en palabras del propio Lavoisier, como si la hubieran sumergido en agua. Este gas sobrante es el nitrógeno; la parte que se unió al mercurio es el oxígeno, que, como vimos, puede volver a expulsarse de las escamas rojas. Mezcle de nuevo los dos y vuelve a tener aire corriente. Así que el aire no es en absoluto un solo elemento, como sostenía la vieja imagen de los cuatro elementos: es una mezcla de dos gases. El aire que respira junto a la ventana de su cocina es sobre todo nitrógeno, con alrededor de una quinta parte de oxígeno, que es más o menos la proporción que Lavoisier vio desaparecer bajo la campana.

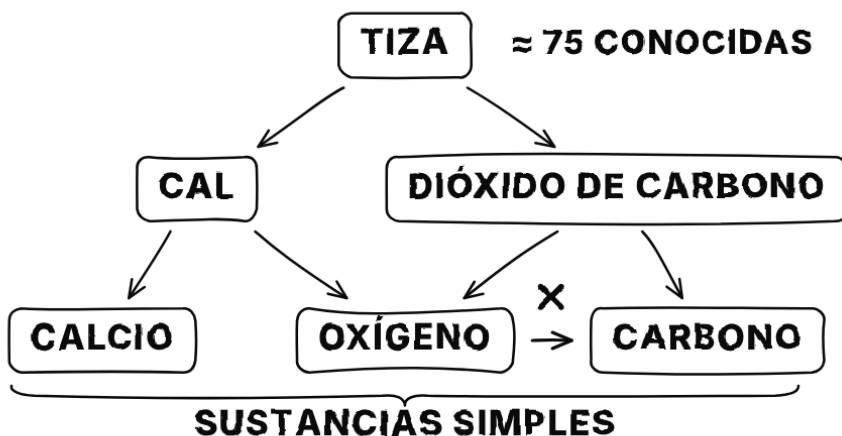


El aire son dos gases

Toda la imagen de Stahl se da ahora la vuelta. La combustión y la oxidación no liberan nada; toman oxígeno del aire. La cascarilla y el óxido no son más simples que el metal: son el metal combinado con oxígeno. Y cuando el carbón devuelve un metal desde su cascarilla, el oxígeno pasa de la cascarilla al carbón y forma el mismo gas que da el carbón al arder en el aire. Así que ese gas también es un compuesto, de carbono y oxígeno. El flogisto nunca hizo falta; la balanza demostró que nunca estuvo ahí.

A partir de aquí Mendeléyev sigue la idea hasta el fondo. La tiza, al calentarse, da cal y dióxido de carbono; la cal y ese gas, reunidos con agua, vuelven a dar una sustancia como la tiza, así que la tiza es un compuesto. Pero el dióxido de carbono es a su vez carbono y oxígeno,

y la cal es un metal llamado calcio unido a oxígeno. Siga separando y al final llegará a sustancias que ningún método puede dividir en otras ni formar a partir de otras. A estas Lavoisier las llamó sustancias simples, y toda sustancia homogénea es simple o compuesta. En tiempos de Mendeléyev se conocían con certeza unas setenta y cinco, y en la vida diaria encontramos los compuestos de no más de veinticinco. Un laboratorio o una fábrica moderna trabaja con millones de compuestos, pero cada uno está hecho de alrededor de un centenar de clases de sustancias simples.

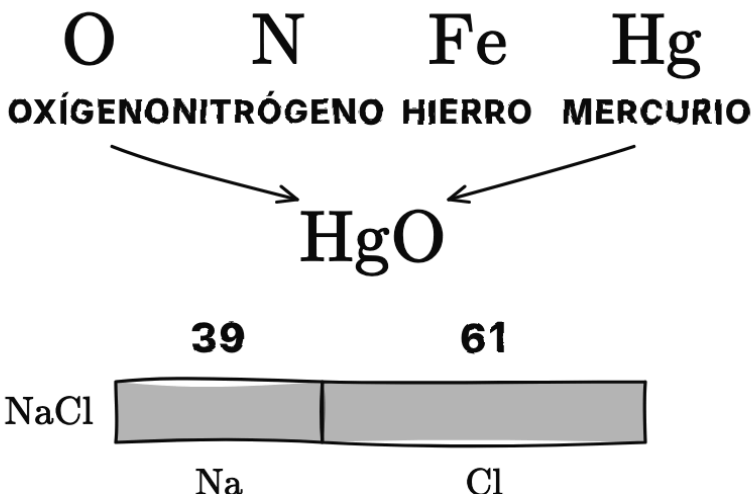


Hasta las sustancias simples

Nunca se ha visto que una sustancia simple se convierta en otra. Ahí termina el sueño de los alquimistas: no se puede hacer un metal a partir de otro. Junte esto con la ley de que la materia nunca se crea ni

se destruye, y se sigue algo más preciso. En toda reacción, la cantidad de cada sustancia simple es la misma antes y después. La química se convierte en el estudio de a qué está unida cada sustancia simple, y cómo, antes y después de un cambio.

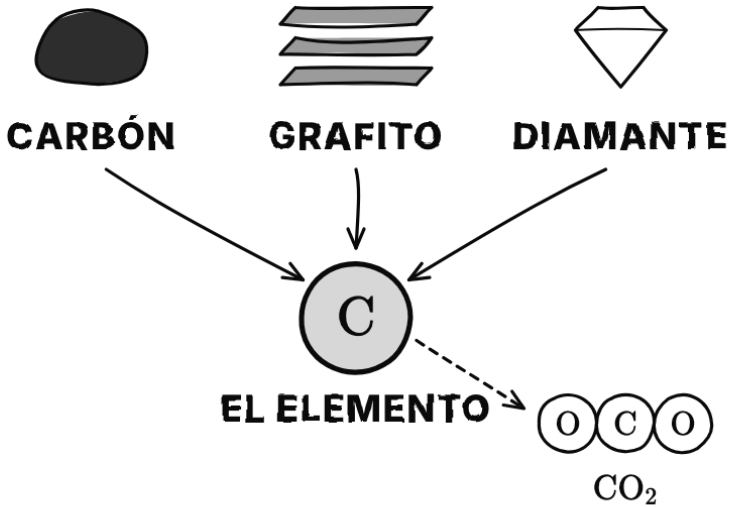
Para escribirlo, los químicos dieron a cada sustancia simple un signo corto, una o dos letras de su nombre latino: O para el oxígeno, N para el nitrógeno, Fe para el hierro, Hg para el mercurio. Un compuesto se escribe poniendo los signos uno al lado del otro, así que el óxido de mercurio rojo es HgO. Cada signo representa además un peso relativo fijo, el peso de un átomo, así que una fórmula dice no solo de qué está hecha una sustancia, sino cuánto hay de cada parte. La sal común, por ejemplo, resulta tener unas treinta y nueve partes de sodio y sesenta y una de cloro por cada cien en peso. Y en toda reacción escrita con estos signos, cada sustancia simple debe pesar lo mismo a ambos lados. Una ficha de receta en la cocina hace el mismo trabajo: enumera los ingredientes y, por sus cantidades, cuánto de cada uno acaba en el bizcocho.



Signos, fórmulas, pesos

Por último viene una distinción sutil pero profunda. El óxido de mercurio rojo no contiene mercurio líquido y brillante, ni contiene oxígeno gaseoso. Contiene la materia de esos dos, a la que Mendeléyev llama los elementos mercurio y oxígeno, igual que el vapor contiene la materia del hielo pero no el hielo mismo, o el pan contiene la materia del grano pero no el grano. Una sustancia simple es una cosa real que se puede tener en la mano; un elemento es lo que perdura a través de todos sus compuestos y formas. El carbono lo muestra mejor que nada: el carbón vegetal, el grafito y el diamante son tres sustancias simples muy distintas, pero solo hay un elemento, el carbono, y en el dióxido de carbono no hay carbón, ni grafito, ni diamante, solo carbono. El flúor se reconoció como elemento por sus

compuestos mucho antes de que nadie tuviera el propio gas en la mano.



Un elemento, muchas formas

Esta parte deja fuera los detalles de las mediciones de Lavoisier y los pesos de los átomos, que el libro expone en sus tablas.

Para recordar

Lavoisier calentó mercurio en un volumen cerrado de aire durante doce días y vio que el aire había menguado, y que su peso perdido era igual al que ganó el mercurio. La combustión y la oxidación toman oxígeno del aire; no liberan flogisto, y el aire es una mezcla de oxígeno y nitrógeno. Al separar sustancias se llega al final a las sustancias simples, que no pueden dividirse ni convertirse unas en otras. Por eso en toda reacción la cantidad de cada sustancia simple es la misma, y eso es lo que los signos y las fórmulas químicas permiten escribir. Un elemento es la materia que perdura en los compuestos y formas de una sustancia, como el carbono en el carbón, el grafito, el diamante y el dióxido de carbono por igual.

Preguntas

1. ¿Por qué la disminución del aire bajo la campana iba en contra de la teoría del flogisto de Stahl?
 - a. Porque el flogisto debería haberse desprendido al aire, así que el aire no debería haber perdido nada
 - b. Porque el calor del horno debería haber destruido el flogisto y dejado el aire igual
 - c. Porque el flogisto pesa más que el aire y debería haberse hundido en el mercurio
 - d. Porque la teoría decía que el mercurio no puede convertirse en cascarilla en absoluto

2. ¿Qué mostró el experimento de Lavoisier sobre el propio aire?
 - a. Que el aire es un solo elemento que los metales absorben poco a poco
 - b. Que el aire es una mezcla: oxígeno, que se une al mercurio, y nitrógeno, que no mantiene ni la combustión ni la respiración
 - c. Que el aire se convierte en nitrógeno cuando se calienta mucho tiempo
 - d. Que el aire contiene flogisto, que el mercurio absorbe
3. ¿Por qué puede estar seguro un químico de que una reacción termina con la misma cantidad de hierro con la que empezó?
 - a. Porque el hierro es un metal, y los metales nunca se gastan
 - b. Porque el hierro siempre se queda en el sólido que se deposita en el fondo
 - c. Porque el hierro es una sustancia simple: no puede destruirse, fabricarse ni convertirse en otra
 - d. Porque el peso del oxígeno siempre es igual al peso del hierro
4. El carbón vegetal, el grafito y el diamante no se parecen en nada. ¿En qué sentido son una misma cosa?
 - a. Son tres formas del mismo compuesto de carbono y oxígeno
 - b. Son la misma sustancia simple, solo que de distinta pureza
 - c. Son tres compuestos que contienen pequeñas cantidades de diamante
 - d. Son sustancias simples distintas, pero hechas de un solo elemento, el carbono

Respuestas

1. **a)** En la imagen de Stahl el metal desprende flogisto al aire; en cambio, una parte del aire desapareció y su peso apareció en el mercurio.
2. **b)** Una parte se unió al mercurio y podía volver a expulsarse como oxígeno; el resto, nitrógeno, apagaba la llama, y los dos mezclados dan aire corriente.
3. **c)** La materia nunca se crea ni se destruye, y una sustancia simple nunca se convierte en otra, así que cada una conserva su cantidad en cualquier reacción.
4. **d)** Una sustancia simple es algo que se puede tener en la mano; el elemento es la materia que perdura a través de todas sus formas y compuestos, aquí el carbono.

Ejemplos resueltos

Cuánto sodio hay en la sal La sal común se escribe NaCl . El peso atómico del sodio es 23 y el del cloro 35,5. ¿Qué proporción de la sal, en peso, es sodio y cuál es cloro?

La fórmula muestra un peso de sodio y uno de cloro, así que la sal tiene 23 partes de sodio por 35,5 de cloro.

Juntas suman 23 más 35,5, es decir, 58,5 partes.

La parte del sodio es 23 de 58,5; multiplicada por 100, son alrededor del 39,3 por ciento.

La parte del cloro es el resto, 35,5 de 58,5, alrededor del 60,7 por ciento.

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

La parte del aire que tomó el mercurio En el experimento de Lavoisier se encerraron 50 pulgadas cúbicas de aire con el mercurio, y al cabo de doce días solo quedaban 42. ¿Qué parte del aire se unió al mercurio?

El aire que desapareció se unió al mercurio como oxígeno, así que es la diferencia entre antes y después.

50 menos 42 son 8 pulgadas cúbicas.

Como parte del aire original, 8 de 50 son 16 de cada 100.

Así que alrededor de una sexta parte del aire encerrado pasó a las escamas rojas.

Respuesta: 8 pulgadas cúbicas, alrededor del 16 por ciento del aire

Ejercicios

1. Con los mismos pesos, sodio 23 y cloro 35,5, ¿cuántos gramos de sodio hay en 117 gramos de sal común?

Pista: Primero averigüe qué parte del peso de la sal es sodio.

Respuesta: 46 gramos. La sal tiene 23 partes de sodio de cada 58,5; 117 gramos son dos veces 58,5, así que contienen dos veces 23, es decir, 46 gramos de sodio.

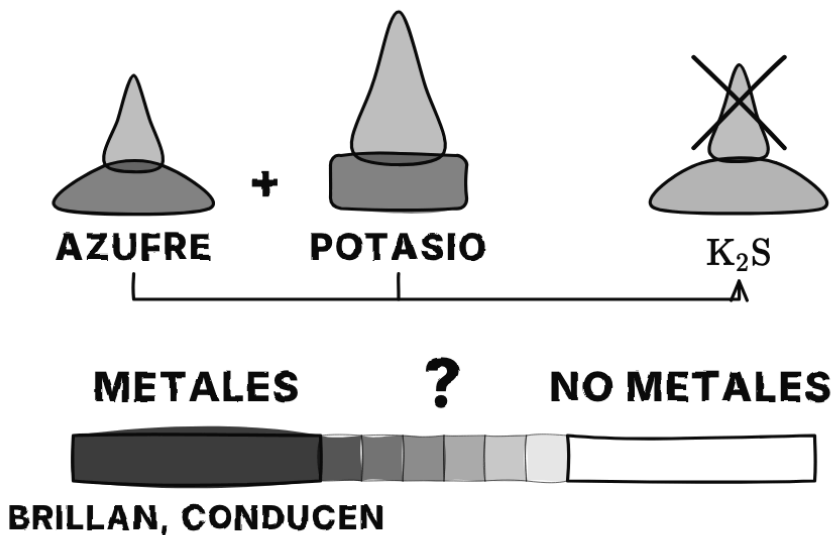
2. Alguien dice: «El óxido de mercurio rojo contiene mercurio líquido y oxígeno gaseoso, solo que muy apretados». ¿Qué tiene de erróneo, y cómo lo diría Mendeléyev?

Pista: Piense en la diferencia entre una sustancia simple que se puede tener en la mano y un elemento.

Respuesta: El óxido no contiene ni mercurio líquido ni oxígeno gaseoso. Contiene los elementos mercurio y oxígeno, la materia de esas sustancias simples, que pueden volver a obtenerse de él, igual que el vapor contiene la materia del hielo pero no el hielo mismo.

Qué mantiene unidas las sustancias

Encienda una cerilla y acérquela a un montoncito de azufre, y arderá con llama azul. Un trozo de potasio, al calentarse, se inflama en el aire con más furia todavía. Ahora deje primero que los dos se combinen, y luego intente prender fuego al resultado. No arderá en el aire como ninguna de sus partes. Algo que llevaban el azufre y el potasio se ha ido, y Mendeléyev quiere que veamos adónde.



Dos fuegos no hacen fuego

Primero da un mapa aproximado de las sustancias simples. Muchas brillan, no dejan pasar la luz, se pueden aplanar a martillazos y

conducen bien el calor y la electricidad. Son los metales, y sus mezclas entre sí son las aleaciones. A las demás, sin estos rasgos, las llama metaloides; hoy diríamos no metales. En los casos claros los dos grupos se distinguen con facilidad, pero muchas sustancias simples quedan en medio, así que la división es útil pero no exacta.

Cuando escribía Mendeléyev se reconocían unas ochenta sustancias simples, aunque media docena eran tan raras que se sabía poco de ellas. Solo unas pocas forman las cosas comunes que nos rodean. Su lista de las más extendidas es corta: el hidrógeno en el agua y en los seres vivos, el carbono en los seres vivos, el carbón y la caliza, el nitrógeno en el aire, y el oxígeno, el más abundante de todos, en el aire, el agua y las rocas. Luego vienen el sodio en la sal común, el magnesio en el agua de mar, el aluminio en la arcilla, el silicio en la arena, el fósforo en los huesos, el azufre en la piritita y el yeso, el cloro en la sal, el potasio en la ceniza de las plantas, el calcio en la caliza y el hierro en el suelo, en las menas y en nuestra propia sangre. Una segunda lista reúne las sustancias que se usan en la vida diaria y en la industria: cobre, cinc, plata, estaño, plomo, oro, platino y mercurio, yodo para la medicina, níquel para los recubrimientos, y otras. Mire a su alrededor en la cocina y encontrará casi toda la primera lista: sal en la mesa, agua en el grifo, papel de aluminio en un cajón, hierro en la sartén.

Dos grupos más recientes cierran su relato. William Ramsay había encontrado una familia de gases escondidos en pequeñas cantidades en el aire, helio, neón, argón, criptón y xenón, que nunca se habían logrado combinar con nada. Y había razones para aceptar los metales radio, polonio y actinio, hallados en trazas mínimas en las menas de uranio y torio; el radio lo descubrió Marie Curie. La luz de las estrellas lejanas, añade Mendeléyev, muestra también allí hidrógeno, sodio,

magnesio y hierro, así que las mismas sustancias simples llenan el universo. Por qué unas son tan abundantes y otras tan raras, admite, nadie lo sabe todavía. El resplandor de neón de un viejo letrero de tienda y el argón dentro de una bombilla corriente son esos mismos gases insociables puestos a trabajar.

Ahora, la verdadera pregunta: ¿qué impulsa a las sustancias a combinarse y qué las mantiene después unidas? Cada elemento tiene su propio carácter. El azufre se combina fácilmente con los metales, con el oxígeno, con el cloro y con el carbono; el oro y la plata se combinan a regañadientes, y muchos de sus compuestos se deshacen al calentarse. A la causa de todo esto Mendeléyev la llama afinidad, o afinidad química: la misma fuerza que empuja a las sustancias a reaccionar mantiene unido el resultado y le da su solidez.

SOLO LA MASA

MISMA SUSTANCIA

GRAVEDAD

COHESIÓN

?

AFINIDAD

ELECTRICIDAD

SOLO AFÍN

Lo que la afinidad no es

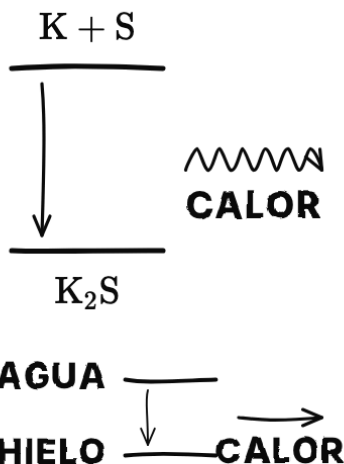
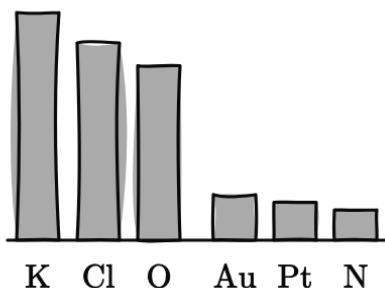
¿Cómo es la afinidad? Algunos científicos de finales del siglo dieciocho pensaron que podía ser la gravedad actuando a muy corta distancia. Mendeléyev dice que no: la gravedad depende solo de la masa y la distancia, mientras que la afinidad depende mucho de cuáles sean las sustancias. Tampoco es la cohesión que mantiene unido un cristal o una gota de agua, porque la cohesión actúa entre partículas de la misma sustancia, y la afinidad entre partículas distintas. Ni es la adherencia que hace que dos placas pulidas se peguen o que el agua moje el vidrio, porque en un cambio químico una sustancia entra en la otra y nace una nueva. A principios del siglo diecinueve muchos la identificaron con la electricidad, ya que las reacciones producen corrientes eléctricas y las corrientes pueden separar compuestos. Pero las reacciones también producen calor, y el

calor también puede separar compuestos; estos vínculos muestran solo que las fuerzas de la naturaleza pueden convertirse unas en otras, no que sean lo mismo. La batería de su teléfono es ese vínculo en acción: un cambio químico en su interior empuja una corriente eléctrica por los cables.

La verdadera naturaleza de la afinidad, admite Mendeléyev, está tan oculta como la de la gravedad. Y sin embargo los astrónomos predijeron los planetas con gran precisión sin saber qué es la gravedad, aplicando la mecánica. Del mismo modo, espera, la química puede avanzar uniendo sus ideas a la sólida teoría del calor, sin fingir que las fuerzas químicas sean simplemente calor. A esa rama la llama mecánica química, y la deja para cuando el lector conozca las propias sustancias.

Esta es la idea clave de la parte. Como el cambio químico es movimiento de partículas diminutas, y la energía nunca se pierde, solo cambia de forma, cada sustancia debe llevar una reserva de energía química, un movimiento invisible que la impulsa a reaccionar. Cuando una reacción desprende calor, parte de esa reserva se ha convertido en calor. Cuando una reacción absorbe calor, ese calor ha ido, al menos en parte, a la reserva. El potasio, el cloro y el oxígeno tienen mucha; el oro, el platino y el nitrógeno, muy poca. Tras varias combinaciones, cada una con desprendimiento de calor, el resultado puede volverse un compuesto tranquilo y poco reactivo, aunque todavía puede despertarse uniéndolo a algo enérgico.

ENERGÍA GUARDADA



Una reserva de energía química

Volvamos, pues, al potasio y al azufre. Cada uno arde con facilidad por sí solo, pero al combinarse buena parte de su energía se va como calor, y su compuesto no arde en el aire. Es como fundirse y congelarse: el agua absorbe calor para fundirse y lo devuelve al congelarse, y del mismo modo toda combinación, descomposición o intercambio cambia la reserva de energía química, desprendiendo o absorbiendo calor. Un calentamanos en un paseo de invierno funciona así: el polvo de hierro, al combinarse con el oxígeno, libera su energía almacenada como un calor constante.

Esta parte deja fuera las largas tablas de las sustancias simples más raras y los argumentos más finos sobre la naturaleza de la afinidad.

Para recordar

Las sustancias simples se dividen a grandes rasgos en metales, que brillan, se doblan y conducen, y no metales, pero la línea entre ellos es difusa. En tiempos de Mendeléyev se conocían unas ochenta, pero solo un puñado forma la mayor parte de la tierra, el aire y los seres vivos. La afinidad es la fuerza que impulsa a las sustancias a combinarse y las mantiene unidas; no es la gravedad, ni la cohesión, ni la electricidad. Toda sustancia lleva una reserva de energía química, que una reacción libera en parte como calor o rellena en parte absorbiendo calor. Por eso el potasio y el azufre, feroces por separado, forman un compuesto que no arde.

Preguntas

1. ¿Por qué el compuesto de potasio y azufre no arde en el aire, aunque cada una de sus partes arde por sí sola?
 - a. Porque el azufre cubre el potasio y no deja que le llegue el aire
 - b. Porque buena parte de su energía química ya se fue como calor cuando se combinaron
 - c. Porque un compuesto nunca puede volver a reaccionar con el oxígeno
 - d. Porque el compuesto es un metaloide, y los metaloides no arden

2. ¿Por qué la afinidad química no puede ser simplemente la gravedad actuando a muy corta distancia?
 - a. Porque la gravedad actúa solo entre metales y la afinidad entre todas las sustancias
 - b. Porque a distancias pequeñas la gravedad es mucho más fuerte que la afinidad
 - c. Porque la gravedad depende solo de la masa y la distancia, mientras que la afinidad depende de cuáles sean las sustancias
 - d. Porque la gravedad todavía no se entendía cuando se descubrió la afinidad
3. Una reacción absorbe calor de su entorno. En la imagen de Mendeléyev, ¿adónde va ese calor?
 - a. Al menos en parte a la reserva de energía química de las sustancias formadas
 - b. Se destruye, ya que la reacción lo necesita para producirse
 - c. Se convierte en el peso de las nuevas sustancias
 - d. Se transforma en electricidad que sale a través del recipiente
4. ¿Por qué dice Mendeléyev que la división en metales y no metales es útil pero no exacta?
 - a. Porque un metal se convierte en no metal cuando se calienta
 - b. Porque solo unas pocas sustancias simples son metales
 - c. Porque los metales y los no metales pueden convertirse unos en otros
 - d. Porque los casos claros son fáciles, pero muchas sustancias simples quedan en medio

Respuestas

- 1. b)** Parte de la energía del potasio y del azufre se liberó como calor al unirse, así que al compuesto le queda demasiado poca para arder como sus partes.
- 2. c)** La afinidad depende mucho de la clase de materia, algo que la gravedad ignora por completo.
- 3. a)** La energía nunca se pierde, solo cambia de forma, así que el calor absorbido va, al menos en parte, a la reserva de energía química.
- 4. d)** Los rasgos de un metal son claros en los ejemplos nítidos, pero muchas sustancias simples solo comparten algunos de ellos.

Ejercicios

- 1.** Las reacciones producen corrientes eléctricas, y las corrientes eléctricas pueden separar compuestos. ¿Por qué, entonces, se negó Mendeléyev a decir que las fuerzas químicas son simplemente fuerzas eléctricas?

Pista: Pregúntese si el calor tiene los mismos dos vínculos con la química.

Respuesta: El calor está unido a la química exactamente de la misma manera: las reacciones desprenden calor, y el calor puede separar compuestos. Esos vínculos solo muestran que las fuerzas de la naturaleza pueden convertirse unas en otras, no que sean lo mismo, así que las fuerzas químicas no son simplemente electricidad.

- 2.** Explique con sus propias palabras en qué se diferencia la afinidad química de la cohesión que mantiene unido un cristal de sal.

Pista: Piense entre qué partículas actúa cada fuerza y si se forma algo nuevo.

Respuesta: La cohesión actúa entre partículas de una misma sustancia y da a un sólido su forma, su dureza y su resistencia. La afinidad actúa entre sustancias distintas y hace que una entre en la otra, de modo que nace una sustancia nueva. Las dos actúan solo a las distancias más pequeñas, por eso tienen mucho en común.

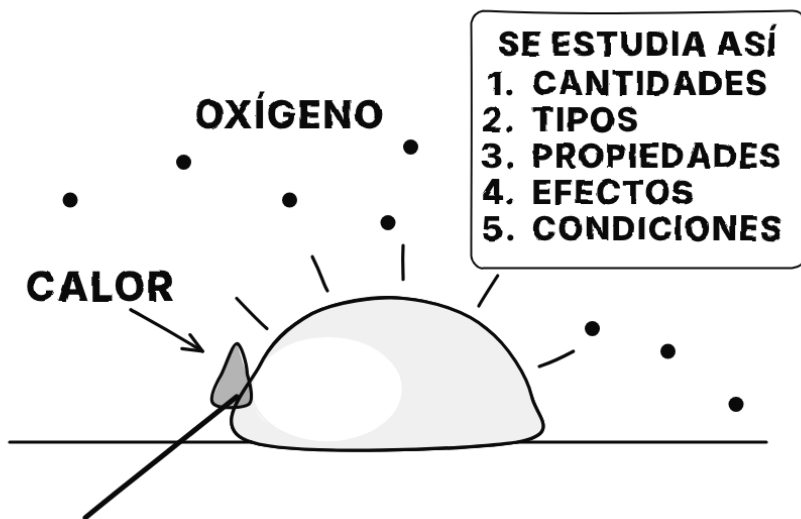
3. Varias combinaciones seguidas, cada una con desprendimiento de calor, pueden dejar un compuesto tranquilo que apenas reacciona. ¿Cómo puede ese compuesto tomar parte todavía en reacciones nuevas?

Pista: Piense con qué podría unirse.

Respuesta: Su propia reserva de energía química es pequeña, pero puede combinarse con una sustancia simple o un compuesto enérgico, y la nueva sustancia, más compleja, puede volver a reaccionar con facilidad.

Una ventana de temperatura

Un trozo de carbón vegetal puede pasar años en un cubo al aire libre sin arder nunca. Toque una esquina con una llama hasta que se ponga al rojo, y el brillo se extiende, despacio al principio, luego por todo el trozo. El oxígeno estaba ahí todo el tiempo, y también el impulso del carbón a combinarse con él. Lo que faltaba era calor. Esta parte trata de cómo estudian los químicos las reacciones, y de las condiciones, la temperatura ante todo, que deciden si una reacción ocurre o no.

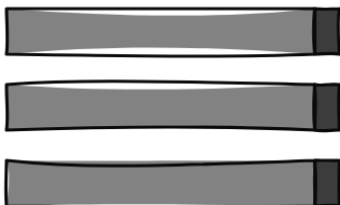


El carbón espera al calor

Mendeléyev nombra cinco maneras de estudiar el curso de una reacción. Medir cuánto de cada sustancia participa; clasificar las reacciones; ver cómo cambian las propiedades al cambiar la composición; observar lo que acompaña a una reacción, como el calor, la luz y la electricidad; y hallar las condiciones que necesita. La primera, la estequiometría, el estudio de los pesos y volúmenes en las reacciones, es con mucho la más avanzada. Sus leyes, halladas por Dalton, Avogadro y otros, llegan a todos los rincones de la química, y Mendeléyev dice que todo su libro se rige por ellas. La báscula de laboratorio de una fábrica que mezcla pesos exactos de ingredientes para cada lote es estequiometría puesta a trabajar a diario.

Uno de sus primeros frutos fue una nueva manera de clasificar los compuestos. Hacia mil ochocientos, el francés Proust mostró que muchos compuestos contienen siempre sus partes exactamente en la misma proporción en peso, haga uno lo que haga. El óxido de mercurio rojo, por ejemplo, tiene siempre doscientas partes de mercurio por dieciséis de oxígeno. Una aleación de cobre y plata es distinta: se puede añadir tanto de cualquiera de los dos metales como se quiera y seguir obteniendo un todo uniforme, igual que se puede disolver más o menos azúcar en agua. Así que hay compuestos definidos, con proporciones fijas, e indefinidos, como las aleaciones y las disoluciones. Los dos importan por igual en la naturaleza y en la industria, pero las leyes de las proporciones se elaboraron sobre todo para los definidos, así que los otros se entienden peor. Endulce el té con una cucharada o con tres y seguirá siendo té dulce; en cambio, la composición del agua misma es siempre la misma.

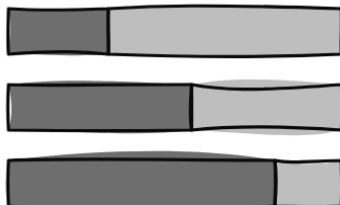
ÓXIDO DE MERCURIO



Hg : O = 200 : 16

DEFINIDO

COBRE + PLATA

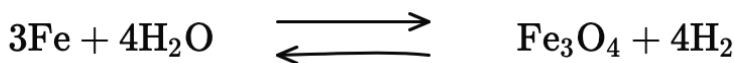


CUALQUIER PROPORCIÓN

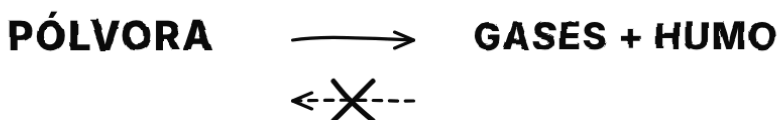
INDEFINIDO

Proporciones fijas y libres

La siguiente distinción de Mendeléyev es entre las reacciones que pueden ir hacia atrás y las que no. La sal se disuelve en agua, y a la misma temperatura la disolución puede devolver la sal cuando el agua se evapora. El hierro, al calentarse, toma oxígeno del vapor de agua y deja libre el hidrógeno; a esa misma temperatura, el hidrógeno puede quitarle de nuevo el oxígeno al óxido de hierro y volver a dar hierro y agua. En una reacción reversible como esta, se empieza por el lado que se empieza, se acaba con las cuatro sustancias presentes a la vez, en un equilibrio químico. Añada más de una sustancia y el equilibrio se desplaza, lo que permite a los químicos estudiar cómo las cantidades de las sustancias dirigen una reacción. La pólvora, en cambio, arde y da gases y humo que nunca, a ninguna temperatura, volverán a ser salitre, azufre y carbón.



EQUILIBRIO



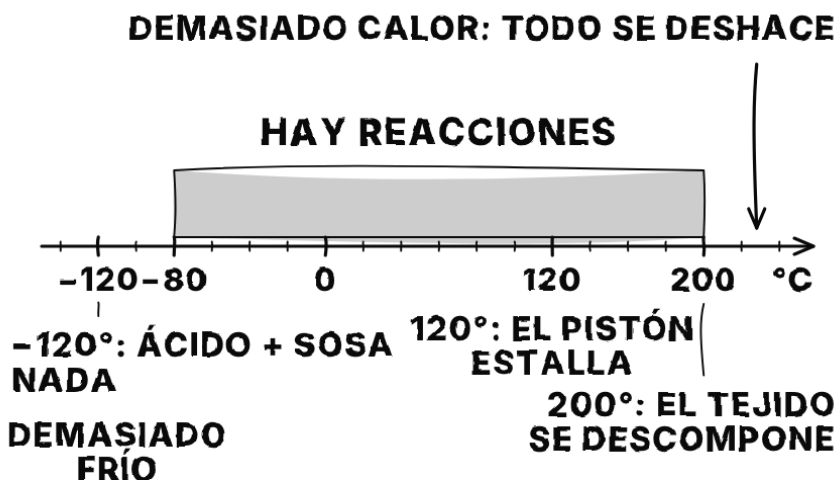
Reacciones que vuelven atrás

Algunas cosas no se combinan directamente en absoluto, y los químicos tienen una manera de rodear el problema. El cloro no reacciona ni con el carbón, ni con el grafito, ni con el diamante, y sin embargo existen compuestos estables de cloro y carbono. Se obtienen haciendo actuar el cloro sobre compuestos de carbono e hidrógeno: el cloro arranca el hidrógeno, y el carbono, recién liberado, se une a más cloro. Los químicos decían que esas sustancias se combinan en el momento de su liberación, cuando se encuentran en un estado fresco, recién liberado.

Toda reacción da lugar además a calor, luz, movimiento o corriente eléctrica, y cada uno de ellos puede a su vez dirigir una reacción. Para Mendeléyev esto muestra que todos los fenómenos de la naturaleza

son formas de movimiento, visible o invisible. El propio calor tiene una medida mecánica: cuatrocientos veinticinco kilográmetros de trabajo equivalen a una caloría grande de calor. Una dinamo convierte el movimiento en corriente, y la misma máquina, alimentada con corriente, gira. El mismo motor eléctrico que mueve una batidora de cocina daría corriente si lo hiciera girar a mano, que es la reversibilidad que describe Mendeléyev. Admite que todavía no hay una teoría propiamente dicha de estos vínculos, y los deja para la química física.

Lo que nos devuelve al carbón. Además de las cantidades y la naturaleza de las sustancias, una reacción necesita las condiciones adecuadas, a menudo muy alejadas de las cotidianas, y la temperatura es la primera. El carbón que arde libera calor que calienta la capa siguiente hasta ponerla al rojo, y solo así se propaga el fuego. Las combinaciones solo se producen dentro de cierto intervalo de temperatura. El cloro, e incluso la sal común, se combinan con el agua solo por debajo de cero; por encima, esos compuestos se deshacen. El calor ayuda de dos maneras: fundir o hervir una sustancia acerca sus partículas, y el calor afloja la cohesión que mantiene unidas las partículas de una misma sustancia.



Cada reacción tiene su ventana

Suba el calor lo suficiente y todo compuesto se deshace. Algunos lo hacen con muy poco calor: el fulminante de un pistón de escopeta estalla un poco por encima de ciento veinte grados, y gran parte del tejido de plantas y animales se descompone cerca de doscientos. En el otro extremo, el frío detiene la química. Las plantas detienen su trabajo químico en invierno, y en mil ochocientos noventa y dos Raoul Pictet, enfriando con gases licuados, halló que por debajo de menos ciento veinte grados ni siquiera el ácido sulfúrico y la sosa cáustica reaccionan, y el ácido no enrojece el tornasol hasta que está por encima de menos ochenta. Así que cada reacción tiene su ventana de temperatura, y en el sol abrasador o en la luna helada muchas de las reacciones que conocemos en la tierra no pueden ocurrir. Un frigorífico funciona justamente con esta ventana: el frío frena las

reacciones que estropean la comida, y el horno abre la ventana de par en par para hornear.

Esta parte deja fuera los detalles más finos de las leyes de las proporciones y la teoría de la mecánica química, que el propio Mendeléyev deja para más adelante.

Para recordar

Los químicos estudian las reacciones midiendo las cantidades que intervienen, clasificándolas, relacionando las propiedades con la composición, observando lo que las acompaña y hallando sus condiciones. La medida de las cantidades, la estequiometría, es la más avanzada, y mostró que muchos compuestos tienen proporciones fijas mientras que las aleaciones y las disoluciones no. Algunas reacciones van en los dos sentidos y se asientan en un equilibrio; otras, como la pólvora que arde, nunca vuelven atrás. El calor, la luz, el movimiento y la electricidad surgen de las reacciones y también pueden dirigirlas. Toda reacción ocurre solo dentro de un intervalo de temperatura: con demasiado frío nada reacciona, con demasiado calor todo compuesto se deshace.

Preguntas

1. El carbón pasa años al aire libre sin arder. ¿Qué muestra esto?
 - a. Que el carbón no tiene afinidad por el oxígeno del aire
 - b. Que el aire que lo rodea tiene demasiado poco oxígeno para que arda nada

- c. Que una reacción necesita las condiciones adecuadas, aquí suficiente calor, y no solo las sustancias adecuadas
 - d. Que el carbón solo arde cuando se muele en polvo fino
2. ¿Por qué una aleación de cobre y plata se llama compuesto indefinido, mientras que el óxido de mercurio rojo es definido?
- a. Porque la aleación puede hacerse con cualquier proporción de cada metal, mientras que el óxido tiene siempre la misma proporción
 - b. Porque la aleación es una mezcla de metales y el óxido contiene un gas
 - c. Porque la aleación puede separarse con calor y el óxido no
 - d. Porque la aleación se hace en fábricas y el óxido se encuentra en la naturaleza
3. El hierro y el vapor de agua, a cierta temperatura, dan óxido de hierro e hidrógeno, y a esa misma temperatura el hidrógeno y el óxido de hierro dan hierro y agua. ¿Qué encuentra si empieza por cualquiera de los dos lados?
- a. Solo óxido de hierro e hidrógeno, porque el hierro siempre se queda con el oxígeno
 - b. Solo hierro y agua, porque la reacción inversa es más fuerte
 - c. Nada cambia, porque las dos reacciones se anulan
 - d. Las cuatro sustancias a la vez, en un equilibrio químico
4. ¿Por qué el cloro y el carbono pueden formar compuestos, aunque el cloro no reacciona con el carbón, el grafito ni el diamante?
- a. Porque el cloro reacciona con el carbono una vez enfriado por debajo de cero

- b. Porque el cloro arranca el hidrógeno de los compuestos de carbono e hidrógeno, y el carbono recién liberado se une al cloro
- c. Porque el diamante se convierte en carbón cuando lo toca el cloro
- d. Porque el cloro y el carbono se combinan siempre que pasa una corriente eléctrica

Respuestas

1. **c)** El oxígeno y el impulso del carbón a combinarse estaban ahí todo el tiempo; lo que faltaba era calor para iniciar la reacción.
2. **a)** El óxido tiene siempre 200 partes de mercurio por 16 de oxígeno, mientras que la aleación sigue siendo uniforme con cualquier cantidad de cada metal.
3. **d)** En una reacción reversible los dos sentidos ocurren a la vez, así que al final las cuatro sustancias están presentes juntas en equilibrio.
4. **b)** El carbono se encuentra con el cloro en el momento de su liberación, en un estado fresco en el que se combina más fácilmente.

Ejemplos resueltos

La proporción fija del óxido de mercurio El óxido de mercurio rojo tiene siempre 200 partes en peso de mercurio por 16 de oxígeno. ¿Cuánto mercurio y cuánto oxígeno hay en 108 gramos de óxido?

La proporción es fija, así que cada 200 más 16, es decir, 216 partes de óxido, contienen 200 partes de mercurio y 16 de oxígeno.

108 gramos son exactamente la mitad de 216.

Así que contienen la mitad de cada uno: la mitad de 200 son 100 gramos de mercurio, y la mitad de 16 son 8 gramos de oxígeno.

Comprobación por la conservación de la materia: 100 más 8 son 108 gramos, el peso del óxido.

Respuesta: 100 gramos de mercurio y 8 gramos de oxígeno

Ejercicios

1. ¿Cuántos gramos de oxígeno pueden expulsarse de 54 gramos de óxido de mercurio rojo, si tiene 200 partes de mercurio por 16 de oxígeno?

Pista: Averigüe qué parte de 216 son 54.

Respuesta: 4 gramos. 54 gramos son la cuarta parte de 216, así que contienen la cuarta parte de 16 partes de oxígeno, es decir, 4 gramos; los otros 50 gramos son mercurio.

2. Según el libro, 425 kilográmetros de trabajo equivalen a una caloría grande de calor. ¿Cuánto trabajo equivalen tres de esas calorías?

Pista: La medida es fija, así que trabajo y calor crecen juntos.

Respuesta: 1275 kilográmetros: tres veces 425. Como el calor es una forma de movimiento, una cantidad fija de trabajo corresponde siempre a una cantidad fija de calor.

3. Raoul Pictet halló que por debajo de menos 120 grados ni siquiera el ácido sulfúrico y la sosa cáustica reaccionan. Explique, con la idea de una ventana de temperatura, por qué muchas reacciones conocidas en la tierra no podrían ocurrir en la luna helada ni en el sol abrasador.

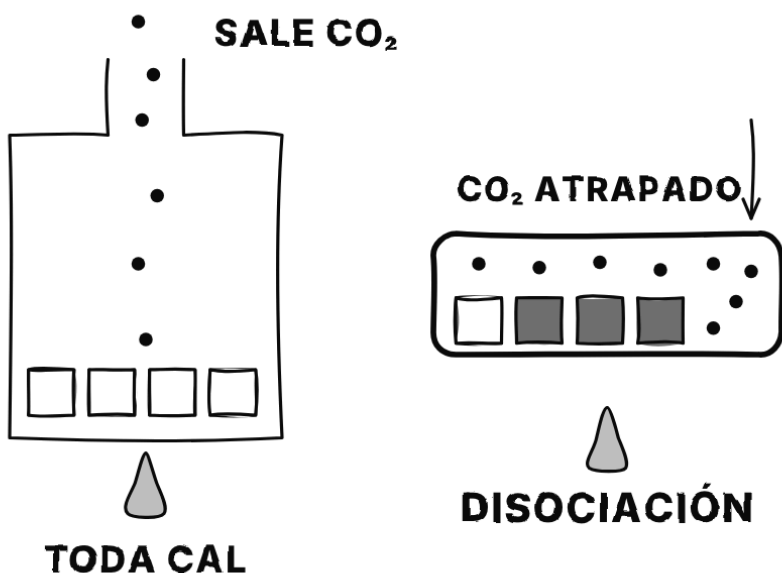
Pista: Piense en qué les pasa a las reacciones cuando hace demasiado frío y a los compuestos cuando hace demasiado calor.

Respuesta: Cada reacción ocurre solo dentro de cierto intervalo de temperatura. Con demasiado frío, hasta las sustancias fuertes dejan de reaccionar, como mostró Pictet; con demasiado calor, todo compuesto se

deshace. En la luna y en el sol las temperaturas quedan fuera de las ventanas de muchas de nuestras reacciones.

A medio separar

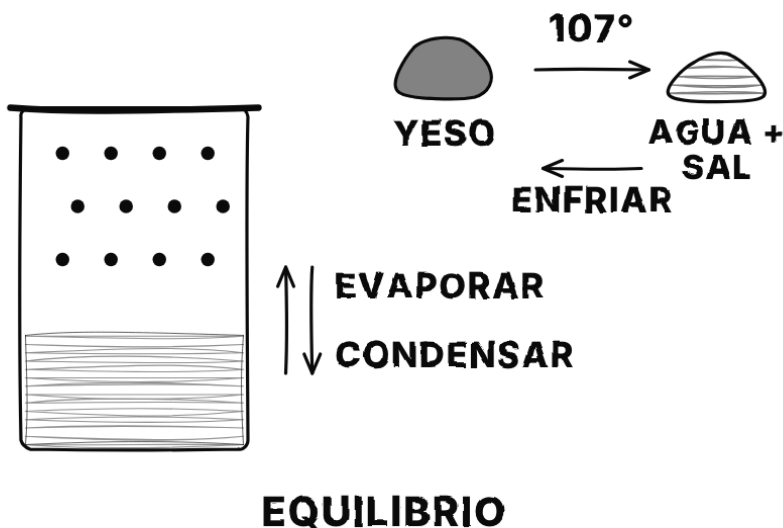
Ponga un trozo de caliza en un horno de cal, caliéntelo con fuerza, y al cabo de unas horas se habrá convertido por completo en cal viva, mientras su dióxido de carbono sale por la chimenea. Ahora haga lo mismo con la piedra encerrada en un tubo de hierro cerrado, como el cañón de fusil remachado que describe Mendeléyev. Caliéntelo con la misma fuerza y solo se descompondrá una parte de la piedra. El resto se queda como estaba, por mucho que se espere. La diferencia es que en el horno el gas puede escapar y en el tubo cerrado no.



Horno abierto, tubo cerrado

Esta descomposición a medias se llama disociación, una idea que llevó a la química Henri Sainte-Claire Deville. Caliente en un espacio cerrado un compuesto que pueda volver a formarse a partir de sus propios productos, y a cierta temperatura empieza a separarse, pero solo una parte. Suba la temperatura y esa parte crece; a cada temperatura le corresponde su propio equilibrio entre sustancia descompuesta y sin descomponer, hasta que al final todo se separa. En el tubo cerrado, el dióxido de carbono se acumula hasta que su presión alcanza el mayor valor que permite esa temperatura, y entonces la descomposición se detiene. Bombear más gas y la cal y el gas vuelven a combinarse; deje salir algo de gas y se descompone más piedra.

Mendeléyev lo compara con el agua que se evapora en un frasco cerrado. El vapor se acumula hasta que su presión es tan alta como permite esa temperatura, y entonces la evaporación se detiene. Añada vapor y parte de él vuelve a condensarse en líquido; quite vapor y se evapora más agua. Descomponerse y formarse se encuentran en un equilibrio, igual que evaporarse y condensarse. Una botella cerrada de agua con gas muestra lo mismo: el gas sigue disuelto mientras el tapón está puesto, y sale en burbujas en cuanto se abre y se libera la presión.

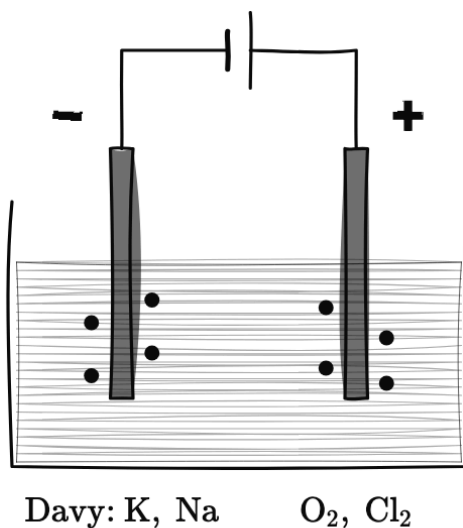


Un equilibrio como la evaporación

Algunos cambios tienen incluso una temperatura precisa, como un punto de fusión. El yeso natural, calentado en un espacio cerrado, se separa a ciento siete grados en una pasta húmeda: parte de su agua queda libre como líquido, y queda otra sal, con mucha menos agua. Por debajo de esa temperatura, el yeso vuelve a formarse. Los albañiles lo aprovechan a diario: el enlucido de una pared o un molde es yeso que se calentó para expulsar agua, y al mezclarse de nuevo con agua vuelve a fraguar en yeso.

El calor no es lo único que influye en las reacciones. Una corriente eléctrica hace algo muy parecido: separa la mayoría de los compuestos que la conducen, y cerca de esas condiciones también puede hacer que las sustancias se combinen. Su gran ventaja es que actúa a

temperatura ambiente y puede separar incluso los compuestos más tercos. Las partes aparecen en los dos polos: los metales y el hidrógeno en el polo negativo, el oxígeno, el cloro y los ácidos en el positivo. Así el inglés Humphry Davy hizo lo que Lavoisier no pudo, y sacó de sus compuestos los metales potasio y sodio. Ahora que las dinamos dan corriente barata, señala Mendeléyev, las fábricas obtienen sodio y cloro de la misma manera. El papel de aluminio del cajón de su cocina se fabrica hoy justamente así, haciendo pasar una corriente enorme por un compuesto de aluminio fundido.



La corriente separa compuestos

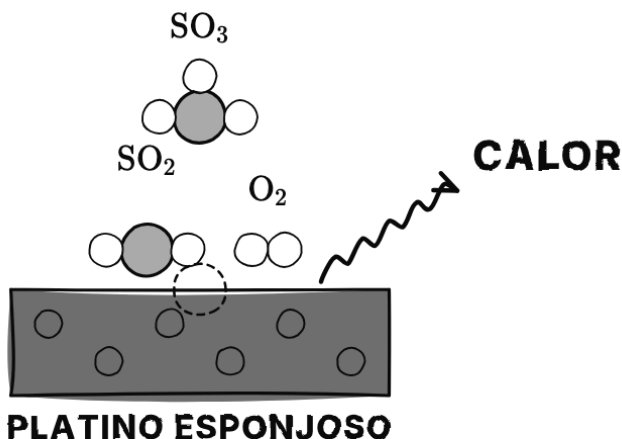
También puede hacerlo la luz, aunque su empuje es débil, así que solo se rompen compuestos frágiles, como las sales de plata en que se basa la fotografía. Sin embargo, en las plantas verdes la luz logra lo que al

calor y a la corriente les cuesta: separa el dióxido de carbono y deja libre el oxígeno, una hazaña que los químicos de la época de Mendeléyev no podían imitar. Un golpe o el roce también pueden bastar: el fulminante de un pistón estalla al golpearlo, y frotar azufre con cierta sal lo hace arder. La presión importa, sobre todo para los gases, porque al comprimirlos sus partículas se acercan más.

El tiempo importa, porque las partículas tienen que llegar unas a otras, y aun entonces el cambio interior necesita su propio tiempo. El vino joven tiene ácidos y alcohol uno al lado del otro; al envejecer, reaccionan despacio y dan agua y ésteres aromáticos, que dan al vino viejo su buqué. Aun así, la mayoría de las reacciones bruscas que un estudiante ve primero van tan rápido que el tiempo puede ignorarse.

Por último, el contacto. Cuantos más puntos de contacto entre las sustancias, más rápido reaccionan: agite ácido sulfúrico con un gas durante mucho tiempo y lo absorbe, y los sólidos reaccionan mejor molidos en el polvo más fino. En la superficie de una sustancia, sus partículas son atraídas desde un solo lado, así que su estado difiere del que tienen en el interior, como si estuvieran más calientes. Eso explica las reacciones de contacto, desencadenadas por la mera presencia de ciertos cuerpos, sobre todo porosos, como el platino esponjoso y el carbón. El dióxido de azufre y el oxígeno no se combinan por sí solos, pero junto al platino esponjoso sí, y desprenden calor. El catalizador que va bajo un coche funciona con este principio: un fino recubrimiento de metales del platino ayuda a reaccionar a los gases de escape.

LA MATERIA SE CONSERVA LA ENERGÍA SE CONSERVA



El platino esponjoso los junta

Aquí Mendeléyev cierra la introducción. Estas ideas generales, dice, solo adquieren todo su sentido cuando conocemos las propias sustancias, una por una. Pero dos leyes tenían que ir primero, la conservación de la materia y la conservación de la energía, porque solo con ellas en la mano pueden ordenarse los detalles de forma sensata y fructífera.

Esta parte deja fuera las presiones exactas de disociación y los muchos ejemplos adicionales, que Mendeléyev promete desarrollar más adelante en el libro.

Para recordar

La disociación es una descomposición parcial: en un espacio cerrado cada temperatura tiene su propio equilibrio entre sustancia descompuesta y sin descomponer. Si un producto puede escapar, como el dióxido de carbono sale de un horno de cal, la descomposición llega hasta el final. La corriente eléctrica, la luz, los golpes, la presión, el tiempo y el contacto íntimo dirigen las reacciones, igual que el calor. Algunos cuerpos, como el platino esponjoso, hacen que ocurran reacciones con su mera presencia. Bajo todos los detalles hay dos leyes: la materia se conserva y la energía se conserva.

Preguntas

1. ¿Por qué la caliza se descompone por completo en un horno pero solo en parte en un tubo de hierro cerrado con el mismo calor?
 - a. Porque el hierro del tubo enfría la piedra y frena la reacción
 - b. Porque en el horno el dióxido de carbono escapa, mientras que en el tubo se acumula y detiene la descomposición
 - c. Porque el horno está abierto al aire, y hace falta oxígeno para descomponer la caliza
 - d. Porque la caliza en un tubo se funde en vez de descomponerse

2. En el tubo cerrado la descomposición se ha detenido. ¿Qué pasa si se bombea más dióxido de carbono a la misma temperatura?
 - a. La cal y el dióxido de carbono vuelven a combinarse y se rehace algo de caliza
 - b. Se descompone más caliza, porque hay más gas que se la lleva
 - c. Nada, porque la reacción ya ha llegado a su fin
 - d. La cal se funde en una pasta húmeda, como el yeso
3. ¿Qué hace especialmente útil la corriente eléctrica para separar compuestos?
 - a. Solo separa compuestos débiles y deja intactos los fuertes
 - b. Hace que todas las partes de un compuesto aparezcan en el mismo polo
 - c. Actúa a temperatura ambiente y puede separar incluso los compuestos más tercos
 - d. No necesita un líquido o una masa fundida conductora por donde pasar
4. ¿Por qué las sustancias reaccionan con más facilidad en la superficie del platino esponjoso?
 - a. Porque el platino cede una parte de sí a cada nuevo compuesto
 - b. Porque el platino calienta los gases ardiendo en ellos
 - c. Porque el platino retira los productos, como el horno retira el dióxido de carbono
 - d. Porque en una superficie las partículas son atraídas desde un solo lado y su estado cambia como si se calentaran

Respuestas

1. **b)** En el tubo cerrado el gas se acumula hasta que su presión es la mayor que permite esa temperatura, y entonces la descomposición se detiene; en el horno simplemente se va.
2. **a)** Como el vapor añadido a un frasco cerrado, el gas extra empuja el equilibrio hacia atrás, y parte de los productos se recombina.
3. **c)** A diferencia del calor, la corriente rompe los compuestos a temperatura ordinaria, y así obtuvo Davy el potasio y el sodio.
4. **d)** En la superficie de un cuerpo poroso el estado de las sustancias que lo tocan se altera como por una subida de temperatura, así que reaccionan al contacto.

Ejemplos resueltos

Cuánta agua cede el yeso A 107 grados, en un espacio cerrado, el yeso se separa en una pasta: tres cuartas partes de su agua quedan libres como líquido, y queda una sal con el resto. Un trozo de yeso contiene 20 gramos de agua. ¿Cuánta agua se libera y cuánta queda en la sal?

El libro dice que a esta temperatura tres cuartas partes del agua quedan libres como líquido.

Tres cuartas partes de 20 gramos son 15 gramos.

El resto, una cuarta parte, sigue ligado en la nueva sal: 20 menos 15 son 5 gramos.

Por debajo de 107 grados el agua y la sal vuelven a formar yeso, así que el cambio va en los dos sentidos.

Respuesta: 15 gramos liberados como líquido, 5 gramos retenidos en la sal

Ejercicios

1. Usando la comparación de Mendeléyev con el agua que se evapora en un frasco cerrado, explique por qué la caliza encerrada en un tubo deja de descomponerse a una temperatura dada, y qué haría dejar salir el gas.

Pista: ¿Qué detiene la evaporación en un frasco cerrado y qué la reanuda?

Respuesta: En el frasco, el vapor se acumula hasta que su presión es la mayor que permite la temperatura, y la evaporación se detiene; quitar vapor deja que se evapore más agua. Del mismo modo, el dióxido de carbono del tubo alcanza su presión de disociación y la descomposición se detiene; dejar salir gas baja la presión, y se descompone más caliza.

2. El vino joven y el viejo contienen al principio los mismos ácidos y el mismo alcohol. ¿Por qué el vino viejo tiene un buqué que le falta al joven, y qué muestra esto sobre las reacciones?

Pista: Piense en la rapidez de esta reacción en particular a temperatura ordinaria.

Respuesta: Los ácidos y el alcohol reaccionan despacio y dan agua y ésteres aromáticos, pero a temperatura ordinaria esto lleva mucho tiempo. Muestra que, además del contacto, una reacción necesita su propio tiempo, y algunas reacciones son tan lentas que el tiempo importa.