

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

¿Adónde va el leño?

La balanza como detective

Doce días con un matraz de mercurio

Los ladrillos que nunca cambian

Pasar lista a las sustancias simples

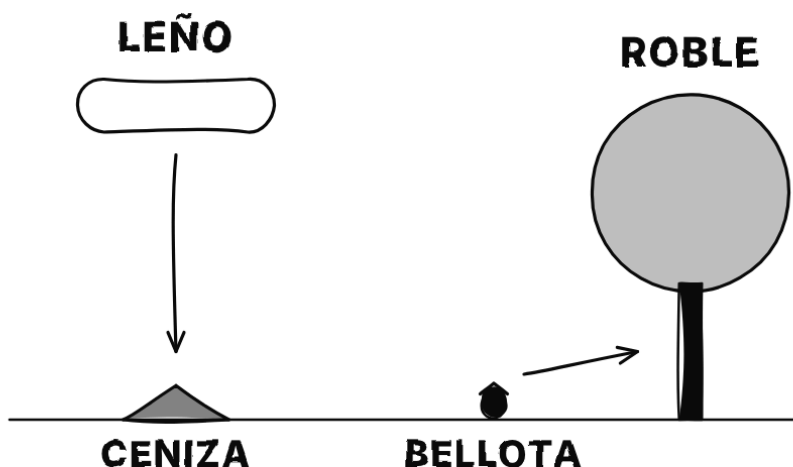
La energía guardada en las sustancias

El calor y la corriente deciden

Luz, un golpe, tiempo y contacto

¿Adónde va el leño?

Ponga un leño en una hoguera y vuelva una hora después. Donde estaba el leño pesado solo queda un montoncito de ceniza gris. Ahora piense en una bellota, tan ligera que se la lleva un soplo de la mano, que se convierte, muchos años después, en un roble más pesado que un coche. En el fuego, la materia parece desvanecerse; en el árbol, parece aparecer de la nada. Mendeléyev empieza su gran libro de química mostrando que ambas impresiones nos engañan, y que ver a través de ellas es lo que convirtió la química en una ciencia.

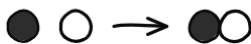


¿Perdido en el fuego, creado en un árbol?

¿Qué estudia la química? En palabras de Mendeléyev, su objeto más cercano son las sustancias homogéneas de las que están hechos todos los cuerpos del mundo, las maneras en que se transforman unas en otras y lo que ocurre mientras lo hacen. Un cambio así se llama reacción. Una reacción necesita el contacto más estrecho posible: las sustancias deben tocarse de verdad, hasta sus partículas invisibles más pequeñas, que Mendeléyev llama moléculas. La física ya conocía la gravedad, la cohesión, el calor, la luz y la electricidad. La química tuvo que añadir algo nuevo: fuerzas ocultas dentro de esas partículas diminutas, silenciosas en la vida diaria, pero claramente activas cada vez que una sustancia se convierte en otra.

Mendeléyev nombra tres clases principales de reacción. La primera es la combinación, en la que dos sustancias se vuelven una. Mezcle limaduras de hierro y azufre amarillo en polvo: un imán todavía puede sacar el hierro, así que esto es solo una mezcla. Caliéntela, y la mezcla se pone incandescente y se convierte en una sustancia nueva y oscura, el sulfuro de hierro, donde ninguna lupa encuentra ya hierro ni azufre. 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 azul bajo su hervidor es una reacción de este tipo: el gas se une al oxígeno y da el calor que hierve el agua.

COMBINACIÓN



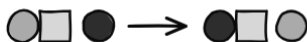
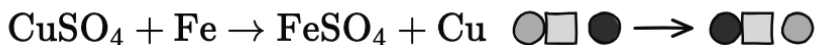
HIERRO + AZUFRE → SULFURO DE HIERRO

DESCOMPOSICIÓN



EL GAS ES DIÓXIDO DE CARBONO

SUSTITUCIÓN



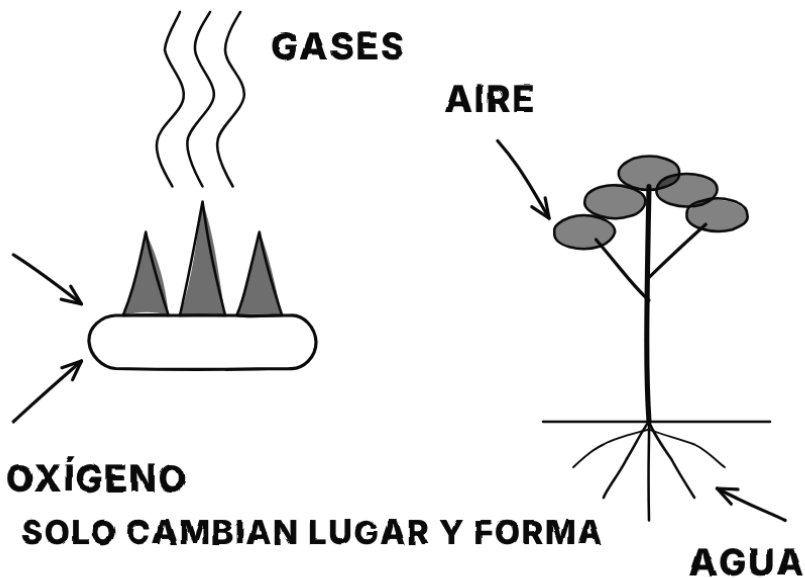
Tres clases de reacción

La segunda clase es la descomposición, lo contrario: una sustancia se deshace en varias. Caliente fuertemente madera sin que entre aire, y da un gas que arde, un líquido acuoso, alquitrán y carbón vegetal; antiguamente las fábricas obtenían así el carbón y el gas de alumbrado. La caliza, la tiza y el mármol, muy calentados, dejan cal y desprenden un gas, el dióxido de carbono. Las descomposiciones suelen absorber calor en vez de darlo. El horno de una fábrica de cemento debe quemar combustible día y noche, porque partir la caliza en cal y gas cuesta calor.

La tercera clase está en medio: salen tantas sustancias como entraron, porque una parte cambia de lugar con otra. Sumerja un clavo de hierro en una solución azul de vitriolo de cobre. Pronto el clavo se

cubre de cobre rojo y la solución se vuelve verde, porque el hierro ha ocupado el lugar del cobre en la sal. Mendeléyev llama a esto sustitución, y dice que estas reacciones se usan constantemente para recubrir el hierro de cobre, o el cobre de plata. Una cuchara plateada debe su brillo a la misma idea: un metal depositado sobre otro a partir de una solución.

Si la gente usó estos cambios durante miles de años, ¿por qué llegó tan tarde una verdadera ciencia de ellos? Mendeléyev da dos razones. Primera, la mayoría de los cambios en la naturaleza y en los talleres están enredados: muchas combinaciones, descomposiciones y sustituciones ocurren a la vez. Segunda, y más importante, en muchísimas reacciones intervienen gases, sobre todo el propio aire. Solo en los siglos dieciséis y diecisiete se comprendió que el aire tiene peso, y que un gas es un estado elástico de la materia que se expande en todas direcciones. Hasta entonces, los gases entraban y salían de las reacciones sin ser vistos ni pesados, y parecía que la materia podía hacerse y deshacerse.



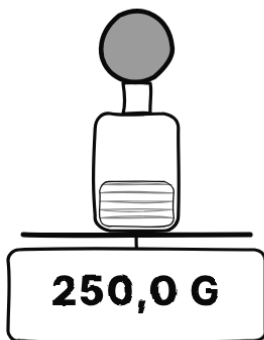
Adónde va el leño quemado

Mire otra vez la hoguera. La madera no desaparece: se convierte en gases que se van con el humo. Recoja ese humo y encontrará gases distintos del aire, en los que una vela se apaga y un animal no puede respirar. Péselos, y pesan más que la madera, porque la madera se ha unido a una parte del aire, igual que el hierro se vuelve más pesado al oxidarse. La bellota tampoco crece a partir de sí misma: sus hojas toman gases del aire y sus raíces absorben agua con lo que lleva disuelto, y con ello el árbol construye su cuerpo. En un gas sin la parte nutritiva del aire, una planta no crece en absoluto; muere. Ni siquiera el agua que se seca de una camisa mojada se pierde; vuelve como lluvia, rocío o nieve. La materia, en todo cambio, solo cambia de lugar y de forma, y conserva su cantidad. En la breve frase del propio Mendeléyev, la materia es eterna para nosotros.

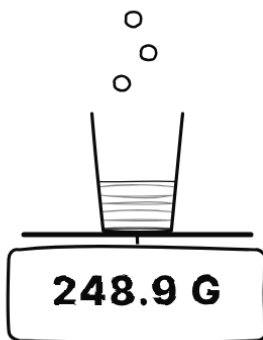
Pruébalo

Ponga en una báscula de cocina una botella con un poco de vinagre y un cucurucho de papel con bicarbonato, y estire un globo sobre el cuello. Anote la lectura y luego deje caer el bicarbonato sacudiendo la botella sin levantarla. Burbujea y el globo se hincha, pero el número de la báscula se queda donde estaba. Haga lo mismo en un vaso abierto y la lectura va bajando mientras el gas se escapa. Su báscula de cocina muestra en un minuto lo que a los químicos les llevó siglos: el peso perdido era solo gas que se dejó escapar.

CERRADO



ABIERTO



PESO ENTRA = PESO SALE

Botella cerrada, vaso abierto

Algunos pensadores de la antigua Grecia, y científicos del siglo diecisiete como Mariotte, ya sospechaban que la cantidad de materia nunca cambia, pero nunca lo enunciaron con claridad ni lo usaron. La prueba llegó en la segunda mitad del siglo dieciocho de la mano de Antoine Lavoisier, académico francés que además recaudaba impuestos, y a quien Mendeléyev llama el fundador de la química moderna. Su instrumento era la balanza, la única herramienta que dice directa y exactamente cuánta sustancia hay. Pesaba todo aquello con lo que empezaba, incluso los recipientes, y luego pesaba todo lo que salía. Cada vez, los productos juntos pesaban exactamente lo mismo que las sustancias iniciales juntas.

Esta es la ley de conservación de la materia: la materia no se crea ni se destruye. Mendeléyev añade una observación honesta. Una frase tan breve habla de toda la naturaleza, así que encierra una conjetura; lo que de verdad se ha visto es más modesto. En todos los experimentos y fenómenos estudiados, nadie ha encontrado nunca los productos más pesados o más ligeros que lo tomado, hasta donde la balanza puede decir. Y como el peso va de la mano de la cantidad de materia, nadie ha visto nunca desaparecer materia ni aparecer materia nueva. Ese hallazgo modesto y cuidadoso es lo que da precisión a toda investigación química, porque permite al químico llevar una cuenta exacta de cada reacción. Las balanzas de laboratorio actuales muestran la diezmilésima de gramo, y la cuenta sigue cuadrando.

Para recordar

La química estudia cómo las sustancias se transforman unas en otras, y cada uno de esos cambios, una reacción, necesita el contacto más estrecho entre sus partículas diminutas. Las reacciones son de tres clases principales: combinación, donde las sustancias se unen; descomposición, donde una se deshace; y sustitución, donde una parte ocupa el lugar de otra. La ciencia llegó tarde porque las reacciones están enredadas y porque los gases invisibles, que sí tienen peso, quedaban fuera del cuadro. Lavoisier lo pesó todo antes y después, y halló que el total nunca cambia: la materia no se hace ni se pierde, solo se traslada y se transforma.

Preguntas

1. Los gases de un leño quemado pesan más que el leño. ¿De dónde viene el peso de más?
 - a. Del calor del fuego, que se convierte en un poco de materia.
 - b. De la ceniza, que pasa parte de su peso al humo.
 - c. Del aire, porque la madera se une a una parte de él al arder.
 - d. De la humedad de la madera, que pesa más al calentarse.
2. Una botella cerrada con vinagre y bicarbonato está sobre una báscula de cocina. Los dos burbujean juntos y el globo se hincha. ¿Qué marca la báscula?
 - a. Lo mismo que antes, porque nada salió de la botella.

- b. Menos, porque el gas no pesa nada.
 - c. Más, porque se ha formado una sustancia nueva.
 - d. Menos, porque el burbujeo gasta algo de materia.
3. ¿Por qué les costó tanto a los primeros químicos ver que la materia nunca se pierde?
- a. No tenían balanzas de ningún tipo.
 - b. No sabían que el aire y otros gases tienen peso, así que los gases entraban y salían de las reacciones sin que se notara.
 - c. Las reacciones en su época eran más lentas que hoy.
 - d. Solo creían en combinaciones y nunca vieron una descomposición.
4. Un clavo de hierro en vitriolo de cobre azul se cubre de cobre 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 simplemente se deshace.
 - c. Una fusión del clavo en la solución.
 - d. Una sustitución, porque el hierro ocupa el lugar del cobre en la sal.

Respuestas

1. **c)** La madera se combina con parte del aire, igual que el hierro pesa más al oxidarse, así que los gases llevan el peso de la madera más el del aire.
2. **a)** El gas queda atrapado en el globo, así que toda la materia sigue en la báscula; solo en un vaso abierto baja la lectura al escaparse el gas.
3. **b)** Hasta que se comprendió que el aire tiene peso, los gases entraban y salían de las reacciones sin ser vistos ni pesados, así que la materia parecía

aparecer y desaparecer.

4. d) Salen tantas sustancias como entraron, porque el hierro ha cambiado de lugar con el cobre: eso es una sustitución.

Ejercicios

1. Un amigo dice que un árbol que crece demuestra que la materia puede crearse, ya que una bellota se convierte en un roble enorme. ¿Qué le respondería?

Pista: Pregunte qué toman las hojas y las raíces.

Respuesta: El árbol construye su cuerpo con lo que toma: gases del aire por las hojas, y agua con sustancias disueltas por las raíces. Su peso viene de fuera; no se crea nada. Sin la parte nutritiva del aire una planta no crece en absoluto.

2. Se mezclan limaduras de hierro y azufre, y luego se calientan hasta que brillan. ¿Cómo podría mostrar que antes de calentar era solo una mezcla, y después una sustancia nueva?

Pista: Piense en lo que hace un imán en cada caso.

Respuesta: Antes de calentar, un imán saca el hierro de la mezcla, así que los dos siguen separados. Después de calentar, el imán ya no puede escoger el hierro y ninguna lupa muestra hierro ni azufre: se han combinado en una sola sustancia nueva, el sulfuro de hierro.

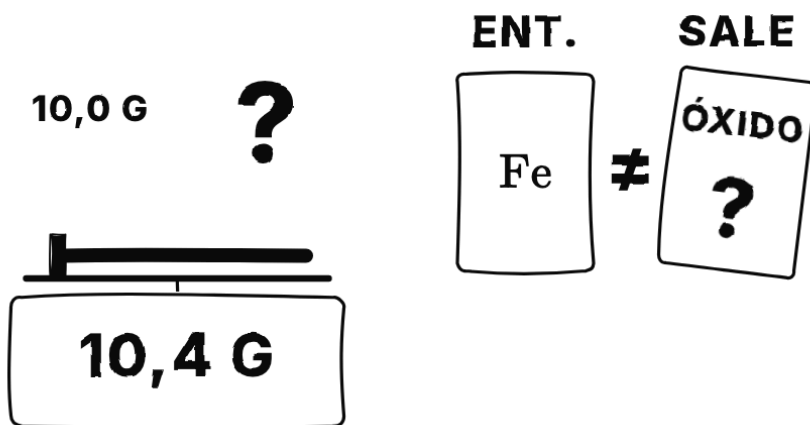
3. Una camisa mojada tendida a secar se vuelve más ligera. ¿Se ha destruido parte de su materia? Explíquelo.

Pista: Siga el agua después de que sale de la camisa.

Respuesta: No. El agua solo ha cambiado de lugar y de forma: se fue al aire como vapor y vuelve más tarde como lluvia, rocío o nieve. La camisa pesa menos, pero la cantidad total de materia es la misma.

La balanza como detective

Deje un clavo de hierro brillante fuera, en la humedad, durante una semana. Se vuelve marrón y escamoso, y si lo hubiera pesado antes, vería que ahora pesa más. Algo se le ha unido, aunque nada visible se le acercó. La regla de la parte anterior, que nada se crea ni se pierde, está a punto de trabajar como un detective y nombrar al culpable.

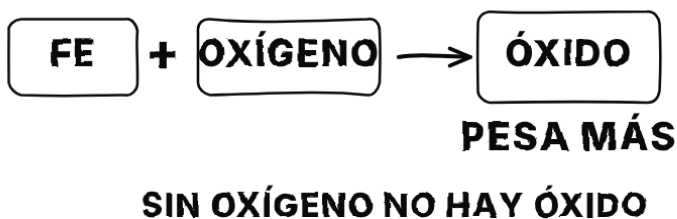


El clavo oxidado pesa más

Mendeléyev convierte la regla en un balance. A un lado están todas las sustancias que entran en una reacción, al otro todas las que salen, y los dos lados deben pesar lo mismo. Eso le da al químico dos poderes.

Si se conocen todos los pesos menos uno, el que falta se puede hallar. Y si se ha olvidado una sustancia, los dos lados no cuadrarán, y ese desajuste delata la omisión. Funciona como la caja de una tienda al cerrar: si el dinero y los tiques no coinciden, algo se pasó por alto, y uno sale a buscarlo.

El primer caso es el hierro. En aire húmedo se oxida, y calentado al aire le crece una costra de cascarilla, una materia terrosa muy parecida a los minerales de hierro que se sacan de la tierra. En ambos casos el metal gana peso. Lavoisier encontró de dónde viene lo de más: de la parte del aire llamada oxígeno, la que mantiene los fuegos encendidos. En el vacío, o en gases sin oxígeno como el hidrógeno o el nitrógeno, el hierro ni se oxida ni forma cascarilla. Así que el óxido es hierro más algo, una combinación, y más complejo que el propio hierro.

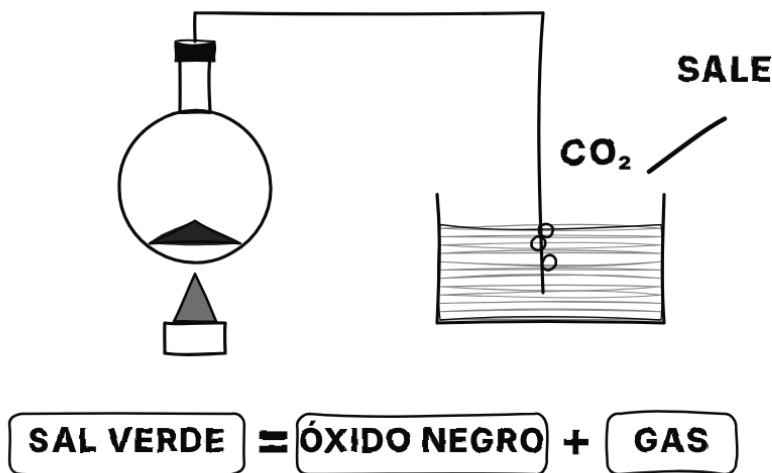


El hierro gana, no pierde

Sin pesar, es fácil leerlo al revés, y antes de Lavoisier todos lo hacían. Los químicos de entonces creían que el hierro contenía una sustancia misteriosa llamada flogisto, y que el calor la expulsaba y dejaba la cascarilla. Pero si algo saliera, la cascarilla pesaría menos, y pesa más. La balanza sola bastó para derribar la vieja idea. El óxido que se come una bicicleta vieja pesa más que el acero al que sustituye, porque ha tomado oxígeno del aire.

El segundo caso va en sentido contrario. La sal verde de cobre que se vende en polvo, y la piedra verde malaquita, usada en joyería y como mineral de cobre, se vuelven negras al calentarse. La materia negra, el óxido de cobre, pesa menos que la sal verde, así que esta vez algo se ha ido: es una descomposición. Ponga al matraz un tapón ajustado

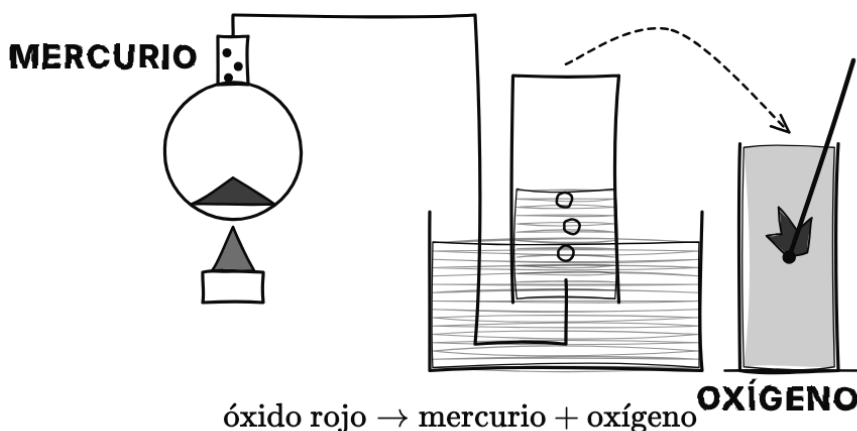
con un tubo que lleve al agua, y al calentar saldrán burbujas de gas. Una astilla encendida se apaga en este gas como si la metieran en agua. Es dióxido de carbono, transparente e incoloro como el aire, y justo por eso, sin balanza, nadie habría sospechado que estaba ahí. Péselo también, y el óxido negro y el gas juntos pesan exactamente lo que pesaba la sal verde.



La sal verde desprende un gas

El tercer caso es el que Mendeléyev llama especialmente importante para la historia de la química. El mercurio calentado al aire se convierte poco a poco en un polvo rojo, el óxido rojo de mercurio. Caliente ese polvo rojo en un matraz de vidrio cuyo tubo se hunde bajo el agua, y recoja las burbujas en un frasco invertido lleno de agua, que ellas empujan hacia abajo al subir. Las primeras burbujas

son solo aire, que se dilata con el calor; luego llega un gas distinto. Baje dentro una astilla que solo está al rojo, y la astilla estalla en una llama brillante, cosa que en aire corriente nunca haría. Ese gas es el oxígeno. Al mismo tiempo, una película brillante y gotitas diminutas de mercurio se juntan en el vidrio más frío. Así que una sustancia se ha separado en dos, mercurio y oxígeno: una descomposición.



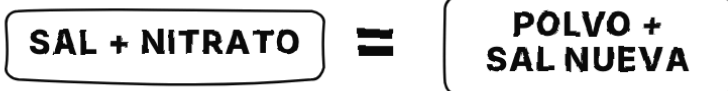
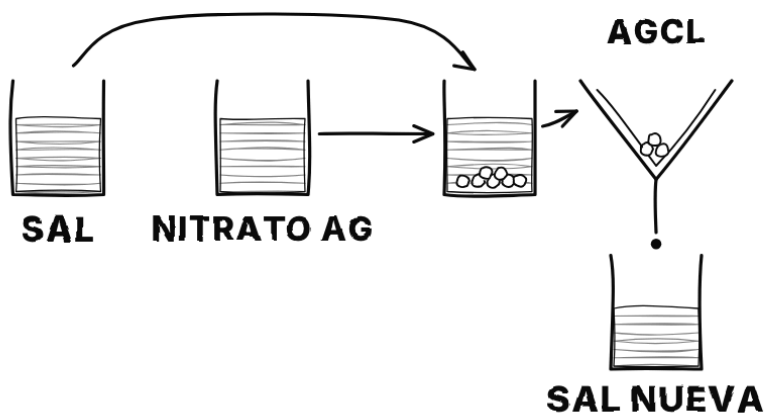
El polvo rojo se parte en dos

Los químicos anteriores a Lavoisier ya sabían recoger gases, pero él mostró lo que hacen en realidad. El oxígeno del polvo rojo es el mismo gas que está en el aire, que respiran los animales, en el que arden las cosas y que convierte los metales en óxido y cascarilla. Por eso un experimento tan pequeño cambió toda la química.

Pruébalo

Apague una cerilla de un soplo y, mientras la punta sigue al rojo, sosténgala justo encima de un vaso de agua oxigenada de farmacia en la que ha removido una pizca de levadura seca. La espuma está llena de oxígeno, y la punta al rojo se aviva o incluso vuelve a encenderse. Es la prueba de la astilla al rojo de Mendeléyev, hecha en un vaso de cocina en lugar de un matraz de laboratorio.

El cuarto caso muestra una sustitución. Tome sal de mesa y piedra infernal, la sal de plata que antes se usaba para cauterizar heridas. Las dos se disuelven en agua y dan soluciones transparentes. Mézclelas, y enseguida aparece un sólido blanco que se hunde: una sustancia nueva que no se disuelve. Vierta la mezcla turbia en un embudo de vidrio forrado con un cono de papel sin encolar, un filtro, y el líquido claro pasa mientras el polvo blanco se queda en el papel. Ese polvo, el cloruro de plata, es claramente una sustancia nueva, ya que ninguna de las sales iniciales era insoluble. Hierva el líquido claro hasta secarlo, y deja otra sal nueva, soluble en agua pero distinta de las dos primeras. El agua solo sirvió para poner las dos sales en un estado suelto y líquido donde pudieran encontrarse. Mendeléyev lo secó y lo pesó todo: la sal y la piedra infernal juntas pesaban exactamente lo mismo que el polvo blanco y la sal nueva juntos. Un filtro de café en su cocina hace el mismo trabajo que el cono de papel de Mendeléyev: retiene el sólido y deja pasar el líquido.



Dos sales cambian de pareja

Para recordar

Como nada se crea ni se pierde, los pesos que entran en una reacción deben igualar a los que salen. Ese balance permite a un químico calcular un peso desconocido, y deja al descubierto cualquier sustancia que se pasó por alto, como un gas invisible. El hierro que se oxida pesa más porque toma oxígeno del aire, y eso refutó la vieja idea del flogisto que escapaba. La sal verde de cobre pierde peso al calentarse porque desprende dióxido de carbono, y el óxido rojo de mercurio se separa en mercurio y oxígeno, el gas de la respiración y de la combustión. La sal y la piedra infernal intercambian compañeros en el agua, y aun así el peso total sigue siendo exactamente el mismo.

Preguntas

1. Un químico suma los pesos antes y después de una reacción, y los dos totales no coinciden. ¿Cuál es la conclusión más sensata?
 - a. Parte de la materia se destruyó durante la reacción.
 - b. Alguna sustancia que intervino quedó fuera de la cuenta.
 - c. El calor creó algo de materia.
 - d. El balance solo funciona para reacciones sin gases.
2. ¿Por qué el pesaje del óxido derribó la vieja idea del flogisto?
 - a. Porque el óxido resultó ser más ligero que el hierro.

- b. Porque el flogisto se encontró en el aire en vez de en el hierro.
 - c. Porque el óxido pesa más que el hierro, así que algo se añadió en lugar de ser expulsado.
 - d. Porque el hierro se oxidaba igual en un recipiente sin aire.
3. La sal verde de cobre se vuelve negra y pierde peso al calentarse. ¿Qué ha pasado?
- a. Ha desprendido un gas incoloro, dióxido de carbono, y el resto es óxido de cobre negro.
 - b. Ha tomado oxígeno del aire y se ha convertido en óxido de cobre.
 - c. Parte de su materia ha ardido hasta la nada.
 - d. Se ha fundido y ha perdido su agua de color.
4. Se mezclan soluciones de sal de mesa y de piedra infernal y se deposita un polvo blanco. ¿Por qué es una sustitución y no solo una mezcla?
- a. Porque el agua se ha convertido en una sal nueva.
 - b. Porque el polvo son solo las dos sales secadas del agua.
 - c. Porque la mezcla pesa más que las dos sales.
 - d. Porque aparecen dos sustancias nuevas, una insoluble y otra soluble, distintas de las dos sales tomadas.

Respuestas

- 1. b)** Como nada se crea ni se pierde, un desajuste significa que algo se olvidó, a menudo un gas invisible, y el propio desajuste lo delata.
- 2. c)** Si el flogisto saliera del hierro, el óxido pesaría menos; pesa más, porque el hierro ha tomado oxígeno del aire.

3. a) Perder peso significa que algo salió; el matraz con tapón muestra burbujas de dióxido de carbono, y el óxido más el gas pesan exactamente lo que pesaba la sal.

4. d) Dos sustancias han dado dos nuevas, el cloruro de plata insoluble y una sal nueva soluble, mientras el agua solo les ayudó a encontrarse.

Ejemplos resueltos

El pesaje del propio Mendeléyev Mendeléyev toma unos $58\frac{1}{2}$ gramos de sal de mesa y 170 gramos de piedra infernal, y obtiene $143\frac{1}{2}$ gramos de cloruro de plata insoluble y 85 gramos de una sal nueva soluble. ¿Concuerda esto con la regla de que nada se crea ni se pierde?

En el lado de lo que entra están las dos sales tomadas: $58\frac{1}{2}$ y 170 gramos, juntas $228\frac{1}{2}$ gramos.

En el lado de lo que sale están las dos sustancias nuevas: $143\frac{1}{2}$ y 85 gramos, juntas también $228\frac{1}{2}$ gramos.

El agua se deja fuera en ambos lados, porque solo reunió las sales y no se gastó.

Los dos lados son iguales, tal como exige la regla.

Respuesta: Sí: los dos lados pesan $228\frac{1}{2}$ gramos.

Ejercicios

1. Alguien pesa un plato con sal verde de cobre, lo calienta al aire libre y encuentra el polvo negro más ligero. Dice que el calor destruye la materia. ¿Qué le diría?

Pista: Pregunte qué pudo salir del plato sin ser visto.

Respuesta: No se destruyó nada: se escapó un gas incoloro, el dióxido de carbono. Calentar en un matraz con tapón y un tubo hacia el agua

muestra las burbujas, y el óxido negro y el gas juntos pesan lo que pesaba la sal.

2. Se calienta hierro en un recipiente con nitrógeno en lugar de aire, y no se forma cascarilla ni el hierro gana peso. ¿Qué muestra esto?

Pista: Compare con el aire corriente, que contiene oxígeno.

Respuesta: Muestra que el peso de más de la cascarilla viene del oxígeno del aire: donde no hay oxígeno, nada se une al hierro, así que no se añade nada.

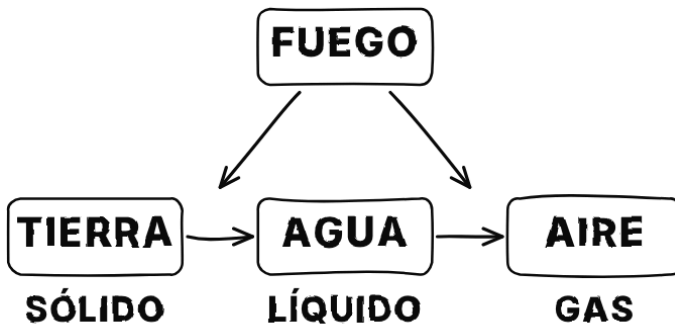
3. Se baja una astilla al rojo a un frasco con el gas del óxido rojo de mercurio calentado, y estalla en llama. ¿Por qué demuestra esto que el gas no es simplemente aire?

Pista: ¿Qué hace una astilla al rojo en aire corriente?

Respuesta: En aire corriente una astilla que solo brilla se apaga sola. Que estalle en llama muestra que el gas mantiene la combustión mucho más fuerte que el aire: es oxígeno, liberado del polvo rojo.

Doce días con un matraz de mercurio

¿Se puede hacer cualquier cosa de cualquier cosa? Mire cómo una planta construye hojas, madera y fruta con nada más que aire, agua y suelo, y parece que no hay fin a lo que la materia puede llegar a ser. Mire a un herrero convertir el hierro en tinta o en la pintura azul intensa llamada azul de Prusia, y la sensación crece. Y sin embargo todos sabemos que no se puede cocinar una comida con una piedra, ni convertir el cobre en oro. Mendeléyev llama a esto la segunda gran cuestión de la química. La primera era sobre la cantidad, y la balanza la respondió: nada se pierde. La segunda es sobre la calidad: ¿hay un límite a aquello en que puede convertirse una sustancia?



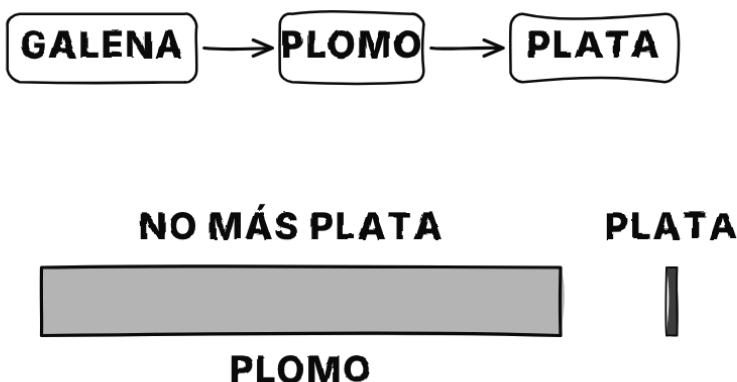
¿SIN LÍMITE?

Los cuatro elementos antiguos

La respuesta popular más antigua decía que todo está hecho de cuatro elementos: aire, agua, tierra y fuego. Llegó de Asia a los griegos, y Empédocles la expuso de la forma más completa, unos cuatro siglos y medio antes de Cristo. No fue fruto de una investigación cuidadosa; parece simplemente clasificar las cosas en gases, líquidos y sólidos, con el fuego, es decir, el calor, que convierte unos en otros.

Los sabios árabes fueron los primeros en atacar la cuestión con experimentos, y a través de España trajeron esta pasión a Europa, donde se convirtió en el arte secreto de la alquimia. Los alquimistas creían que el cambio no tiene límite, y buscaban la piedra filosofal, una sustancia que convertiría cualquier cosa en oro y diamantes e incluso rejuvenecería a los viejos. Su creencia no era una simple

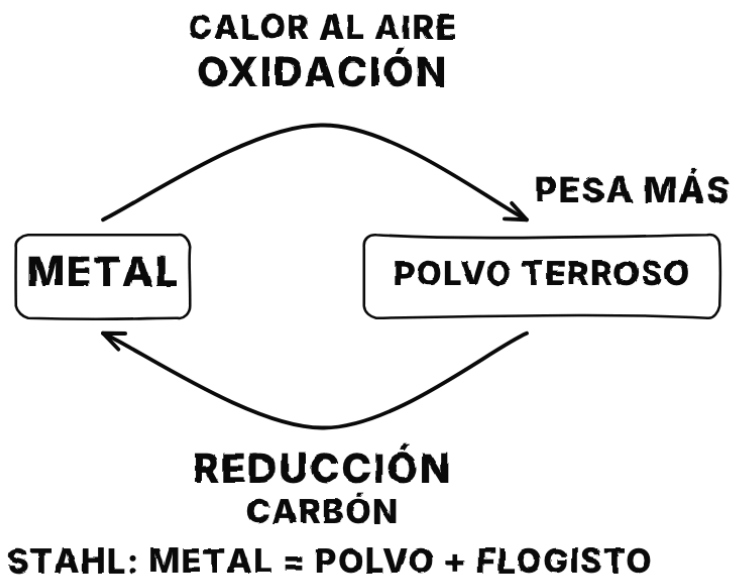
fantasía. De un mineral brillante llamado galena sacaban plomo, y del plomo sacaban plata, así que parecía que un paso más llevaría de la plata al oro. Pero rara vez pesaban. Si lo hubieran hecho, habrían visto que la plata era una parte diminuta del plomo, y que una vez sacada, ningún trabajo posterior daba más. La plata había estado en el plomo desde siempre; el plomo no se había convertido en ella. Es como encontrar monedas en un sofá viejo: el sofá no las hizo, y sacudirlo otra vez no da nada. Los alquimistas no encontraron leyes, porque nunca hicieron preguntas simples y claras, pero dejaron a la química un tesoro de experimentos.



La plata ya estaba allí

Dos de sus cambios favoritos resultaron ser la clave de todo. Cuando un metal se oxida, o en general pasa de metal brillante a polvo

terroso, lo llamamos oxidación. Recuperar el metal del polvo terroso se llama reducción. El hierro, el plomo y el estaño se oxidan con solo calentarse al aire, y vuelven a ser metal al calentarse con carbón. Muchos minerales de la tierra son justamente metales oxidados así, y los hornos siempre han obtenido de ellos estaño, hierro y cobre calentándolos con carbón. Un alto horno de una acería sigue haciendo exactamente esto: el mineral y el coque entran por arriba, el hierro sale por abajo.



Oxidación y reducción

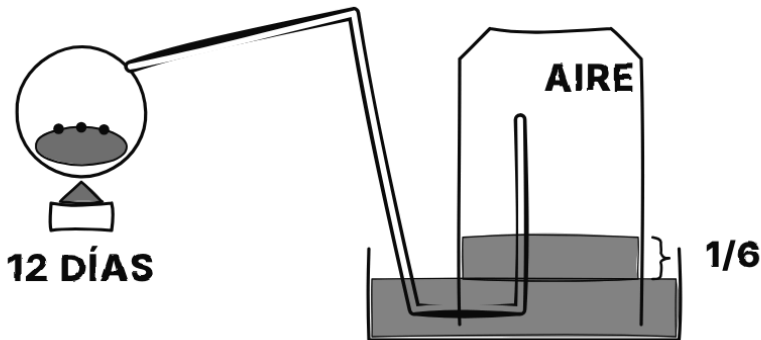
La primera explicación de estos dos cambios vino de Becher y sobre todo de Stahl, médico del rey de Prusia, en un libro de mil setecientos veintitrés. Todo cuerpo, decía Stahl, contiene una sustancia ígnea sin peso que llamó flogisto. Cuanto más fácilmente arde o se oxida un

cuerpo, más flogisto tiene, y el carbón está lleno de él. Cuando un metal se oxida o arde, el flogisto sale; cuando el carbón convierte un mineral de nuevo en metal, le cede parte de su propio flogisto. Así que, para Stahl, un metal era un compuesto: polvo terroso más flogisto. La teoría era tan sencilla que ganó muchísimos admiradores.

Lavoisier, con su balanza, vio que toda oxidación y toda combustión hacen la sustancia más pesada, a costa del aire. Adoptó la idea natural de que el cuerpo más pesado es el más complejo, y en mil setecientos setenta y cuatro hizo el famoso experimento que zanjó la cuestión.

Imagine un matraz de vidrio con un cuello largo que se curva hacia abajo y luego otra vez hacia arriba. Lavoisier echó en él mercurio puro, llevó el cuello a una cubeta de mercurio y cubrió el extremo abierto con una campana de vidrio llena de aire. Así quedó atrapada una cantidad fija de aire, aislada de la habitación. Midió ese aire con cuidado de antemano, teniendo en cuenta el tamaño del matraz y de la campana, el mercurio de dentro, y la temperatura y la presión del día. Ahí estaba toda la cuestión: si Stahl tenía razón, el flogisto saldría del mercurio al aire, y el aire no debería disminuir; si Lavoisier tenía razón, el mercurio se tragaría parte del aire, y el aire disminuiría.

AIRE - = MERCURIO +



Doce días de mercurio caliente

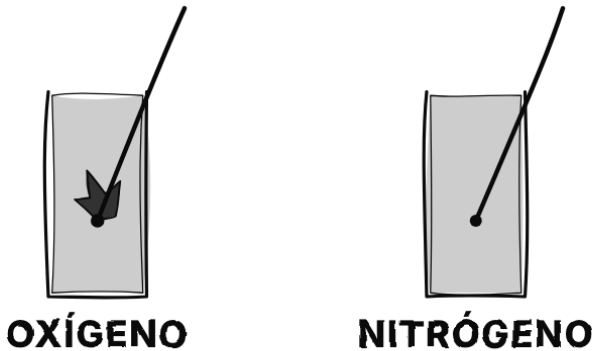
Durante doce días mantuvo el mercurio caliente, casi hirviendo. Poco a poco su superficie se cubrió de escamas rojas: el óxido rojo de mercurio que conocimos en la parte anterior. Luego dejó enfriar el aparato y volvió a medir el aire. Había disminuido, en una sexta parte aproximadamente, y eso solo refutaba la teoría alemana. Mejor aún, el aire había perdido exactamente tanto peso como había ganado el mercurio. Así que parte del aire no había desaparecido; se había unido al mercurio.

Pruébalo

Meta un estropajo de lana de acero húmedo en el fondo de un vaso alto y ponga el vaso boca abajo en un platillo con agua. En uno o dos días la lana se oxida, y el agua sube dentro del vaso más o menos una quinta parte de su altura. Su platillo es una versión casera y tosca de la campana de Lavoisier: el hierro ha tomado parte del aire atrapado para su óxido, y lo que queda no mantiene encendida una llama.

Esa parte del aire tragada se puede volver a sacar del óxido rojo, y es el gas en el que una astilla al rojo se inflama. Se le llamó oxígeno. La parte del aire que quedó bajo la campana se comportaba de un modo muy distinto. No oxidaba los metales y no podía mantener ni una llama ni a un ser vivo; una astilla encendida, escribió Lavoisier en su informe, «se apaga en él como si se hundiera en agua». A este gas se le llamó nitrógeno.

ÓXIDO = METAL + OXÍGENO



El aire son dos gases

Así que el aire no es en absoluto un elemento, como pensaban los antiguos, sino una mezcla de dos gases, oxígeno y nitrógeno. Mézclelos de nuevo, y vuelve a obtener aire corriente. La combustión y la oxidación sacan oxígeno del aire, y los polvos terrosos en que se convierten los metales son compuestos de metal y oxígeno. Y cuando el carbón convierte un mineral de nuevo en metal, el oxígeno deja el mineral y se une al carbón, formando el mismo gas que forma el carbón al arder en el aire. Ese gas también es un compuesto, de carbón y oxígeno, igual que los polvos terrosos lo son de metal y oxígeno. Stahl contaba la historia exactamente al revés: el metal es el cuerpo más simple, y su óxido es el metal más algo.

Para recordar

Después de preguntar cuánta materia hay, la química pregunta en qué puede convertirse: ¿hay un límite a la transformación? Los alquimistas creían que no, pero su plata siempre había estado en el plomo, como habría mostrado el pesaje. La oxidación convierte un metal en polvo terroso, y la reducción con carbón devuelve el metal; Stahl explicaba las dos con un flogisto imaginario. Lavoisier calentó mercurio bajo una campana de aire durante doce días, y el aire perdió tanto peso como ganó el mercurio. El aire es una mezcla de oxígeno, que se une a los metales y mantiene los fuegos, y nitrógeno, que no hace ni una cosa ni otra; el óxido es metal más oxígeno.

Preguntas

1. Los alquimistas sacaban plata del plomo. ¿Por qué eso no demostraba que el plomo pueda convertirse en plata?
 - a. Porque la plata que obtenían era en realidad plomo pulido.
 - b. Porque la plata ya estaba en el plomo, y una vez sacada no se podía obtener más.
 - c. Porque la plata solo se puede obtener de la galena, nunca del plomo.
 - d. Porque el plomo se convertía en plata solo mientras estaba caliente.

2. En el experimento de doce días de Lavoisier, el aire atrapado disminuyó mientras al mercurio le salían escamas rojas. ¿Por qué esto contaba en contra del flogisto de Stahl?
 - a. Stahl esperaba que el flogisto saliera al aire, así que el aire no debería haber disminuido.
 - b. Stahl esperaba que el mercurio siguiera brillante, y se volvió rojo.
 - c. Stahl esperaba que el experimento durara menos de doce días.
 - d. Stahl esperaba que el mercurio se evaporara por completo.
3. ¿Cómo resultó ser el gas que quedó bajo la campana de Lavoisier, después de que el mercurio tomara su parte?
 - a. Hacía que una astilla al rojo estallara en llama.
 - b. Era exactamente igual que el aire corriente.
 - c. No oxidaba los metales ni mantenía una llama ni a un ser vivo.
 - d. Devolvía el mercurio del rojo al brillante.
4. Cuando un mineral se calienta con carbón y devuelve su metal, ¿adónde va el oxígeno del mineral?
 - a. Se queda en el metal como flogisto.
 - b. Lo destruye el calor del horno.
 - c. Se convierte en nitrógeno y se escapa al aire.
 - d. Se une al carbón, formando el mismo gas que forma el carbón al arder en el aire.

Respuestas

1. **b)** Pesar y estudiar más de cerca habría mostrado que la plata era una parte diminuta que ya estaba en el plomo; el plomo mismo no se había convertido en nada.
2. **a)** Si algo saliera del mercurio, el aire no perdería nada; en cambio el aire perdió tanto peso como ganó el mercurio, así que parte del aire se había unido al metal.
3. **c)** El gas restante, el nitrógeno, no podía mantener ni la combustión ni la respiración; la parte que se unió al mercurio era el oxígeno.
4. **d)** En la reducción el oxígeno pasa del mineral al carbón y forma el gas del carbón que arde, que es a su vez un compuesto de carbón y oxígeno.

Ejercicios

1. Explique con sus palabras por qué la teoría de Stahl y la visión de Lavoisier predican cosas opuestas para el aire de un recipiente cerrado donde se oxida un metal.

Pista: Pregunte, para cada uno, si algo entra en el aire o sale de él.

Respuesta: Para Stahl, la oxidación expulsa flogisto del metal, así que no se toma nada del aire y este no debería disminuir. Para Lavoisier, el metal toma parte del aire, así que el aire debería disminuir. El experimento del mercurio de Lavoisier mostró que el aire disminuía, en tanto peso como ganaba el metal.

2. Los antiguos contaban el aire como uno de los cuatro elementos. ¿Qué mostró sobre esto el experimento de Lavoisier?

Pista: Piense en los dos gases distintos que salieron del experimento.

Respuesta: El aire no es una sola cosa simple sino una mezcla de dos gases: oxígeno, que se une a los metales y mantiene los fuegos, y nitrógeno, que no hace ni una cosa ni otra. Al mezclarlos de nuevo se vuelve a obtener aire corriente.

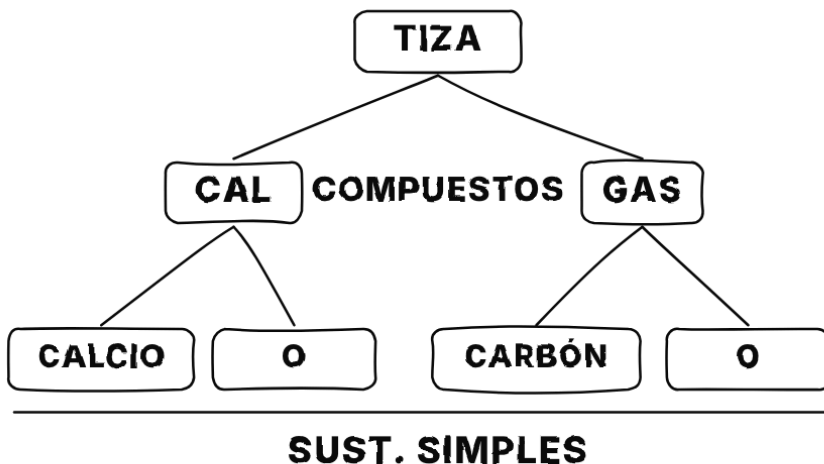
3. ¿Por qué los alquimistas, con toda su habilidad, no encontraron leyes de la química?

Pista: Piense en lo que rara vez hacían, y en el tipo de preguntas que hacían.

Respuesta: Rara vez pesaban, así que no podían ver que la plata solo se sacaba del plomo y no se hacía de él, y no hacían preguntas simples y claras cuyas respuestas les permitieran avanzar. Aun así, sus muchos experimentos dejaron a la química una riqueza de hechos nuevos.

Los ladrillos que nunca cambian

Caliente mucho un trozo de tiza, y se deshace en cal viva y un gas, el mismo gas que forma el carbón cuando arde. Ahora deje esa cal en el gas con un poco de agua, a temperatura corriente, y vuelve a obtener una sustancia pétrea igual que la tiza. Así que la tiza no es en absoluto una materia básica: se puede desmontar y volver a montar. Pero ¿son básicas sus dos partes? Tampoco: el gas es carbón unido a oxígeno, y la cal es un metal especial, el calcio, unido a oxígeno. La pregunta de Mendeléyev es sencilla: si seguimos desmontando cosas así, ¿dónde nos detenemos?



Desmontar la tiza

Nos detenemos en sustancias que ningún medio puede partir en dos o más otras, y que tampoco se pueden construir a partir de ninguna otra cosa. Solo pueden unirse entre sí, o actuar sobre otros cuerpos.

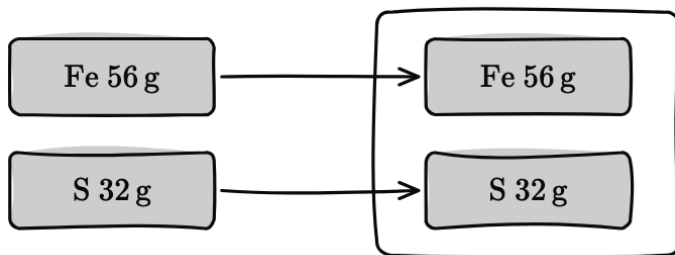
Mendeléyev las llama sustancias simples, y a todas las demás, sustancias compuestas. Esta división de todas las sustancias homogéneas en simples y compuestas viene de Lavoisier y se ha quedado en la ciencia desde entonces. Piense en una casa de Lego: se puede desmontar en paredes, las paredes en piezas, pero en la pieza suelta se acaba el desmontaje.

Hay notablemente pocas sustancias simples comparadas con los compuestos sin fin que forman. En tiempos de Mendeléyev se conocían con certeza unas setenta y cinco, y varias de ellas son raras o solo aparecen en cantidades diminutas. Aquellas con cuyos compuestos tratamos en la vida diaria no pasan de unas veinticinco.

≈ 75 SUSTANCIAS SIMPLES UNAS 25 A DIARIO

ANTES

después: FeS



$$\text{Fe} : 56 = 56$$

$$\text{S} : 32 = 32$$

Cada sustancia simple cuadra

Y aquí está la respuesta al sueño de los alquimistas. Las sustancias simples no se transforman unas en otras; nadie lo ha visto nunca. A pesar de un esfuerzo enorme, no se ha encontrado ningún hecho que sugiera que sustancias simples bien conocidas como el oxígeno, el hierro o el azufre estén hechas a su vez de algo más simple. Así que un metal no puede convertirse en otro.

Junte esto con la regla de que nada se crea ni se pierde, y se deduce algo más fuerte. Como una sustancia simple no se puede ni crear ni descomponer, la cantidad de cada una se mantiene igual en todo cambio químico. Ya no es solo el peso total lo que cuadra: cada sustancia simple cuadra por su cuenta. Todo el hierro, oxígeno o azufre que haya en las sustancias de partida es exactamente lo que se

encontrará, repartido de otro modo, en las sustancias finales. Así que, dice Mendeléyev, el corazón de la química es averiguar a qué está unida cada sustancia simple, y cómo, antes de un cambio y después de él. Un banco funciona igual: el dinero pasa de cuenta en cuenta, pero cada euro se puede rastrear, y el total en cada moneda nunca cambia.

Para escribir esos cambios de forma breve, los químicos acordaron una taquigrafía. Cada sustancia simple recibe una o dos letras de su nombre latino: el oxígeno, de oxygenium; el nitrógeno, de nitrogenium; el mercurio, de hydrargyrum; el hierro, de ferrum. Un compuesto se escribe poniendo juntas las letras de sus sustancias simples, así que el óxido rojo de mercurio se escribe con las letras del mercurio y del oxígeno juntas. Cada letra representa además un peso relativo definido de esa sustancia simple, su peso atómico. Así que una fórmula escrita no solo dice de qué está hecho un compuesto, sino cuánto hay de cada cosa. Para la sal de mesa, hecha de sodio y cloro, la fórmula muestra que de cada cien gramos, unos dos quintos son sodio y tres quintos son cloro. Y todo cambio químico se puede escribir como una especie de ecuación, en la que la cantidad de cada sustancia simple debe salir igual en los dos lados.

O OXYGENIUM



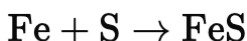
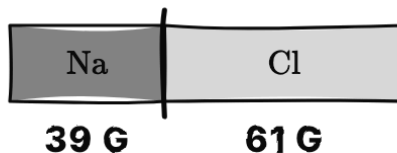
N NITROGENIUM

ÓXIDO ROJO

Hg HYDRARGYRUM



Fe FERRUM



Letras de nombres latinos

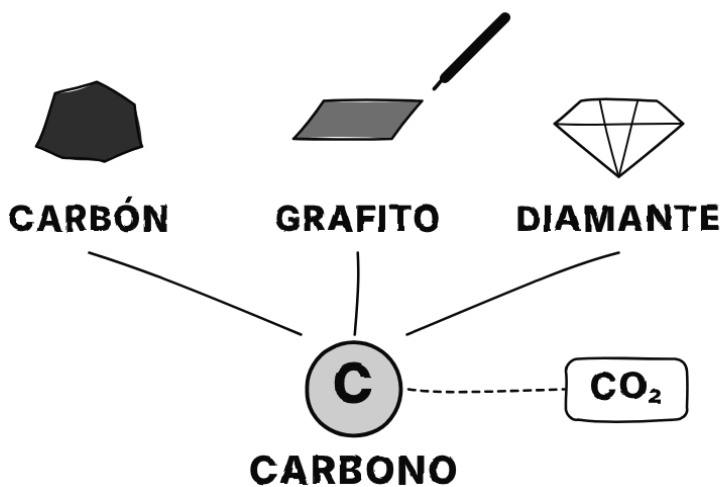
Esto pone un primer límite al cambio químico: de unas sustancias dadas solo se pueden obtener aquellas que contienen exactamente las mismas sustancias simples. Aun así, dentro de ese límite, el número de compuestos posibles no tiene fin. Cualquiera que empiece a trabajar en un laboratorio puede hacer fácilmente un compuesto nuevo que nadie ha hecho antes, y la ciencia a menudo prevé esos compuestos nuevos de antemano. El objetivo de la química es encontrar el orden oculto en esta enorme variedad, las leyes que gobiernan cómo se forman los compuestos y qué propiedades tienen.

Ahora llega una distinción fina pero importante. Cuando decimos que el óxido rojo de mercurio contiene oxígeno, no queremos decir que el gas oxígeno esté sentado dentro del polvo rojo. Solo queremos decir lo

que el polvo puede hacer: que puede ceder mercurio y oxígeno, y pasárselos a otros cuerpos. En resumen, la composición de un compuesto describe los cambios de que es capaz. Así que el óxido rojo no contiene dos sustancias simples, un metal líquido y un gas, sino dos elementos, la materia del mercurio y la materia del oxígeno. Es, dice Mendeléyev, como el vapor, que contiene la materia del hielo pero no el hielo mismo, o el pan, que contiene la materia del grano pero no el grano. El azúcar de su cocina funciona igual: contiene el elemento carbono, pero no hay ningún trozo de carbón escondido en el azucarero.

Un elemento puede incluso conocerse antes de que nadie haya visto su sustancia simple. Durante mucho tiempo nadie había obtenido el flúor solo, y sin embargo había que contarle como elemento, porque se conocían sus compuestos con otras sustancias y no se parecían claramente a ningún otro.

La diferencia se ve con más claridad en el carbono. El carbón vegetal, el grafito y el diamante son tres sustancias simples distintas: una negra y quebradiza, otra gris y resbaladiza, otra transparente y la más dura de todas. Y sin embargo las tres son el mismo elemento, el carbono. Ese mismo carbono está en el gas que se forma al quemar carbón, y sin embargo ese gas no contiene ni carbón, ni grafito, ni diamante. Una sustancia simple puede presentarse en varias formas; el elemento es lo que sigue igual debajo de todas ellas. La mina de lápiz de su cajón y la piedra de un anillo de diamante son, en el fondo, el mismo elemento.



Tres cuerpos, un carbono

Para recordar

Desmontando sustancias llegamos a sustancias simples, que no se pueden ni partir ni construir a partir de otra cosa; todas las demás son compuestos. Solo se conocían unas setenta y cinco sustancias simples, y nunca se ha visto que una se convierta en otra, así que un metal no puede volverse otro. Por eso la cantidad de cada sustancia simple se mantiene igual en todo cambio, y la química sigue adónde va cada una. Una fórmula química, hecha con letras latinas que representan cada una un peso definido, muestra a la vez qué contiene un compuesto y cuánto. Un elemento no es la sustancia simple misma sino la materia inmutable que comparte con sus compuestos: el carbón, el grafito y el diamante son tres cuerpos y un solo elemento, el carbono.

Preguntas

1. La tiza se divide en cal y un gas, pero ni la cal ni el gas cuentan como sustancia simple. ¿Por qué no?
 - a. Porque ambos solo se encuentran en la naturaleza, nunca en un laboratorio.
 - b. Porque ambos se pueden partir a su vez: el gas en carbón y oxígeno, la cal en calcio y oxígeno.
 - c. Porque ambos pesan más que la tiza de la que salieron.
 - d. Porque un gas nunca puede ser una sustancia simple.

2. ¿Por qué la cantidad de cada sustancia simple debe mantenerse igual en todo cambio químico?
- a. Porque las sustancias simples nunca participan en reacciones.
 - b. Porque los químicos siempre las pesan con mucho cuidado.
 - c. Porque una sustancia simple no se puede ni crear ni descomponer, y la materia nunca se pierde.
 - d. Porque todas las sustancias simples pesan lo mismo.
3. ¿Qué significa decir que el óxido rojo de mercurio contiene oxígeno?
- a. Que puede ceder mercurio y oxígeno y pasárselos a otros cuerpos, no que haya gas oxígeno dentro.
 - b. Que dentro del polvo rojo hay atrapadas burbujitas de gas oxígeno.
 - c. Que el polvo se convertirá poco a poco en oxígeno si se deja al aire.
 - d. Que el polvo es una mezcla de mercurio líquido y gas oxígeno.
4. El carbón, el grafito y el diamante se ven y se comportan de forma muy distinta. ¿Cómo los encaja Mendeléyev?
- a. Son tres elementos distintos que resultan ser negros o transparentes.
 - b. Son compuestos de carbono con distintas cantidades de oxígeno.
 - c. Solo el diamante es una sustancia simple; los otros dos son mezclas.

- d. Son tres sustancias simples distintas de un mismo elemento, el carbono.

Respuestas

1. **b)** Una sustancia simple es la que no se puede partir en otras; el gas es carbón unido a oxígeno y la cal es calcio unido a oxígeno, así que los dos siguen siendo compuestos.
2. **c)** Uniendo la regla de que nada se crea ni se pierde con el hecho de que las sustancias simples no se pueden fabricar ni partir, cada una debe salir de un cambio exactamente en la cantidad en que entró.
3. **a)** La composición de un compuesto describe los cambios que puede sufrir; el óxido contiene el elemento oxígeno, no el gas mismo, igual que el vapor contiene la materia del hielo pero no el hielo.
4. **d)** Una sustancia simple puede presentarse en varias formas, mientras el elemento que hay debajo sigue igual: el carbón, el grafito y el diamante son tres cuerpos y un solo elemento.

Ejemplos resueltos

Lo que dice una fórmula sobre la sal de mesa La sal de mesa está hecha de sodio y cloro, una parte de cada uno, y las partes pesan 23 el sodio y 35,5 el cloro. ¿Qué parte de cada cien gramos de sal es sodio, y qué parte es cloro?

Una parte de sodio y una de cloro juntas pesan 23 más 35,5, es decir, 58,5.

La parte del sodio en el total es 23 de 58,5, unos 39,3 de cada cien.

La parte del cloro es 35,5 de 58,5, unos 60,7 de cada cien.

Las dos partes juntas forman el cien entero, como debe ser.

Respuesta: Unos 39,3 gramos de sodio y 60,7 gramos de cloro por cada 100 gramos de sal.

Ejercicios

1. Un alquimista afirma que puede hacer oro con una mezcla de hierro y azufre. Usando la idea de sustancias simples, explique por qué no puede.

Pista: ¿Qué sustancias simples hay en aquello con lo que empieza?

Respuesta: De unas sustancias dadas solo se pueden obtener aquellas que contienen exactamente las mismas sustancias simples. El hierro y el azufre no contienen oro, y las sustancias simples nunca se transforman unas en otras, así que no puede salir oro.

2. Durante mucho tiempo nadie había obtenido el flúor solo. ¿Por qué se le contaba aun así como elemento?

Pista: Piense en lo que los químicos sí sabían del flúor.

Respuesta: Se conocían sus compuestos con otras sustancias simples, y no se parecían claramente a ningún otro compuesto. Eso mostraba que en ellos había una materia inmutable, un elemento, incluso antes de obtener la sustancia simple misma.

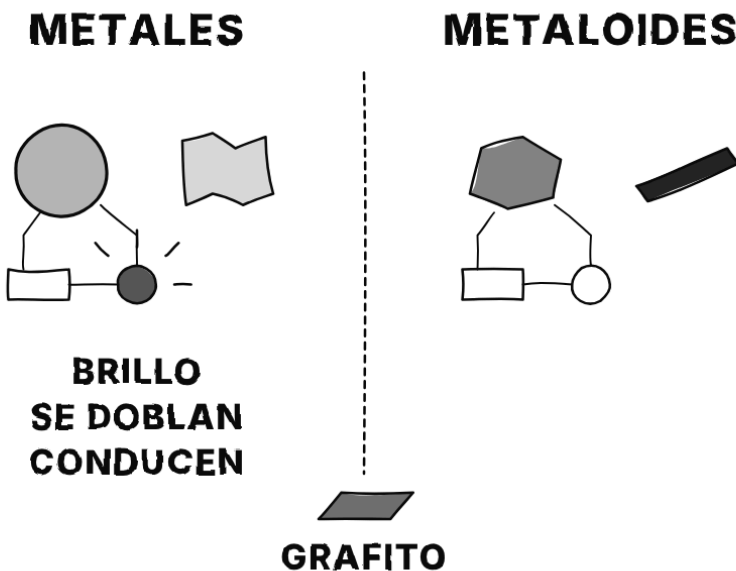
3. Explique con sus palabras la diferencia entre una sustancia simple y un elemento, usando el vapor y el hielo, o el pan y el grano.

Pista: Pregunte qué hay realmente dentro del compuesto.

Respuesta: Una sustancia simple es un cuerpo real que se puede sostener, como el metal mercurio o el gas oxígeno. Un elemento es la materia de ese cuerpo tal como está presente en los compuestos: el óxido rojo de mercurio contiene los elementos mercurio y oxígeno, pero no el metal líquido ni el gas, igual que el vapor contiene la materia del hielo pero no hielo, y el pan la materia del grano pero no granos.

Pasar lista a las sustancias simples

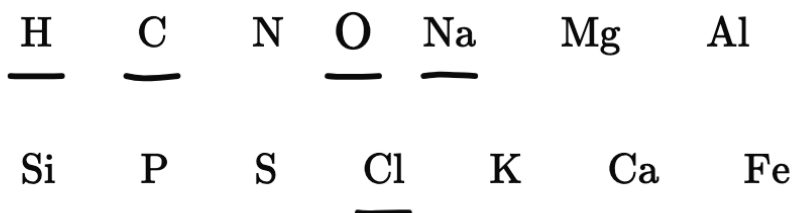
Ponga sobre una mesa un puñado de cosas: una moneda de cobre, un trozo de azufre, una barrita de carbón, un pedazo de papel de aluminio. Golpee cada una, levántela a la luz, tóquela con los polos de una pila con una bombilla en medio. La moneda y el papel de aluminio brillan, se doblan sin romperse, se notan fríos y llevan la corriente; el azufre y el carbón no hacen nada de esto tan bien. Esa es la primera clasificación aproximada que Mendeléyev ofrece entre las sustancias simples.



Muchas sustancias simples, aunque no todas, tienen un brillo especial, no dejan pasar la luz, se pueden batir en láminas finas y conducen muy bien el calor y la electricidad. Esos son los metales, y sus mezclas entre sí, las aleaciones, comparten los mismos rasgos. Las sustancias simples sin estos signos físicos se llaman metaloides, nombre que en tiempos de Mendeléyev significaba no metales. En los casos claros las dos clases se distinguen fácilmente, como el cobre y el azufre. Pero en muchos casos particulares la diferencia es borrosa, y por eso, advierte Mendeléyev, no puede servir como forma exacta de dividir las sustancias simples en dos grupos. El grafito de un lápiz es un buen ejemplo: no es en absoluto un metal, pero tiene un brillo gris y conduce la electricidad lo bastante bien como para usarse en pilas.

Luego Mendeléyev pasa lista. En su época se reconocían unas ochenta sustancias simples, aunque de unas seis el conocimiento era todavía escaso, porque son tan raras y se habían obtenido en cantidades tan diminutas. Solo un pequeño número de ellas forma los cuerpos corrientes de la naturaleza, y son las mejor estudiadas, simplemente porque mucha gente podía trabajar con ellas.

≈ 80 CONOCIDAS



Las catorce más comunes

Las más extendidas son unas catorce. El hidrógeno está en el agua y en los seres vivos; el carbono, en los seres vivos, el carbón mineral y la caliza; el nitrógeno, en el aire y en los seres vivos. El oxígeno está en el aire, el agua y la tierra, y su masa total es la mayor de todas. Luego vienen el sodio, en la sal de mesa; el magnesio, en el agua de mar; el aluminio, en la arcilla; el silicio, en la arena; el fósforo, en los huesos y la ceniza vegetal; el azufre, en el yeso y el agua de mar; el cloro, en la sal; el potasio, en el salitre y la ceniza vegetal; el calcio, en la caliza; y el hierro, en el suelo, los minerales y los seres vivos. Un vaso de agua del grifo, una pizca de sal y un lápiz ya le ponen en las manos cinco de ellas: hidrógeno, oxígeno, sodio, cloro y carbono.

Un segundo grupo es menos común en la naturaleza pero muy usado en la vida diaria y la industria. Aquí están el cobre, el cinc del latón y de las pilas galvánicas, el níquel para recubrir otros metales, la plata, el estaño, el platino, el oro, el mercurio y el plomo. Aquí también están el litio y el yodo, usados en medicina y fotografía, el bromo, un líquido pardo y volátil, y el arsénico, cuyo compuesto blanco es un veneno. Otros de este grupo dan color: el cobalto da vidrio azul, el cadmio una pintura amarilla, y el estroncio el rojo de los fuegos artificiales. La batería recargable de su teléfono funciona con litio, una de las sustancias de la lista de Mendeléyev de cosas que se usan en la vida diaria.

DE USO DIARIO

Cu Zn Ni Ag Sn Pt Au Hg Pb Li

MÁS RAROS

Ti V W U Ga Ge Cs

GASES INERTES

SIN COMPUESTOS

He Ne Ar Kr Xe

RADIATIVOS

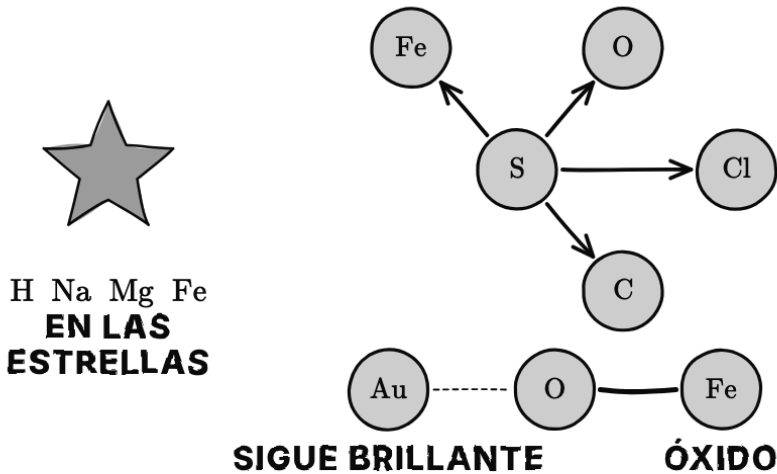
Ac Po Ra

Usadas, raras, inertes, radiactivas

Un tercer grupo es bien conocido y aparece con bastante frecuencia, aunque en pequeñas cantidades y con menos usos: el titanio, el vanadio, el wolframio, el uranio y otros. Un cuarto es aún más raro, investigado con cierto detalle pero todavía sin uso práctico: el galio, el germanio, el cesio y una multitud de otros. Luego viene un grupo llamativo de gases descubiertos por Ramsay, presentes en pequeñas cantidades en el aire: el helio, el neón, el argón, el criptón y el xenón. Se diferencian de todos los demás en que nadie había logrado que formaran un solo compuesto con ningún otro elemento. Había también alguna razón para contar los metales actinio, polonio y radio, este último descubierto por madame Curie, hallados en las llamadas sustancias radiactivas mezcladas en pequeñas cantidades con minerales de uranio y torio. Además de estos se enumeraban algunos más, pero eran tan raros que ni siquiera estaba claro si algunos eran realmente distintos. El letrero de neón sobre una tienda y el argón dentro de muchas bombillas usan estos gases precisamente porque apenas reaccionan con nada.

¿Se encuentran las sustancias simples solo en la Tierra? No: estudiando la luz de estrellas lejanas, los científicos habían demostrado que muchas de las sustancias simples más comunes, como el hidrógeno, el sodio, el magnesio y el hierro, están también allí. Así que los mismos ladrillos llegan muy lejos por el universo. Por qué algunas son mucho más abundantes que otras, dice Mendeléyev, nadie lo sabía aún.

AFINIDAD



Los mismos ladrillos, distinto apetito

Lo que distingue a cada elemento es su disposición a combinarse con otros, formando compuestos más o menos estables que pueden unirse en otros aún más complejos. El azufre se combina fácilmente con los metales, con el oxígeno, con el cloro y con el carbono. La plata y el oro se combinan a disgusto, y muchos de sus compuestos son débiles y se deshacen al calentarse. La causa que empuja a las sustancias al cambio químico, y que luego mantiene unidos los distintos elementos en su compuesto, se llama afinidad, o afinidad química. Las joyas de oro siguen brillantes durante siglos mientras una verja de hierro se oxida en un solo invierno: esa es la diferencia de afinidad, sentida en la vida diaria.

¿Qué clase de fuerza es la afinidad? Solo atrae, como la gravedad, y por eso algunos científicos, entre ellos Bergman y Berthollet, pensaron que podía ser la gravedad misma, solo que actuando a las distancias más diminutas. Pero la gravedad depende solo de las masas y la distancia, mientras que la afinidad depende mucho de qué sustancias son. Tampoco es lo mismo que la cohesión, la fuerza que mantiene unida una sola sustancia, da a un cristal su forma y hace que un líquido forme gotas, porque la afinidad actúa entre sustancias distintas. Ni es la adherencia que hace que dos placas pulidas se peguen, o que el agua moje el vidrio: cuando las cosas se pegan, cada una sigue siendo ella misma, pero en un cambio químico una sustancia entra en la otra y se forma algo nuevo. Esas fuerzas de adherencia, que actúan solo en contacto pleno, son una especie de puente entre las fuerzas mecánicas y las químicas.

Durante mucho tiempo, sobre todo en la primera mitad del siglo diecinueve, se pensó que las fuerzas químicas eran eléctricas. Hay un vínculo estrecho: los cambios químicos producen electricidad, y una corriente eléctrica puede partir compuestos. Pero el calor está unido a la química igual de estrechamente, ya que las reacciones desprenden calor y el calor puede partir sustancias. Eso solo muestra la unidad de las fuerzas de la naturaleza, cómo una puede dar lugar a otra; y la teoría eléctrica no resistió la prueba.

La naturaleza de la fuerza química sigue tan oculta, dice Mendeléyev, como la naturaleza de la gravedad. Pero la astronomía aprendió a predecir el cielo con detalle sin saber qué es la gravedad, y del mismo modo hay esperanza para la química a través de la teoría del calor, el mejor comprendido de todos los fenómenos moleculares. Este campo joven, que Mendeléyev prefiere llamar mecánica química, todavía se está elaborando. Supone que ya se conocen las sustancias, sus

cambios y lo que los acompaña, y por eso solo puede venir después de las ideas y sustancias básicas de la química, que son el objetivo principal de su libro.

Para recordar

Los metales brillan, se doblan y conducen el calor y la electricidad, y los metaloides carecen de estos signos, pero la línea entre ellos es borrosa y no puede clasificar exactamente las sustancias simples. Se conocían unas ochenta sustancias simples, y un pequeño número de ellas, con el oxígeno como la más abundante, forma la mayor parte de la naturaleza, mientras otras sirven a la industria y la medicina. Las mismas sustancias simples se encuentran en estrellas lejanas, así que llegan muy lejos por el universo. Cada elemento se distingue por su disposición a combinarse, y la fuerza que hay detrás, la afinidad química, no es la gravedad, ni la cohesión, ni la adherencia, ni la electricidad. Su naturaleza sigue oculta, y su estudio, la mecánica química, tiene que venir después de conocer las propias sustancias.

Preguntas

1. ¿Por qué dice Mendeléyev que la división en metales y metaloides no puede clasificar exactamente las sustancias simples?
 - a. Porque los metales y los metaloides pesan lo mismo.

- b. Porque solo se conocían unas pocas sustancias simples.
 - c. Porque en muchos casos particulares la diferencia de brillo, maleabilidad y conducción es borrosa.
 - d. Porque los metaloides se pueden convertir en metales calentándolos.
2. ¿Qué mostró el estudio de la luz de estrellas lejanas sobre las sustancias simples?
- a. Que sustancias simples comunes como el hidrógeno, el sodio y el hierro están también allí.
 - b. Que las estrellas están hechas de sustancias simples totalmente distintas.
 - c. Que las sustancias simples se transforman unas en otras dentro de las estrellas.
 - d. Que en las estrellas solo existen gases.
3. ¿Por qué la afinidad química no puede ser simplemente la gravedad actuando a distancias pequeñas?
- a. Porque la afinidad separa las sustancias, mientras que la gravedad atrae.
 - b. Porque la gravedad solo actúa en la Tierra.
 - c. Porque la afinidad solo actúa a la luz del sol.
 - d. Porque la gravedad depende solo de la masa y la distancia, mientras que la afinidad depende mucho de qué sustancias se encuentran.
4. ¿Qué separa un cambio químico de dos placas pulidas que se pegan?
- a. Pegarse necesita calor, el cambio químico no.

- b. En un cambio químico una sustancia entra en la otra y se forma algo nuevo; al pegarse, cada una sigue siendo ella misma.
- c. Pegarse solo ocurre entre metales.
- d. No hay diferencia: las dos cosas son afinidad.

Respuestas

- 1. **c)** En casos claros como el cobre y el azufre las dos clases se distinguen fácilmente, pero en muchos casos los signos son borrosos, así que la división es solo aproximada.
- 2. **a)** La luz de estrellas lejanas mostró allí también las sustancias simples terrestres más comunes, así que los mismos ladrillos llegan muy lejos por el universo.
- 3. **d)** A la gravedad no le importa de qué está hecho un cuerpo; a la afinidad sí: el azufre se combina con ganas, el oro a disgusto.
- 4. **b)** Cuando las cosas se adhieren, cada una sigue siendo lo que era; en un cambio químico una sustancia penetra en la otra y se forma una sustancia nueva.

Ejercicios

- 1. Un amigo dice que las fuerzas químicas deben ser eléctricas, ya que las pilas hacen electricidad con sustancias químicas y una corriente puede partir compuestos. ¿Qué respondería Mendeléyev?

Pista: Piense en cómo el calor está unido también al cambio químico.

Respuesta: El vínculo es real, pero el calor está unido igual de estrechamente: las reacciones desprenden calor, y el calor puede partir sustancias. Estos vínculos muestran la unidad de las fuerzas de la naturaleza, cómo una da lugar a otra, no que la fuerza química sea electricidad; la teoría eléctrica fracasó al ponerla a prueba.

2. Los anillos de oro siguen brillantes durante siglos, mientras que el hierro se oxida enseguida. Explíquelo con la idea de afinidad.

Pista: Compare con qué facilidad se combina cada metal con otros elementos.

Respuesta: Cada elemento se distingue por su disposición a combinarse. El hierro se combina fácilmente con el oxígeno del aire y se oxida, mientras que el oro se combina a disgusto y sus compuestos son débiles, así que el oro sigue como está.

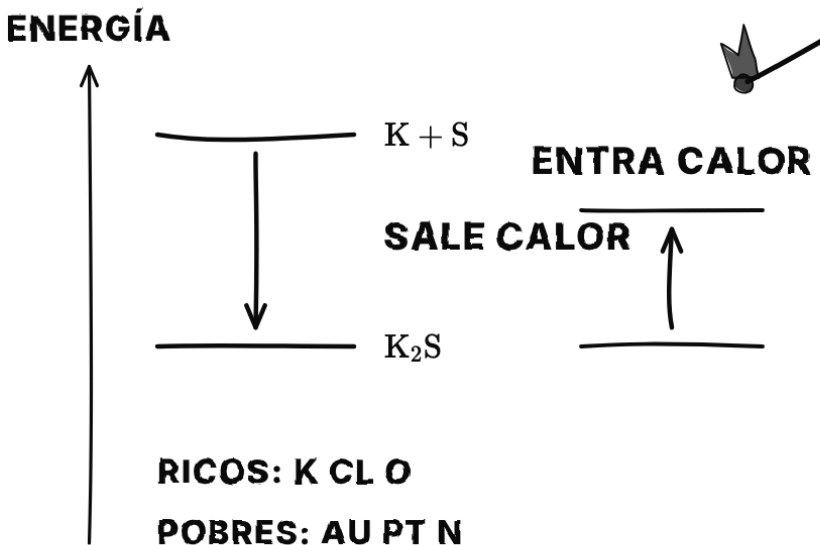
3. ¿Por qué Mendeléyev pone la mecánica química después del estudio de las sustancias, y no al principio?

Pista: ¿Qué da por sabido la mecánica química?

Respuesta: La mecánica química estudia las fuerzas y la energía que hay detrás del cambio químico, y supone que ya se conocen las sustancias, los cambios que sufren y lo que los acompaña. Así que solo puede venir después de las ideas y sustancias básicas de la química.

La energía guardada en las sustancias

Encienda una cerilla. Por un momento parece que no pasa nada, luego salta una llama y da calor y luz que un segundo antes no se veían por ninguna parte. ¿Dónde estaban escondidos? La respuesta de Mendeléyev es que las sustancias llevan una reserva oculta de energía, y que todo cambio químico gasta una parte o la repone.



La reserva oculta de energía

Su razonamiento va así. Los cambios químicos vienen de fuerzas dentro de las sustancias, y siempre implican el movimiento de partículas diminutas. La física había mostrado que la energía nunca se

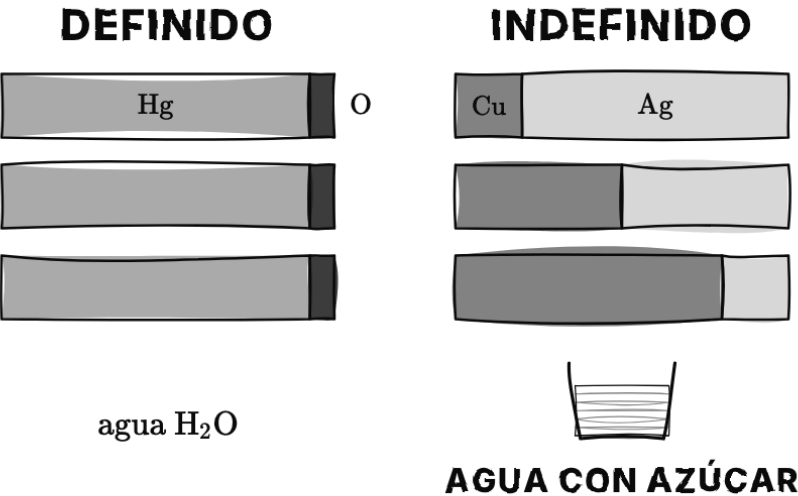
pierde, solo pasa de una forma a otra. Así que las sustancias, y los elementos en particular, deben guardar una reserva de energía química, una especie de movimiento invisible que las empuja a reaccionar. Cuando una reacción desprende calor, parte de esa energía química se ha convertido en calor. Cuando una reacción absorbe calor, parte de ese calor se ha guardado como energía química. La batería de un teléfono es exactamente una reserva así: cargarla mete energía en sus sustancias, y usar el teléfono deja que las sustancias la gasten de nuevo.

Tras varias combinaciones que desprenden calor, un compuesto puede haber gastado la mayor parte de su reserva y volverse perezoso, reacio a reaccionar. Pero incluso un compuesto tan cansado a veces puede unirse con una sustancia enérgica y formar un cuerpo nuevo, aún más complejo, dispuesto otra vez a reaccionar. Entre las sustancias simples, el oro, el platino y el nitrógeno tienen poca energía, mientras que el potasio, el cloro y el oxígeno tienen muchísima. Cuando se combinan dos sustancias muy distintas, el producto suele tener menos energía que cualquiera de ellas. El potasio y el azufre, una vez calentados, arden fácilmente los dos en el aire. Pero el compuesto de ambos, aunque todavía puede tomar oxígeno, no arde en el aire como sus partes, porque gran parte de su energía se fue como calor al unirse. Igual que se absorbe o se desprende calor cuando el hielo se funde o el agua se congela, todo cambio químico altera la reserva de energía química, y el calor entra o sale con ello.

¿Qué hace falta saber, entonces, para entender la química como una especie de mecánica, para seguir cómo transcurren las reacciones? Mendeléyev nombra cinco cosas. Primera, la estequiometría, la parte de la química que estudia las proporciones, en peso y en volumen, en que reaccionan las sustancias. Segunda, las distintas clases y tipos de

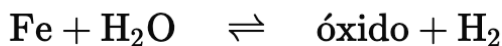
interacción química. Tercera, cómo cambian las propiedades cuando cambia la composición. Cuarta, los fenómenos que acompañan al cambio químico. Y quinta, las condiciones en que ocurren las reacciones.

De estas, la estequiometría es con mucho la mejor elaborada. Sus leyes, halladas por Dalton, por Avogadro y Gerhardt y otros, atraviesan tan a fondo todas las partes de la química que Mendeléyev llama a toda su época la era de aplicarlas a casos particulares. Por eso el resto de su libro sigue las leyes de las proporciones. Incluso dieron lugar a una nueva forma de clasificar los compuestos en definidos e indefinidos.



A principios del siglo diecinueve, Berthollet todavía no hacía esa distinción. Luego Proust mostró que muchísimos compuestos contienen sus partes en una proporción en peso perfectamente fija, que no cambia en ninguna condición. El óxido rojo de mercurio es un ejemplo: siempre contiene mercurio y oxígeno en la misma proporción fija, que expresa su fórmula. En una aleación de cobre y plata, en cambio, se puede añadir tanto de cualquiera de los dos metales como se quiera, igual que se puede hacer el agua con azúcar tan dulce o tan floja como se desee, y aun así se obtiene un todo uniforme. Esos son compuestos indefinidos. Las aleaciones y las soluciones importan igual en la naturaleza, en los laboratorios y en las fábricas, pero como las leyes de las proporciones se habían aplicado sobre todo a los compuestos definidos, el conocimiento de los indefinidos era todavía escaso. El café con azúcar es una mezcla indefinida que se ajusta al gusto; el agua que contiene, siempre los mismos dos elementos en la misma proporción, es un compuesto definido.

Para la mecánica química también es vital distinguir las reacciones reversibles de las irreversibles. La sal se disuelve en agua a temperatura ambiente, y a esa misma temperatura la solución puede devolver la sal al evaporarse el agua. El hierro, a cierto calor, quita el oxígeno al agua y libera hidrógeno; pero a ese mismo calor el hidrógeno puede recuperar el oxígeno y dar de nuevo hierro y agua. Cuando una reacción puede ir en los dos sentidos, empezando por cualquier lado se acaba con todas las sustancias juntas, en un balance, un equilibrio químico. Añada más de una sustancia, y el balance se desplaza, así que las reacciones reversibles permiten a los químicos estudiar cómo la cantidad de una sustancia dirige un cambio.



EQUILIBRIO

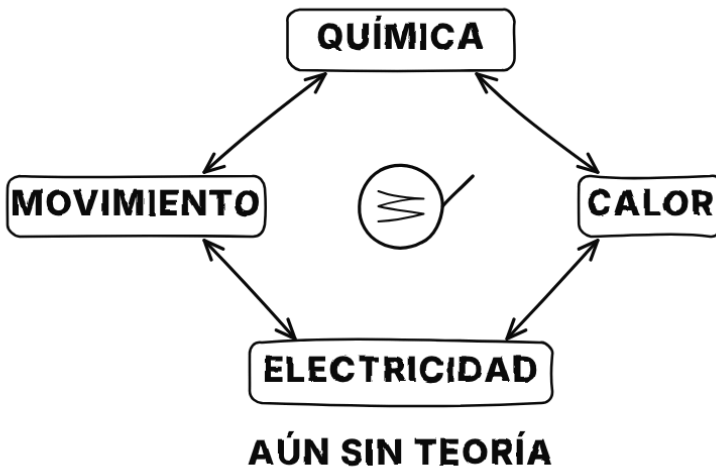
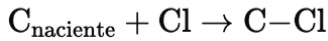


En los dos sentidos, o en uno

Otras reacciones van solo en un sentido. Muchas sustancias complejas de plantas y animales se deshacen con el calor, y sus trozos nunca vuelven a unirse a ninguna temperatura. La pólvora, una mezcla de salitre, azufre y carbón, arde en gases y humo que nunca vuelven a ser pólvora. Un pastel horneado es irreversible justamente en este sentido: ningún ajuste del horno lo volverá a convertir en harina, huevos y azúcar.

Incluso cuando dos sustancias no se combinan directamente, puede haber un camino indirecto. El cloro no reacciona con el carbón, el grafito ni el diamante, y sin embargo existen muchos compuestos firmes de cloro y carbono. Se hacen dejando que el cloro actúe sobre compuestos de carbono e hidrógeno: el cloro arranca el hidrógeno, y

el carbono, liberado en ese mismo instante, se une a parte del cloro. Los químicos lo explican diciendo que una sustancia en el momento de liberarse, en estado naciente, está especialmente dispuesta a combinarse.



Las fuerzas se convierten unas en otras

Por último, los cambios químicos producen movimiento, calor, luz, tensión eléctrica y corriente, y todo esto, a su vez, puede cambiar las reacciones químicas. Este tráfico en los dos sentidos es natural, dice Mendeléyev, porque todos los fenómenos de la naturaleza son solo distintas clases de movimiento, visible o invisible. El sonido y luego la luz resultaron ser vibraciones. El vínculo entre el calor y el trabajo mecánico se hizo seguro, y se halló que una cantidad fija de trabajo corresponde a cada unidad de calor. Y una dinamo, como la máquina

de Gramme, da corriente cuando se la hace girar, mientras que si se le hace pasar corriente, gira. Una bicicleta eléctrica muestra el mismo vínculo en los dos sentidos: su motor mueve las ruedas con la batería, y en algunos modelos al frenar el motor se vuelve dinamo y vuelve a cargar la batería.

Así que la mecánica química debe construirse sobre estos vínculos entre la química, la física y la mecánica. Pero Mendeléyev es franco: como el tema es tan complejo y tan nuevo, todavía no tiene una teoría ordenada, ni siquiera una hipótesis satisfactoria. Por eso lo deja a la química física como rama separada de la ciencia, y no se detiene en ello en su libro.

Para recordar

Las sustancias guardan una reserva de energía química, un movimiento oculto que las empuja a reaccionar, y toda reacción cambia esa reserva, desprendiendo o absorbiendo calor. Algunas sustancias simples, como el potasio, el cloro y el oxígeno, son ricas en energía, y otras, como el oro, el platino y el nitrógeno, pobres, mientras que los compuestos de sustancias distintas suelen ser menos enérgicos que sus partes. Las leyes de las proporciones, la parte mejor desarrollada de la química, separan los compuestos definidos de composición fija de los indefinidos, como las aleaciones y las soluciones. Algunas reacciones pueden ir en los dos sentidos y llegar a un equilibrio, otras solo en uno, y sustancias que no se unen directamente pueden unirse en estado naciente. Los fenómenos químicos, térmicos, eléctricos y mecánicos se convierten unos en otros, pero la mecánica química todavía no tiene una teoría satisfactoria.

Preguntas

1. El potasio y el azufre arden fácilmente en el aire, pero su compuesto no. ¿Por qué?
 - a. Porque el compuesto ya no contiene potasio ni azufre.
 - b. Porque gran parte de su energía química se fue como calor al combinarse.
 - c. Porque el compuesto es demasiado pesado para arder.
 - d. Porque el aire no puede llegar al interior del compuesto.
2. ¿Qué hace del óxido rojo de mercurio un compuesto definido, y de una aleación de cobre y plata uno indefinido?
 - a. El óxido siempre contiene sus partes en la misma proporción fija, mientras que la aleación se puede hacer en cualquier proporción.
 - b. El óxido es rojo y la aleación es plateada.
 - c. El óxido se puede descomponer, mientras que la aleación no se puede separar en absoluto.
 - d. El óxido se encuentra en la naturaleza, la aleación solo en las fábricas.
3. ¿Qué pasa en una reacción reversible si se empieza por cualquiera de los dos lados?
 - a. La reacción se detiene en cuanto empieza.
 - b. Solo aparecen los productos, nunca las sustancias iniciales.
 - c. Todas las sustancias acaban presentes juntas en un balance.
 - d. Las sustancias se convierten en un compuesto indefinido.

4. El cloro no reacciona con el carbón, el grafito ni el diamante.
¿Cómo se pueden hacer aun así compuestos de cloro y carbono?
- Calentando cloro con diamante hasta que se funde.
 - Haciendo pasar una corriente eléctrica por el carbón.
 - Mezclando cloro con pólvora quemada.
 - Dejando que el cloro actúe sobre compuestos de carbono e hidrógeno, para que el carbono liberado se una al cloro en estado naciente.

Respuestas

- 1. b)** Cuando se combinan sustancias distintas, parte de su reserva de energía se desprende como calor, así que el producto tiene menos energía que sus partes.
- 2. a)** Proust mostró que muchos compuestos tienen una proporción fija en peso que nunca cambia, mientras que en una aleación o una solución las cantidades se pueden variar libremente.
- 3. c)** Como la reacción puede ir en los dos sentidos, empezando por cualquier pareja se acaba con todas las sustancias juntas, un equilibrio químico.
- 4. d)** El cloro se lleva el hidrógeno, y el carbono, liberado en ese momento, está especialmente dispuesto a combinarse y se une a parte del cloro.

Ejercicios

- 1.** Una reacción desprende mucho calor. ¿Qué le ha pasado, en términos de Mendeléyev, a la energía química de las sustancias?

Pista: La energía no se pierde ni se crea, solo cambia de forma.

Respuesta: Parte de la reserva de energía química de las sustancias se ha convertido en calor. Por eso los productos contienen menos energía

química que las sustancias iniciales, y para invertir el cambio habría que volver a poner esa energía.

2. Dé un ejemplo de cambio reversible y otro de irreversible de la lección, y explique la diferencia.

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

Respuesta: La sal que se disuelve en agua es reversible: a la misma temperatura, la evaporación devuelve la sal y el agua. La pólvora que arde es irreversible: sus gases y su humo nunca vuelven a ser salitre, azufre y carbón a ninguna temperatura.

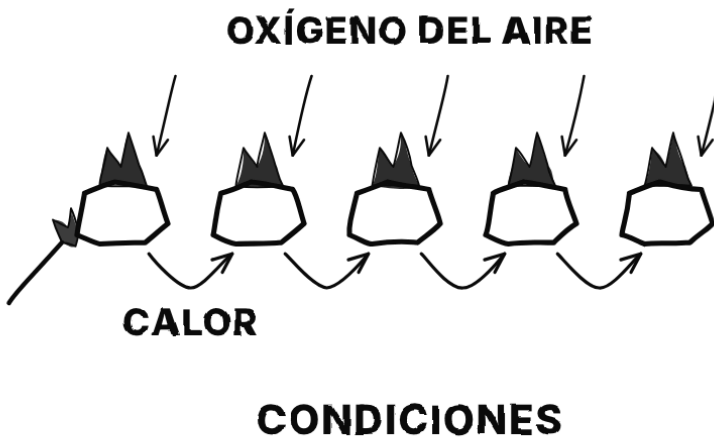
3. ¿Por qué Mendeléyev no construye su libro sobre la mecánica química, aunque la considera importante?

Pista: ¿Qué dice sobre el estado de su teoría?

Respuesta: Porque el tema es muy complejo y nuevo, todavía no tiene una teoría ordenada ni siquiera una hipótesis satisfactoria. Así que lo deja a la química física como rama aparte y construye su libro sobre las leyes de las proporciones, que están bien establecidas.

El calor y la corriente deciden

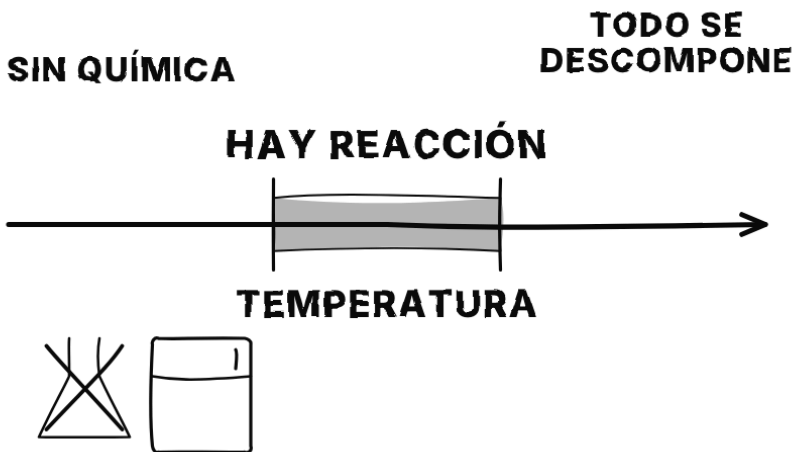
Un trozo de carbón puede estar años al aire libre y no arder nunca. Y sin embargo el oxígeno que necesita lo está tocando todo el tiempo. Acerque una cerilla a una esquina hasta que brille, y el fuego se extiende solo hasta que no queda más que ceniza. Así que tener las sustancias adecuadas no basta: algo más tiene que ser también adecuado. Mendeléyev llama a ese algo las condiciones de una reacción.



El calor pasa el fuego

Explica el carbón así. La parte que brilla se combina con el oxígeno del aire, y esa combinación desprende calor. El calor hace brillar la parte siguiente, y esa parte arde solo porque antes se calentó. Cada reacción, del mismo modo, ocurre solo en ciertas condiciones físicas, mecánicas y de otro tipo, a menudo muy distintas de las condiciones corrientes en que las sustancias están a nuestro alrededor. Una barbacoa lo muestra cada verano: las brasas esperan frías en la bolsa, y solo la llama del encendedor pone en marcha la cadena.

La primera y más importante condición es la temperatura. Las combinaciones ocurren solo dentro de ciertos límites de temperatura, y fuera de ellos no ocurren en absoluto. La combustión empieza solo cuando el combustible está caliente; y, sorprendentemente, algunos compuestos del cloro o de la sal de mesa con el agua se forman solo por debajo del punto de congelación, y se deshacen otra vez al calentarse.

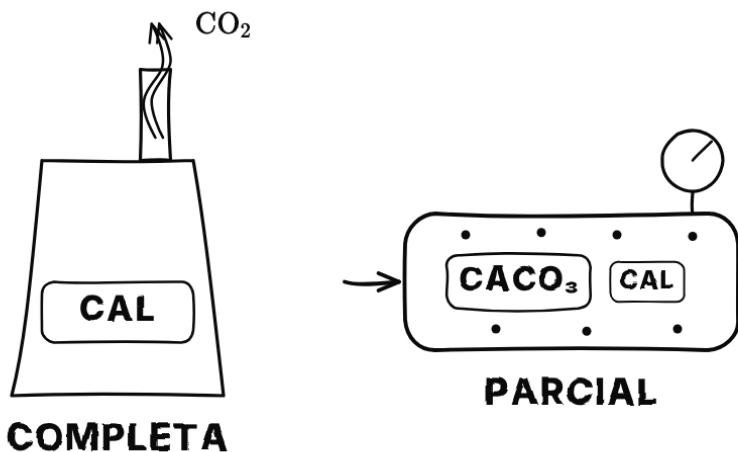


Cada reacción tiene su ventana

¿Por qué el calor ayuda a una reacción? Mendeléyev da dos razones. El calor puede convertir un sólido en líquido o en vapor, y un líquido deja que las partículas se toquen del todo, cosa que necesita una reacción. Y el calor afloja la cohesión, el vínculo interno entre las partículas de una sustancia, así que se separan con más facilidad y pueden formar compuestos nuevos. Cuando una reacción de verdad necesita calor, como una descomposición, la necesidad es evidente. De hecho, todos los compuestos se deshacen si el calor es lo bastante fuerte, como el óxido rojo de mercurio y la madera que vimos antes. Algunos lo hacen con un calor bastante suave: el fulminato del pistón de un arma se descompone un poco por encima del punto de ebullición del agua, y gran parte de los tejidos de plantas y animales se descompone en un horno corriente.

El frío actúa al revés. A temperaturas muy bajas no ocurre ningún cambio químico; las plantas detienen su química con la helada del invierno. Raoul Pictet, usando el frío extremo de gases licuados en ebullición, halló que incluso reacciones violentas, como la de un ácido con sosa cáustica o con sodio metálico, no ocurren si hace bastante frío, y que el tornasol ni siquiera cambia de color. Así que cada reacción tiene su propio intervalo de temperatura, y en el sol abrasador o en la luna helada muchos de los cambios que vemos en la Tierra seguramente no pueden ocurrir. Su congelador funciona con esta misma idea: la comida se conserva meses porque la química de la descomposición casi se detiene con el frío.

El calor tiene una lección especial para las reacciones reversibles. Caliente un compuesto que puede volver a formarse a partir de sus propios productos, y cuando empieza la descomposición, no llega al final de golpe. Solo se descompone una parte mientras el resto sigue entero; suba la temperatura, y se descompone una parte mayor; a cada temperatura hay una proporción fija de descompuesto y sin descomponer, hasta que al final todo se deshace. Esta descomposición parcial por el calor se llama disociación, una idea que introdujo en la ciencia Henri Sainte-Claire Deville.



yeso $\rightleftharpoons$ yeso con menos agua + agua

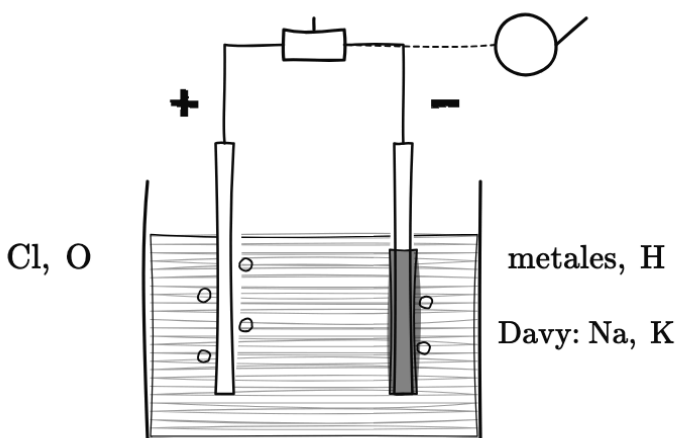
Horno abierto, cañón cerrado

La caliza muestra cómo funciona. En un horno de cal, la piedra se descompone por completo en cal y dióxido de carbono, porque el gas puede escapar por la chimenea. Pero encierre bien esa misma piedra dentro del cañón de un arma y caliéntela, y solo se descompone una parte, porque el gas no puede salir. La descomposición se detiene cuando el gas atrapado alcanza la presión máxima que corresponde a esa temperatura. Meta más gas a presión, y la cal y el gas empiezan a combinarse de nuevo; deje salir algo, y la descomposición se reanuda. Es igual que el agua que se evapora en un frasco cerrado, que se detiene cuando el vapor es tan denso como permite esa temperatura, y vuelve a empezar si se deja salir algo de vapor. Un frasco con tapa de rosca medio lleno de agua es la versión de cocina: con la tapa puesta, el nivel deja de bajar en cuanto el aire de encima contiene todo el

vapor que puede; quite la tapa y el agua sigue evaporándose poco a poco.

A veces un cambio tiene incluso una temperatura exacta, como un punto de fusión o de ebullición. El yeso natural, encerrado para que su agua no pueda escapar, se deshace por encima de cierta temperatura en una pasta húmeda: la mayor parte de su agua sale como líquido, y queda un yeso con mucha menos agua. Enfríelo por debajo de esa temperatura, y el yeso original se vuelve a formar. El cambio es tan brusco que se puede detectar por un cambio repentino de volumen. El yeso de París para escayolas se hace calentando yeso, y se endurece de nuevo al mezclarlo con agua.

La segunda gran condición es la electricidad, y su influencia se parece mucho a la del calor. La mayoría de los compuestos que conducen una corriente eléctrica se parten con ella, y, igual que con el calor, la combinación ocurre a menudo cerca de las condiciones de la descomposición. La electricidad, dice Mendeléyev, debe verse como otra clase de movimiento de partículas diminutas, como el calor. Su gran ventaja es que puede partir incluso los compuestos más estables a temperatura corriente.



ELECTRONEGAT.

ELECTROPOSIT.

La corriente separa las partes

Y hace algo que el calor nunca hace: las partes aparecen en lugares distintos, en los dos polos, o electrodos, por donde la corriente entra y sale. Las sustancias que se juntan en el polo positivo, sobre todo no metales como el cloro y el oxígeno, y los ácidos, se llaman electronegativas. Los metales y el hidrógeno se juntan en el polo negativo y se llaman electropositivos. Recargar la batería de un coche es esta clasificación en acción: la corriente devuelve cada parte de las sustancias a su propio electrodo.

Partir compuestos con corriente llevó a algunos de los mayores descubrimientos de la química. Lavoisier y sus contemporáneos no podían descomponer los compuestos del potasio y del sodio con el oxígeno. El inglés Davy lo hizo con una corriente galvánica, y recogió

en el polo negativo los propios metales potasio y sodio. En tiempos del propio Mendeléyev, las dinamos movidas por combustible o por la fuerza del agua abarataron la corriente, y el método de Davy entró en la fábrica: sodio a partir de sosa cáustica fundida, y cloro a partir de soluciones de sal de mesa.

Para recordar

Una reacción no depende solo de las sustancias sino de las condiciones que las rodean; el carbón necesita calentarse antes de arder. Cada reacción tiene su propio intervalo de temperatura: el calor ayuda poniendo en contacto las partículas y aflojando la cohesión, el calor fuerte descompone todo compuesto, y el gran frío detiene la química por completo. En las reacciones reversibles, el calor causa disociación, una descomposición parcial que se asienta en una proporción fija para cada temperatura y depende de si los productos pueden escapar. La corriente eléctrica actúa de forma muy parecida al calor, partiendo compuestos incluso a temperatura ambiente, con los no metales yendo al polo positivo y los metales y el hidrógeno al negativo. Con la corriente, Davy obtuvo por primera vez el potasio y el sodio, y las dinamos hicieron después del método un proceso de fábrica.

Preguntas

1. El carbón está años al aire sin arder, pero arde por completo en cuanto se enciende una esquina. ¿Por qué sigue el fuego?

- a. La parte que arde desprende calor que calienta la siguiente lo bastante para que arda.
 - b. La cerilla añade una sustancia especial que se extiende por el carbón.
 - c. El aire se vuelve más rico en oxígeno cuando empieza un fuego.
 - d. El carbón se convierte en un líquido que arde con más facilidad.
2. La caliza se descompone por completo en un horno de cal, pero solo en parte encerrada en el cañón caliente de un arma. ¿Por qué?
- a. El cañón nunca está tan caliente como un horno.
 - b. El hierro del cañón se combina con la cal.
 - c. En el horno el dióxido de carbono escapa, mientras que en el cañón cerrado se acumula hasta que la descomposición se detiene.
 - d. La caliza en un espacio cerrado se convierte en yeso.
3. ¿Por qué muchas reacciones que vemos en la Tierra seguramente no ocurren en la luna?
- a. Porque la luna no tiene gases sin oxígeno.
 - b. Porque en la luna no hay electricidad.
 - c. Porque las sustancias de la luna son otros elementos.
 - d. Porque cada reacción necesita su propio intervalo de temperatura, y la luna es demasiado fría.
4. Cuando una corriente eléctrica parte un compuesto, ¿qué ocurre que nunca ocurre al calentar?

- a. El compuesto pesa más.
- b. Las partes aparecen en polos distintos: los no metales en el positivo, los metales y el hidrógeno en el negativo.
- c. El compuesto se convierte en una sustancia simple sin ningún producto.
- d. Todas las partes se juntan en el polo positivo.

Respuestas

- 1. **a)** Combinarse con el oxígeno desprende calor, y ese calor hace brillar la parte siguiente; cada parte arde solo porque antes se calentó.
- 2. **c)** La disociación llega al final solo si un producto puede salir; el gas atrapado alcanza la presión máxima para esa temperatura y la descomposición se detiene.
- 3. **d)** A temperaturas muy bajas el cambio químico se detiene, como mostró Pictet, así que el frío de la luna descarta muchas reacciones terrestres.
- 4. **b)** Con la corriente, las partes se separan en los dos electrodos: las sustancias electronegativas en el polo positivo, las electropositivas, como los metales, en el negativo.

Ejercicios

- 1. Cal y dióxido de carbono están encerrados en un recipiente caliente donde parte de la caliza se ha disociado. ¿Qué pasa si se mete más dióxido de carbono, y qué si se deja salir algo?

Pista: Compárelo con el vapor sobre el agua en un frasco cerrado.

Respuesta: Meter más gas hace que la cal y el gas se combinen de nuevo en caliza; dejar salir gas hace que se descomponga más caliza. Igual que con la evaporación, cada temperatura tiene una presión máxima, y el cambio avanza hacia ella.

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

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

Respuesta: El calor puede convertir un sólido en líquido o en vapor, lo que deja que las partículas se toquen del todo, como necesita una reacción. Y el calor debilita la cohesión, el vínculo interno entre partículas de una sustancia, así que se separan con más facilidad y pueden formar compuestos nuevos.

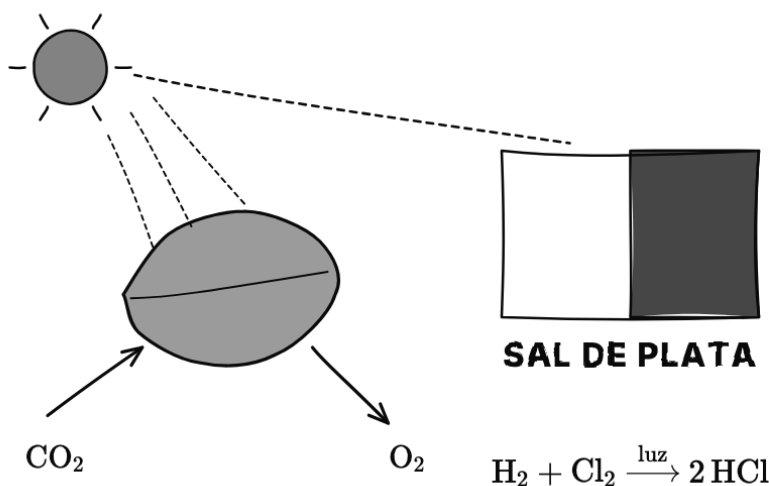
3. ¿Por qué Lavoisier no pudo obtener potasio y sodio, y Davy sí?

Pista: ¿Qué podía hacer la corriente eléctrica que el calor no podía?

Respuesta: Los compuestos del potasio y del sodio con el oxígeno son demasiado estables para partirse con los métodos de la época de Lavoisier. Davy usó una corriente galvánica, que puede partir incluso los compuestos más estables, y recogió los metales en el polo negativo.

Luz, un golpe, tiempo y contacto

Deje una planta de interior en el alféizar soleado y hará en silencio algo que ningún laboratorio de la época de Mendeléyev podía copiar. Toma dióxido de carbono, un gas que ni el calor ni la corriente rompen fácilmente, lo parte a la luz y desprende oxígeno. El calor y la electricidad no son las únicas condiciones que dirigen la química; Mendeléyev termina su introducción con cuatro más.



La luz parte y une

La primera es la luz. La luz puede descomponer ciertos compuestos inestables, y la fotografía se basa en esta propiedad de algunas sales

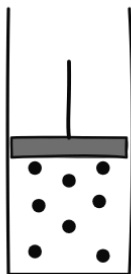
de plata. Las vibraciones que forman la luz llevan muy poco trabajo mecánico, así que en condiciones corrientes solo parte compuestos frágiles. Pero en las plantas, la luz produce un sinfín de descomposiciones y combinaciones, muchas aún no copiadas por ningún medio artificial, y esto seguía siendo un problema sin resolver de la química. La luz también puede hacer que las sustancias se combinen: el cloro se une al hidrógeno no solo cuando se calienta sino también cuando se ilumina. Unas gafas que se oscurecen al sol intenso deben su truco a la misma clase de compuesto de plata sensible a la luz que una fotografía antigua.

La segunda es la acción mecánica. Algunas sustancias se deshacen solo con el roce o un golpe, como el yoduro de nitrógeno, y el fulminato del pistón de un arma, que hace estallar el golpe del percutor. El roce hace que el azufre arda con el oxígeno contenido en la sal de Berthollet. También importa la presión, sobre todo para los gases: comprimir un gas apiña sus partículas, así que sustancias distintas se encuentran mucho más a menudo, y el hidrógeno comprimido actúa con más fuerza sobre el yodo y sobre muchas soluciones de sales. Encender una cerilla de seguridad es acción mecánica en marcha: el roce de la cabeza con la caja pone en marcha una reacción que luego se alimenta sola.

GOLPE



PRESIÓN



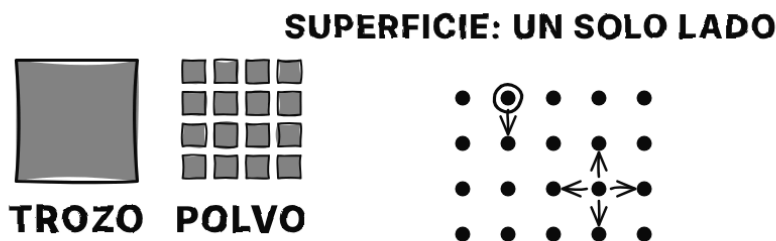
TIEMPO



Un golpe, presión, tiempo

La tercera es el tiempo. Las sustancias primero tienen que llegar al contacto, como cuando un sólido arde solo por su superficie y tiene que seguir llegándole aire fresco. E incluso tras el contacto pleno, el cambio interior necesita tiempo y transcurre a una velocidad definida. El ejemplo de Mendeléyev es el vino. El vino joven contiene ácidos y alcohol por separado; al envejecer, reaccionan despacio y dan agua y ésteres aromáticos, el buqué del vino. Esta reacción es lenta a temperatura corriente, y reversible, y su velocidad depende de la temperatura y de otras condiciones. La mayoría de las reacciones bruscas que encuentra un principiante, sin embargo, van tan rápido que el tiempo se suele dejar fuera de la cuenta.

La cuarta es el estado de contacto. Cuantos más puntos de contacto, más vigorosa es la reacción. El ácido sulfúrico apenas absorbe cierto gas oleoso cuando solo se tocan, pero sí lo hace con una agitación larga, porque los puntos de contacto aumentan enormemente. Los sólidos deben molerse lo más fino posible y mezclarse bien si han de reaccionar del todo y deprisa. El químico belga Spring mostró que polvos de sólidos que no reaccionan a temperatura ambiente sí lo hacen bajo una presión enorme: el azufre se une entonces a muchos metales, y los polvos metálicos forman aleaciones. Así que incluso los sólidos pueden reaccionar, porque en todo estado de la materia las partículas conservan algo de movimiento interno.



ESPONJA PT

Más contacto, cambio más rápido

Mendeléyev añade un detalle sutil. Una partícula en el interior de una sustancia es atraída por sus vecinas desde todos los lados, pero una partícula en la superficie solo desde un lado. Así que en una superficie el estado de la materia está alterado, un poco como si se hubiera calentado. Esto explica una gran clase de reacciones de contacto, puestas en marcha por la mera presencia de ciertas sustancias, sobre todo porosas o en polvo, como el platino esponjoso y el carbón. El dióxido de azufre no se combina directamente con el oxígeno, pero en presencia de platino esponjoso sí, desprendiendo calor. El catalizador del tubo de escape de un coche funciona con este mismo principio, usando una fina capa de metales del platino para que reaccionen los gases nocivos.

Estas ideas generales, dice Mendeléyev, solo adquieren su sentido real a través de las sustancias particulares, a las que el libro se dirige ahora. Aun así, las grandes leyes de la conservación de la materia y de la energía tenían que ir primero, porque solo con ellas en la mano se pueden estudiar provechosamente los detalles.

Para recordar

La luz parte compuestos frágiles, como en la fotografía, puede hacer que el cloro y el hidrógeno se combinen, y en las plantas rompe incluso el dióxido de carbono, desprendiendo oxígeno. Los golpes, el roce y la presión pueden poner en marcha reacciones, y la presión hace que las partículas de gas se encuentren más a menudo. Las reacciones necesitan tiempo, como la lenta maduración del buqué del vino, aunque las más bruscas son tan rápidas que el tiempo se suele ignorar. Más puntos de contacto significan reacciones más rápidas, y las superficies de sustancias como el platino esponjoso pueden poner en marcha reacciones con su mera presencia. Todos estos detalles descansan en las dos grandes leyes establecidas al principio: la materia y la energía nunca se crean y nunca se pierden.

Preguntas

1. ¿Por qué la luz solo puede partir ciertos compuestos frágiles en condiciones corrientes?
 - a. Porque las vibraciones de la luz llevan muy poco trabajo mecánico.
 - b. Porque la luz no puede atravesar la mayoría de las sustancias.
 - c. Porque la luz solo actúa a temperaturas muy bajas.
 - d. Porque solo la plata puede absorber la luz.

2. ¿Por qué una agitación larga ayuda al ácido sulfúrico a absorber un gas que apenas toca cuando están quietos?
 - a. La agitación calienta el ácido hasta su punto de ebullición.
 - b. La agitación convierte el gas en líquido.
 - c. La agitación aumenta muchísimo el número de puntos de contacto.
 - d. La agitación quita el oxígeno del gas.
3. ¿Por qué el vino desarrolla su buqué solo tras un largo almacenamiento?
 - a. Porque el alcohol se evapora despacio.
 - b. Porque la luz entra despacio en la botella.
 - c. Porque las uvas siguen creciendo dentro del vino.
 - d. Porque sus ácidos y su alcohol reaccionan despacio a temperatura corriente y dan ésteres aromáticos.
4. ¿Cómo consigue el platino esponjoso que el dióxido de azufre se combine con el oxígeno?
 - a. El propio platino se combina con el oxígeno y se gasta.
 - b. En su superficie el estado de la materia está alterado, un poco como si se calentara, y eso pone en marcha la reacción.
 - c. Desprende una corriente eléctrica.
 - d. Absorbe la luz que necesita la reacción.

Respuestas

1. a) Las vibraciones que forman la luz llevan poco trabajo, así que solo pueden romper compuestos inestables como las sales de plata de la fotografía.

- 2. c)** Cuantos más puntos de contacto, más vigorosa es la reacción, y la agitación los multiplica enormemente.
- 3. d)** La reacción entre los ácidos y el alcohol va a una velocidad limitada a temperatura corriente, así que los ésteres aromáticos solo aparecen con el tiempo.
- 4. b)** Las partículas de una superficie son atraídas solo desde un lado, así que su estado cambia como si se calentaran; los cuerpos porosos como el platino esponjoso ponen en marcha así las reacciones de contacto.

Ejercicios

- 1.** Nombre cuatro condiciones, aparte del calor y la electricidad, que según Mendeléyev pueden dirigir el cambio químico, con un ejemplo de cada una.

Pista: Piense en la luz, un golpe, el reloj y el contacto.

Respuesta: La luz, que parte las sales de plata en la fotografía y hace que el cloro se una al hidrógeno; la acción mecánica, como el golpe que hace estallar el fulminato de un pistón; el tiempo, como en la lenta formación del buqué del vino; y el estado de contacto, como cuando agitar o moler fino acelera una reacción.

- 2.** Spring hizo reaccionar polvos de azufre y metales a temperatura ambiente. ¿Cómo, y qué muestra eso sobre los sólidos?

Pista: ¿Qué aplicó a los polvos?

Respuesta: Los apretó con una presión enorme, que aumentó muchísimo las superficies de contacto. Muestra que también los sólidos pueden reaccionar, porque las partículas conservan algo de movimiento interno en todo estado de la materia.

- 3.** ¿Por qué Mendeléyev presenta las leyes de conservación de la materia y de la energía antes de los detalles de las sustancias

particulares?

Pista: ¿Qué papel tienen en el estudio de los detalles?

Respuesta: Porque solo aceptando estas leyes amplias puede el estudio de las sustancias particulares ser manejable y provechoso; las ideas generales adquieren su pleno sentido con los detalles, pero los detalles necesitan las leyes como marco.