

# Lavoisier y la transmutación del agua

**Gabriel Gellon**  
Expedición Ciencia

## La transmutación y la balanza

Durante un período relativamente breve a fines del siglo XVIII las artes alquímicas, características de la Edad Media, se convirtieron en la joven y pujante ciencia química, que sería parte de la revolución científica de los siglos XIX y XX. Toda una serie de fenómenos curiosos y fascinantes comenzaron a cobrar sentido a través de la introducción de nuevas formas de pensar y analizar la realidad. La figura central en esa transformación fue Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), un revolucionario en su forma cuantitativa y analítica de atacar los problemas de las transformaciones de la materia. Para poder apreciar la simpleza y profundidad del pensamiento de Lavoisier en el contexto de su época, es ilustrativo estudiar unos de sus experimentos más tempranos sobre la posible transformación de agua en tierra.

En la época de Lavoisier aún existían controversias sobre la constitución de la materia y sobre las leyes (prácticamente desconocidas) que gobernaban sus cambios. Desde tiempos inmemoriales era evidente que ciertos materiales se transforman en otros al ser sometidos a diferentes tratamientos. Por ejemplo, algunas rocas, al ser calentadas con carbón, se convierten en metales. Y es legendaria en esta línea de indagaciones la búsqueda de la 'fórmula para hacer oro'. Frente a todos esos cambios, había cierto consenso de que algunas formas de materia debían ser más fundamentales que otras y que estas formas básicas podían ser mezcladas para formar todas las demás. Esta idea de 'elementos' databa de la Grecia antigua; el problema es que no existían formas de decidir qué materiales eran los fundamentales. También existían diferencias de opinión en cuanto a si esas formas fundamentales podían ser convertidas unas en otras. A esto último se lo conocía como la 'transmutación de los elementos'. Por ejemplo, ¿sería posible transformar cada uno de los cuatro elementos aristotélicos unos en otros, convertir agua en tierra o aire en fuego?

Había en esa época cierta evidencia empírica a favor de la transmutación. Por ejemplo, si se hierva agua pura en recipientes cerrados de vidrio por prolongados períodos (varios días), aparece



Antoine-Laurent Lavoisier. Grabado de Louis Jean Desire Delaistre, a partir de un dibujo de Julien Leopold Boilly. Imagen Wikipedia commons.

en el fondo del recipiente un residuo sólido parecido a arena. Esto se tomaba como evidencia de la transmutación de agua (un ‘elemento’) en tierra (otra forma elemental de materia, de acuerdo con la opinión de la época). Se sabía que no se trataba de sales disueltas porque el agua usada era agua destilada. El residuo seguía apareciendo sin importar cuántas veces destilaran el agua.

Si bien la idea de la transmutación parece una cuestión de la más abstracta filosofía, para Lavoisier representaba problemas muy prácticos. Resulta que la pureza del agua (esencial para determinar su potabilidad) se evaluaba justamente evaporando agua de una muestra y observando el residuo sólido que queda en el fondo. Se sabía que un agua sucia deja un residuo sólido importante y lo mismo sucede con las sales del agua de mar. Pero si el agua pura (destilada) también deja un residuo por transmutación en ‘tierra’, entonces esto puede llegar a introducir ciertas dudas sobre la credibilidad del test de pureza del agua.

El resultado era incontrovertible: el residuo aparecía ahí de manera reproducible. Pero si uno lo piensa bien, la transmutación de agua en tierra no es una observación directa sino una posible interpretación de los resultados observables. Lo primero que Lavoisier hizo fue considerar otras posibles explicaciones. ¿No podría ser que el residuo proviniera no del agua sino de algún otro lado? ¿Cómo resolver este dilema? Si el residuo proviene del agua, pensó Lavoisier, entonces el agua deberá perder peso en el proceso; si, por el contrario, el residuo proviene, por ejemplo, del frasco, entonces será el frasco el que pierda peso. Y si ninguno de los dos pierde peso entonces el residuo debe provenir de una tercera fuente: de una sustancia extraña, externa al frasco o al agua. Basta entonces con pesar cuidadosamente cada parte antes y después de hervir el agua. La lógica del experimento es impecable.

## Los números

La siguiente tabla muestra los resultados del experimento de Lavoisier, que fue presentado en 1770 bajo el título *Sobre la naturaleza del agua y sobre los experimentos que parecen probar la posibilidad de su cambio en tierra*. El experimento consistió en calentar agua en un frasco sellado por ciento un días.

	Libras	Onzas	Gros	Granos
Frasco vacío, antes de calentarlo	1	10	7	21,50
Frasco y agua, antes de calentamiento	5	9	4	41,50
Agua, antes del calentamiento (por diferencia)	3	14	5	20,00
Frasco, agua y tierra después del calentamiento	5	9	4	41,75
Cambio neto del sistema	0	0	0	0,25
Residuo sólido	0	0	0	20,40
Frasco vacío, después del calentamiento	1	10	7	4,12

Las medidas de peso son, naturalmente, pre-métricas. Una libra son 16 onzas, una onza 9 gros y un gros, 72 granos (nótese que no son ‘gramos’ con ‘m’ sino ‘granos’ con ‘n’).

Estos son los datos crudos que obtuvo Lavoisier. Pero antes de discutir qué leyó Lavoisier en sus resultados, sería interesante ver qué interpretamos nosotros. Esta es una oportunidad de acompañar a nuestros estudiantes en la interpretación de un experimento, sin necesidad de hacerlo.

Lo primero que vemos es que todo (frasco más agua) pesa un poco más después del calentamiento que antes del mismo (comparen la segunda fila con la cuarta). El sistema ganó un poco de peso durante el proceso. ¿Puede esta diferencia atribuirse al residuo? Si es así, ¿cuál sería el origen más probable del residuo arenoso? Si comparamos este número con el peso del residuo, vemos rápidamente que no se parecen en nada. ¡El incremento antes y después del proceso es unas cien veces menor al peso del residuo! Como docentes, y munidos de este resultado, podemos hacer ver a nuestros alumnos que el residuo no pudo haber venido de afuera del frasco. Sólo quedan pocas posibilidades lógicas: el agua, el aire dentro del frasco o el frasco mismo.

Ahora bien, el frasco vacío antes y después de calentarlo sufre una reducción en su peso. Esa disminución es de 17,38 granos (comparar la primera fila con la séptima). ¿Coincide este número con el peso del residuo sólido?

Un estudiante con poca exposición al pensamiento científico contestará matemáticamente. La respuesta será no, los números no son iguales: 17,38 no es igual a 20,40 granos. Y he aquí una oportunidad maravillosa de introducir a nuestros alumnos en el análisis de datos. Ninguna respuesta cuantitativa será exacta. Dar en el blanco total y completamente no existe en las ciencias empíricas. Los resultados pueden tener más o menos error, el error puede ser aceptable o no, puede permitirnos concluir algo más allá de toda duda razonable, o con algo de duda, o no ayudarnos en lo absoluto. Pero no será perfecto. La pregunta clave aquí no es si 17,38 es o no igual a 20,40 sino si en nuestra opinión racional los números se parecen o no lo suficiente como para concluir que el residuo sólido proviene del frasco. La diferencia entre ambos números es de 3,02 granos, lo cual significa un error de un poco más del 15%.

Y finalmente, ¿qué pasó con el agua? Lavoisier no nos dice nada al respecto. Lo cual no es muy elegante, pero dadas las dificultades técnicas del caso y lo satisfactorio del resultado anterior para el propio Lavoisier, podemos disculpar su omisión. Con todo, concluye:

*Se deriva de los experimentos descritos en esta Memoria que la mayor parte, y posiblemente toda, la tierra separada del [...] agua por evaporación es debida a la disolución del frasco en el que fue juntada y evaporada [y que] la materia que otros investigadores han separado del agua no era nada más que vidrio disuelto durante la operación.*

## Trascendencia del experimento

A primera vista este experimento no parece gran cosa, pero en realidad establece con total claridad una mecánica de trabajo sobre la cual Lavoisier montará un ataque devastador sobre las teorías químicas vigentes y fundará la química que conocemos hoy en día. Su ataque fue netamente cuantitativo. Otra posible línea de investigación fue llevada adelante por otros químicos quienes enfocaron sus esfuerzos en dilucidar la naturaleza y las propiedades del residuo. Lavoisier asignó un valor enorme a la medición precisa de los pesos (las masas) involucradas en reacciones químicas; introdujo, en algún sentido, una nueva y revolucionaria tecnología: la balanza.

Los razonamientos de Lavoisier en este experimento muestran que él no concibe que un objeto pueda ganar peso sin que otro lo pierda al mismo tiempo. Este es un principio que (contrariamente a lo que muchas veces se cree) Lavoisier no dedicó mucho tiempo en 'demostrar'; para él representaba una cuestión de sentido común. Sin embargo, lo hace explícito en *Tratado elemental de química*, una obra destinada a la enseñanza de esta disciplina:

*...nada se crea ni en las operaciones del arte ni en las de la naturaleza y se puede enunciar como principio que en toda operación y después de la misma hay una misma cantidad de materia, que la cualidad y cantidad de los principios es la misma y que no hay más cambios y modificaciones.*

## En el aula

Con frecuencia creemos que las clases de ciencia deben tener visitas obligadas a los laboratorios. Sin duda el laboratorio es una parte esencial de la instrucción básica en ciencias. Pero en nuestras ansias experimentales, muchas veces olvidamos que lo más importante en las clases de ciencia es aprender a pensar científicamente y que para aprender a hacerlo, no basta con acudir a la mesada y agitar algunos frascos. Debemos pensar como lo hacen los científicos: debemos poder planear nuestros experimentos y analizar sus resultados. Estos ejercicios mentales de gigantesca importancia educativa no sólo no tienen por qué ocurrir en el laboratorio sino que en muchas ocasiones son olvidados por completo.

Este artículo presenta los datos originales obtenidos por Lavoisier en un experimento poco conocido pero trascendente. Estos datos nos ofrecen oportunidades invaluable. Podemos anali-

zarlos con nuestros estudiantes. ¿Qué problema está tratando de resolver Lavoisier con este experimento? ¿Cuál es su pregunta fundamental? Recordemos que identificar la pregunta que motiva un experimento es uno de los componentes del pensamiento científico. ¿Cómo está armado (pensado) el experimento de Lavoisier para contestar esta pregunta? Si Lavoisier quiere identificar el origen del residuo arenoso, ¿qué resultados espera obtener si el residuo proviene de esta o aquella fuente? Finalmente, ¿son los resultados que él obtiene consistentes con su conclusión?

Aquí vemos la posibilidad de trabajar al menos dos herramientas fuertes del pensamiento científico.

**1. Reflexionar sobre los resultados antes de obtenerlos.** Para cada origen posible del residuo arenoso, Lavoisier espera un resultado diferente. ¿Qué pierde peso: el frasco, el agua, ninguno? Es importante que los estudiantes, al analizar un experimento, comprendan para qué lo estamos haciendo (o para qué fue hecho). Y es de la misma importancia que puedan visualizar todos los resultados posibles, no sólo 'el que da'. Los estudiantes tienen a pensar que un experimento tiene un resultado único (aquel que esperamos) y por lo tanto 'da o no da'. Para desarrollar un pensamiento científico más maduro es indispensable advertir que existen una multitud de posibles resultados y que es importante imaginarlos antes de obtenerlos. También hay que reflexionar cuál será el significado de cada posible resultado. ¿Qué habría concluido Lavoisier si el frasco cerrado pesaba 20 granos más después de calentarlo que antes? ¿Y si pesaba 80 granos más? Sólo imaginando los resultados y reflexionando sobre ellos antes de que aparezcan podemos interpretarlos fructíferamente.

**2. Sopesar el error.** Como dijimos, ningún resultado da en el clavo totalmente. Siempre hay un error y en todos los casos debemos evaluar si ese error nos parece aceptable o no. En el presente caso, tenemos que decidir si 17,38 nos parece convincentemente parecido a 20,40 o no. La tarea de los científicos siempre conlleva este tipo de análisis y de apreciación crítica.

El estudio y análisis de experimentos concretos nos permite atravesar mentalmente, o sólo con una tiza, los pormenores del derrotero intelectual de los investigadores. Podemos ponernos en sus zapatos y tratar de leerles la mente. En el intento, estamos más cerca de pensar como científicos. Y lo notable es que ocurre en el aula y sin aparatos complicados. Meter mano es importante, pero más importante aún es poner la cabeza. **CH**

### LECTURAS SUGERIDAS

**CONANT, JB**, 1957, *Harvard Case Histories in Experimental Science*, vol. II. Harvard University Press.

**HALPERIN DONGHI, L**, 1967, *Lavoisier*, Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.



#### Gabriel Gellon

Doctor en biología (PhD), Universidad de Yale.

Docente, FLACSO.

Director, portal Experimental, Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Presidente, Asociación Civil Expedición Ciencia.

[gabriel.gellon@gmail.com](mailto:gabriel.gellon@gmail.com)