

pacto en la manera en que sentimos y entendemos nuestro mundo espiritual. Esta tensión puede verse actualmente en Estados Unidos con la teoría de la evolución. Para muchos, aceptar que todos los seres vivos descienden de un ancestro común por innumerables y pequeños cambios genéticos implica casi negar la existencia de Dios. De hecho, la teoría evolutiva, como la atómica, plantea una visión materialista de ciertos procesos. ¿Está esta visión intrínsecamente reñida con el pensamiento religioso? ¿Será posible que en algunos años más todos se sientan cómodos con las ideas evolutivas, ateos y teístas por igual, y que, como con la teoría atómica, esa dicotomía pase a la historia?

Mientras tanto, esperemos que no pase como con Galileo o Harriot y que exista la libertad para explorar y enseñar las ideas que van surgiendo de las galeras de los científicos.

MABIA UNA
VEZ UN ÁTOMO

Unidad. 2.2 .

Capítulo 3 Elemental

Un hombre de la pesada

Allá por los años 1700, Francia tenía graves problemas con su producción de pólvora. Éste no era un detalle menor porque por esa época se usaba mucho de este material explosivo para pelear con los ingleses y, eventualmente, para llevar adelante la revolución. La producción de salitre (el componente principal de la pólvora) dejaba mucho que desear en cantidad y calidad. Para atacar el problema, el gobierno francés creó la Administración de la Pólvora y nombró como su director a Antoine Laurent Lavoisier. La elección no podría haber sido mejor. Lavoisier era un destacado, vivaz e inventivo científico, quien ya en otra ocasión había elaborado una propuesta para mejorar la oferta de salitre en Francia. Por otro lado, era un consumado hombre de negocios y administrador, que dedicaba la mitad de su tiempo a trabajar en una poderosísima empresa de recolección de impuestos (la Ferme Générale).

En 1775 Antoine y su bella esposa Marie se mudaron al mismísimo Arsenal de la Pólvora. Allí Lavoisier no

sólo tenía una cómoda vivienda sino además un bien equipado laboratorio donde hacer los más sofisticados experimentos de la época. Todo a cuenta del gobierno. El Arsenal de la Pólvora estaba conectado por un túnel subterráneo con la Bastilla, la prisión que los revolucionarios tomaron en 1789, marcando el hito que los historiadores reconocen como el inicio de la Revolución Francesa. Mientras fuera del Arsenal tomaban forma los eventos revolucionarios, dentro de él Lavoisier ponía en movimiento lo que el mundo iba a conocer como la Revolución Química.

Esta revolución básicamente consistió en reemplazar las formas de pensar típicas de la Edad Media y el Renacimiento por un sistema de pensamiento más ordenado, eficiente y penetrante. Lavoisier desarrolló formidables estrategias para atacar problemas químicos; introdujo las nociones poderosas y fructíferas de elemento químico, compuesto y reacción química; compiló la primera lista de elementos y diseñó una nueva manera, simple y de acuerdo con sus teorías, de nombrar las sustancias.

Todo esto, sorprendentemente, lo hizo sin la ayuda de la idea de átomo. A pesar de que, como vimos, las ideas atomistas eran bien conocidas por los contemporáneos y predecesores de Lavoisier, los tiempos no eran propicios para las especulaciones audaces. Los científicos respetables no se dejaban llevar por ideas locas sobre entidades imaginarias. No, debían construir su ciencia pacientemente, por acumulación de datos y por la realización de experimentos ingeniosos. La es-

trategia de Lavoisier consistió en experimentos y especulaciones cautas basados en el uso sagaz de un instrumento sencillo: la balanza de pesar.

La carrera científica de Lavoisier había empezado su marcha hacia la fama con el uso de la balanza y con problemas muy concretos. Varios años atrás el gobierno había estado preocupado por la pureza del agua, la cual se establecía evaporando muestras de agua y observando los residuos sólidos. El problema era que la destilación de agua pura también dejaba un residuo sólido que nadie podía identificar. Varios científicos abordaron el tema sin éxito. Incluso se especulaba que el residuo era agua "transmutada" en tierra. Lavoisier resolvió el problema pesando cuidadosamente un frasco vacío. Después colocó en él agua pura, selló el frasco y puso el agua a hervir por un mes. Luego abrió el frasco, pesó el residuo formado y también pesó el frasco vacío y seco. Notó que el frasco había perdido peso: la cantidad perdida era casi exactamente igual al peso del residuo. Su conclusión fue que el residuo no era otra cosa que finísimas partículas de vidrio.

Este caso muestra con simpleza la estrategia básica de Lavoisier. En todo proceso, sostenía, la materia (medida por el peso de los materiales) sufre transformaciones, pero estas transformaciones obedecen a las reglas de la contaduría: si uno suma todos los pesos antes y después de la transformación, éstos deben ser iguales. Durante la transformación, la materia cambia de forma, pero no puede ser creada ni destruida. Una hoja de balances cuidadosa (como las que Lavoisier usaba en sus

negocios) podía revelar qué se transformaba en qué. En este caso, vidrio en residuo.

Con estas armas, Lavoisier se encontraba en una excelente posición para resolver uno de los misterios de la época, a través del cual vislumbraría el sendero hacia la transformación completa de la ciencia química.

El misterio del peso de los calcinados metálicos

Era una observación milenaria que ciertos minerales, al ser calentados con carbón pulverizado, producían distintos tipos de metales. Ciertos químicos, entonces, pensaron que existía una especie de principio "metalizador" que, al combinarse con esos minerales, producía metales. Lo llamaron "flogisto".

Además, se sabía que los metales pueden ser transformados a su vez si se los calienta; algunos incluso arden en llamas al ser calentados.⁵ Cuando un metal arde, o es expuesto al fuego, generalmente cambia a una nueva sustancia que no tiene nada de metálica, sino que es terrosa, quebradiza o polvorienta y con colores llamativos, que dependen del metal en cuestión (blanco para el magnesio, marrón o negro para el cobre). El proceso se llama "calcinación de metales" y las sustancias deri-

⁵ Esto puede probarse en casa fácilmente encendiendo con un fósforo (y con cuidado) un pedacito de virulana de acero.

vadas de ellos se llaman "cales" o "calcinados metálicos"... o al menos así se llamaban antes de la revolución química. Se trata, evidentemente, de una reacción química en la que una sustancia (el metal) se transforma en otra (el calcinado). Pero resulta que esas cales eran básicamente idénticas a los minerales de donde se extraía el metal. La interpretación más razonable era que en la combustión (es decir, la calcinación) los metales perdían flogisto y se volvían cales nuevamente.

Pero he aquí el dilema: resulta que si uno pesa una muestra de metal y luego la transforma en cal mediante calentamiento, la muestra se vuelve más pesada. ¿Cómo es posible que un objeto pierda algo y gane peso? ¿Acaso el flogisto tiene peso negativo? La gran revolución de Lavoisier comienza con este misterio.

Para resolverlo, Lavoisier primero se olvidó del flogisto por un momento y se preguntó: ¿de dónde viene el peso extra del calcinado? Advirtió que con lo único que aparentemente el metal tiene contacto es con el aire. ¿Sería posible que, en la calcinación, el aire o alguna parte del aire se alojara dentro del metal haciéndolo más pesado? Para probar esto Lavoisier calcinó un metal en un frasco herméticamente cerrado y comprobó que se producía en su interior un vacío parcial. En efecto, parte del aire pasaba a ser parte del calcinado.

En ese momento Lavoisier percibió, con gran astucia, que estaba a las puertas de descubrimientos muy importantes. Pensó, en primer lugar, que el calcinado es una *combinación* de metal más algo que está en el aire, o qui-

zás el aire mismo. Si eso era así, entonces en principio sería posible *descomponer* el calcinado y obtener de nuevo el metal y el gas en cuestión, ya sea aire o una parte del aire.

El aire respirable: un nuevo gas

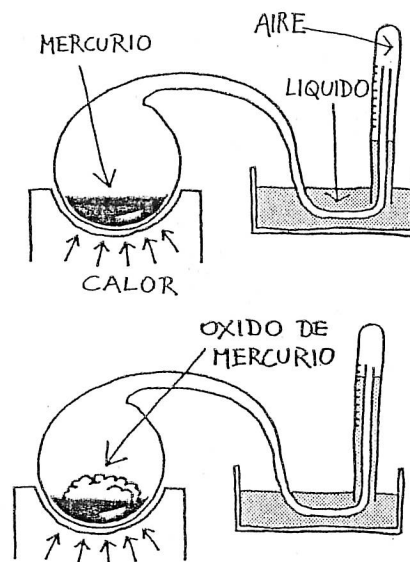
Tal descomposición no resultó fácil de realizar. Pero Lavoisier tuvo la fortuna de cenar con un científico inglés, Joseph Priestley, quien le comunicó su éxito en la descomposición del calcinado de mercurio. Esta sustancia roja, al ser calentada a altas temperaturas, producía mercurio líquido y metálico por un lado, y por el otro, un gas bastante peculiar: en él una vela ardía con mayor intensidad y un ratoncito parecía vivir más tiempo que en aire normal.

Lavoisier repitió los experimentos de Priestley. Notó que, si introducía una brasa en un tubo lleno de ese gas, la brasa se encendía en llamas intensamente luminosas. Esto le dio la pauta de que el gas jugaba un papel en la combustión en general. Lavoisier llamó al nuevo gas "aire respirable" y más tarde le dio su nombre actual: oxígeno.

Durante 1776 (el mismo año en que Estados Unidos declaró su independencia, Adam Smith publicó *La riqueza de las naciones* y España estableció el virreinato del Río de la Plata), Lavoisier estudió en profundidad este nuevo gas y su incidencia en la combustión.

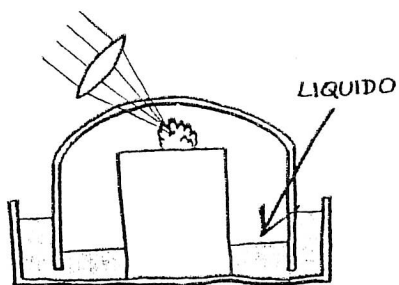
Puso en un frasco una cantidad de mercurio; el frasco estaba conectado con otro recipiente que contenía

aire común, pero estaba aislado de la atmósfera, como se ve en la figura. Lavoisier procedió a calentar este mercurio por doce días. De hecho, instaló una cama en el laboratorio para poder observar lo que ocurría día a día. El mercurio fue transformándose en un calcinado rojo, y la cantidad de aire en el frasco adyacente fue disminuyendo, probando que el mercurio estaba absorbiendo parte del aire. El proceso se detuvo cuando el volumen del aire había disminuido a $\frac{4}{5}$ del original (o sea, el 20% había desaparecido). Es decir que 20% del aire es un gas que se combina con metales. El gas que quedó en el frasco no sostenía una llama ni era bueno para respirar (hoy se lo conoce como nitrógeno).



Entonces Lavoisier tomó el calcinado que se había formado y lo calentó a muy altas temperaturas. El calcinado se transformó de nuevo en mercurio, pero en el proceso despidió un gas que Lavoisier recogió. En él la llama ardía y se podía respirar. Su volumen era igual al volumen perdido en el proceso opuesto.

Lavoisier había logrado separar el aire atmosférico en dos partes: una parte respirable que sostenía la llama y se combinaba con mercurio, y otra parte que no hacía ninguna de esas cosas.



Un comodín químico

A partir de aquí Lavoisier, junto con algunos de sus compinches, pasó entonces a demostrar que ese nuevo gas, el oxígeno, podía combinarse con innumerables sustancias. Con cada metal producía su respectivo calcinado. Con azufre y fósforo producía sustancias que daban lugar a ácidos. Con el carbón producía una sustancia peculiar: un gas incoloro y venenoso llamado aire fijado (y hoy conocido como dióxido de carbono). Esto explicaba de maravillas por qué al quemar un trozo de carbón parecía que éste desaparecía (lo mismo ocurre con la madera y el papel): no es que desaparezca sino que se combina con el oxígeno para producir otro gas. El oxígeno también podía combinarse con un gas inflamable para producir nada menos que agua. A este gas inflamable se lo bautizó con el nombre de hidrógeno, que no quiere decir otra cosa que "productor de agua".

En otras palabras, Lavoisier acababa de descubrir un gas que puede combinarse con muchas otras sustancias para dar lugar a sustancias nuevas. Estas últimas son más "complejas" porque están compuestas de oxígeno y algo más. Pueden ser a su vez descompuestas para producir de nuevo el oxígeno y la otra sustancia, restaurando la situación inicial.

Ingredientes irreducibles y la nueva química

Con todos estos resultados, Lavoisier comenzó a formular una nueva visión de la química. Para empezar, le dio otra cara al proceso de combustión. Ya no se trataba de calcinados combinados con flogisto para obtener metales, sino casi al revés: metales combinados con oxígeno para obtener calcinados. Es más, toda combustión parecía poder explicarse como la combinación de algo con oxígeno. El flogisto, como los átomos de Demócrito, no podía verse ni detectarse de ninguna manera. Por supuesto, diría Lavoisier, precisamente porque no existe. El oxígeno, en cambio, es una sustancia real, con peso y propiedades, y uno puede tener una botella llena de él.

Así como muchas sustancias son combinaciones de oxígeno con algo más, deben existir otras sustancias que son combinaciones de otras cosas. Y así es: el nitrógeno y el hidrógeno se combinan para dar amoníaco. Nuestros cuerpos contienen carbón e hidrógeno combinado con otras cosas. En la concepción de Lavoisier estaba emergiendo una nueva forma de ver las cosas. Hay sustancias que están compuestas de otras sustancias. Esto es fácil de ver, porque pueden descomponerse (como la cal de mercurio) o formarse por combinación (como el aire fijado). Hay otras sustancias, en cambio, que no pueden armarse a partir de otras ni obtenerse por descomposición. Esas sustancias son muy especiales, porque son los ingredientes básicos con los que se hacen todas las de-

más. Lavoisier las denominó, por supuesto, "*elementos químicos*". Propuso además una manera conceptualmente muy sencilla de identificar los elementos: si una sustancia se descompone, no es un elemento; si una sustancia puede obtenerse por combinación de otras dos, tampoco. Las demás son elementos.

Ya muchos habían hablado de la idea de elementos. Para los griegos, eran algo así como esencias fundamentales que brindaban propiedades particulares a las sustancias. Los elementos clásicos eran el fuego, el aire, el agua y la tierra. Lavoisier y sus colegas ya habían demostrado que ni el agua ni el aire ni la tierra eran elementos químicos. Las ideas de Lavoisier eran más prácticas y más concretas. Y daban una visión del mundo de la química que permitía entender muchos cambios de manera sencilla. En particular, ofrecía una visión clara de la combustión de las cosas.

Su visión de los elementos era tan concreta que se animó a confeccionar y publicar la primera lista de elementos conocidos hasta ese entonces. La lista, un hito en la historia de la ciencia, incluía el oxígeno, el nitrógeno, el mercurio, el carbón y el hidrógeno, los cuales siguen conservando hoy día ese especial estatus.⁶

Para Lavoisier, no sólo la materia no se crea ni se destruye (ley de la conservación de la materia), sino que la

⁶ Otros "elementos" de la lista de Lavoisier no resistieron la prueba impuesta por él mismo, pues fueron más tarde descompuestos exitosamente, como por ejemplo la sal de mesa.

cantidad y el tipo de elementos permanecen constantes a través de todas las reacciones químicas (ley de la conservación de los elementos). En la concepción del mundo de Lavoisier, todas las reacciones químicas no son otra cosa que combinaciones, re combinaciones y disociaciones de diferentes elementos. Atrás quedarían las nociones aristotélicas de reacciones químicas como "transformaciones" de la esencia de las sustancias. A partir de Lavoisier la investigación química encuentra, además, un claro nuevo rumbo: encontrar y caracterizar los elementos químicos (las sustancias irreducibles) y descubrir la composición exacta de los compuestos en términos de estos elementos.⁷

La batalla de las palabras

Lavoisier sabía que sus ideas serían difíciles de digerir y aceptar por la comunidad científica. La mayor parte de los químicos de la época estaban casados con

⁷ Lavoisier hizo mucho más por la ciencia que lo aquí esbozado. Una vez establecido el papel del oxígeno en la combustión, pasó a estudiar su rol en la respiración, a la cual describió como un tipo especial de combustión. Se podría decir que Lavoisier descubrió por qué respiramos e inauguró así el campo de la fisiología química. En ese tema estaba embarcado cuando fue arrestado por la Asamblea y condenado a muerte. Fue guillotinado la tarde del 8 de mayo de 1794. El matemático Joseph Louis Lagrange declaró: "Les tomó un instante cortar esa cabeza y cien años no serán suficientes para producir otra igual".

las ideas del flogisto y su propuesta consistía en una concepción intensamente nueva de qué sucede en toda reacción química. Advirtió entonces que debía establecer una verdadera batalla de relaciones públicas para lograr que sus ideas resultaran apetecibles a los pensadores de la época y tomaran asidero en la comunidad científica.

Su ataque consistió, primero, en producir un texto básico de química general, el *Traité Élémentaire de Chimie*. Segundo, fundó una nueva revista en la cual los químicos pudieran publicar sus descubrimientos sin ningún tipo de censura, una revista controlada por él y no por sus opositores. Finalmente, decidió modificar por completo la totalidad de la nomenclatura química.

Para esto se alió con otros tres químicos franceses: Claude-Louis Berthollet, Antoine François de Fourcroy y Louis-Bernard Guyton de Morveau, quien ya estaba trabajando en nuevos sistemas para nombrar y clasificar sustancias químicas. Y entre 1786 y 1787, durante ocho meses febriles, los cuatro químicos se reunieron en París a diario en un verdadero complot científico. El resultado fue el arma intelectual que habría de cambiar el rumbo de la ciencia: el *Méthode de nomenclature chimique*.

Hasta entonces las sustancias químicas tenían nombres misteriosos. Se hablaba, por ejemplo, de aqua regia, de aceite de vitriol, de aire fijado, polvo de algaroth. Muchas veces una misma sustancia recibía varios nombres distintos; por ejemplo, tártaro vitriolado, arcano du-

plicado o sal policresta de Glaser eran todos nombres del actual sulfato de potasio. En su tratado, el cuarteto infernal de la química propuso un sistema más lógico, sistemático y elegante. En el nuevo esquema, los elementos tenían nombres simples y, los compuestos, nombres complejos, por lo general binarios, basados en los elementos presentes en cada compuesto. El esquema estaba inspirado en el sistema binario de nomenclatura zoológica. El cuarteto respetó casi todos los nombres de los elementos aceptados en esa época: oro, plata, hierro, carbón, y los nombres de los elementos que acababan de ser descubiertos, como el hidrógeno y el oxígeno. Un compuesto de dos elementos recibía un nombre derivado de los elementos, como cloruro de sodio, óxido de plata, sulfuro de hidrógeno. El agua pasó a ser óxido de hidrógeno. Otras sustancias recibían nombres más complejos, como sulfato de cobre (que contiene azufre, oxígeno y cobre) o ácido nítrico. El sistema ideado por el cuarteto infernal es el que sobrevive, con modificaciones, hasta el día de hoy.

Muchos químicos se sintieron violentados y hubo expresiones de desaprobación. El químico inglés Joseph Black observó con frustración que adoptar el nuevo sistema de nomenclatura química equivalía a aceptar el cuerpo de ideas teóricas propuesto por Lavoisier. Podemos imaginar lo que el astuto Lavoisier le hubiera contestado. Elemental, mi querido Joseph.

Esta nueva concepción de la química como un juego de armar y desarmar combinaciones de elementos se

cruzaría en pocos años más en el camino intelectual de Dalton y su bagaje de ideas atomistas. El encuentro sería monumental.