



© Fondo de Cultura Económica

DE LA ALQUIMIA A LA QUÍMICA

Autor: TERESA DE LA SELVA

- [COMITÉ DE SELECCIÓN](#)
- [EDICIONES](#)
- [PRÓLOGO](#)
- [I. IDEAS ALQUÍMICAS DE UN FRAILE INGENUO Y OBJECIONES DE OTRO NO TANTO](#)
- [II. DE LA HERRERÍA A LA TABERNA VAN Y VIENEN LAS NOTICIAS Y EL SABIO AFIRMA QUE LO QUE SE TRABAJA CON EL FUEGO, ALQUIMIA ES, YA SEA EN UNA FRAGUA O EN LA ESTUFA DE LA COCINA](#)
- [PARADA TÉCNICA](#)
- [III. EN DONDE SE VE QUE, EN 1690, MECÁNICA Y ASTRONOMÍA VAN POR DELANTE DE LA QUÍMICA Y QUE ÉSTA VA POR BUEN CAMINO. PERO A LA PREGUNTA: ¿QUÉ ES EL FUEGO? SE TOMA EL CAMINO EQUIVOCADO Y SE VIVE DE ILUSIONES](#)
- [IV. EN DONDE ARRECIAN LOS DESCUBRIMIENTOS DE SUSTANCIAS AERIFORMES Y NO SE PERCIBE LO QUE SE TIENE BAJO LA NARIZ. Y EN DONDE SE VE QUE UN SIGLO DESPUÉS DE LOS PRINCIPIA SE ENUNCIA UNA LEY FUNDAMENTAL Y NACE LA QUÍMICA](#)
- [PARADA TÉCNICA](#)
- [V. EN DONDE SE COMPARAN BORLAS ANTIGUAS Y QUIETAS CUANDO SE ASISTE A UNA CONFERENCIA Y SE TOMA EL TÉ CON UN SOMBRERO ELEGIBLE. EN DONDE EL DÍA ÚLTIMO DEL AÑO SE COMPARAN VOLÚMENES Y SE DISCREPA, PERO UN ERUDITO RESUELVE LA DISCREPANCIA.](#)
- [REFERENCIAS GENERALES](#)
- [CONTRAPORTADA](#)



COMITÉ DE SELECCIÓN

Dr. Antonio Alonso

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Jorge Flores

Dr. Leopoldo García Colín

Dr. Tomás Garza

Dr. Gonzalo Halffter

Dr. Guillermo Haro †

Dr. Jaime Martuscelli

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert

Dr. Juan José Rivaud

Dr. Emilio Rosenblueth

Dr. José Sarukhán

Dr. Guillermo Soberón

Coordinadora Fundadora:

Física Alejandra Jaidar †

Coordinadora:

María del Carmen Farías



Primera edición, 1993

En la portada: *El gran duque Francisco I de Médicis experimentando*, de San van der Straet, llamado Stradanus. En el laboratorio de alquimia ha de producirse la "piedra filosofal". Los aparatos que se emplean son, en primer plano, un destilador con serpentín de refrigeración sobre un hornillo, a la derecha un enjuagador, al fondo un destilador al baño María y a la izquierda una prensa de vegetales con plantas. Junto al sabio, de anteojos y birrete, el gran duque realiza trabajos prácticos. En calidad de fámulo le asiste una mujer en ropas de hombre identificada como Blanca Capello, su favorita y, más tarde, su segunda esposa. La Ciencia para todos es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica de la SEP y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D.R. © 1993, Fondo de Cultura Económica, S. A. de C.V.

Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14200 México, D.F.

ISBN 968-16-3740-2

Impreso en México



PRÓLOGO

AL LECTOR:

Mi intención al escribir este libro es compartir, a través de un viaje imaginario encapsulado en el tiempo, la emoción que causa llegar a la comprensión de una verdad sobre la Naturaleza. Esta emoción, como la pretendo generar aquí, no es muy diferente de la que experimentaría quien después de remover trastos viejos y alzar polvo en un cuarto abandonado, encontrara los centenarios de la bisabuela.

La ciencia es aventura del raciocinio y de la imaginación y aunque el diccionario no la define así, así la vive quien la practica, sin importar si su capacidad personal es genial o modesta y sin importar si el tema del que se ocupa producirá oro a largo plazo, a inmediato plazo o nunca. Aunque sí, desde luego, con la preocupación de haber asegurado el pan de cada día. Para intentar hacer vivir aunque sea en forma indirecta y somera el destello de gozo que le puede dar a la vida el comprender algo del funcionamiento de la Naturaleza, me he centrado en las preguntas particulares: ¿de qué está hecha la materia que nos rodea y de la que formamos parte?; ¿es válido suponer que está formada por la agregación interactiva de partículas indestructibles?; ¿existen la o las partículas últimas? Para felicidad de los jóvenes con vocación de científicos, aún quedan inmensas incógnitas por explorar al respecto, pues estas preguntas, ambiciosísimas, no han recibido al día de hoy la contestación definitiva a su sentido absoluto, sino sólo respuestas parciales. En este libro se trata únicamente del primer nivel de respuestas racionales, el que da la química clásica. Es decir, se plantean las preguntas al nivel en que por partículas se está entendiendo a los átomos, y serán estas preguntas los hilos que nos guíen desde la complejidad y oscuridad de la alquimia a la sencillez y luminosidad de la teoría atómica de Dalton y de Avogadro. Así pues, no se llega aquí al nivel de respuestas sobre la estructura de los átomos ni mucho menos al nivel de las respuestas de frontera sobre las posibles partículas últimas... ¿Los quarks? Hasta donde se puedan conocer en estos últimos años del segundo milenio después de Cristo.

Al leer este libro harás un viaje, de ficción, aunque no absurdo, con personajes imaginarios pero no imposibles, al lado de las inteligencias y voluntades reales que lucharon para hallar respuestas. En este revivir sólo se te pide que te ubiques en cada época por la que transcurras, tratando de hacer a un lado el lenguaje científico que ya conoces, o que se ha filtrado a tu vida diaria sin sentir, a través de los medios de comunicación, y te posesiones de las preguntas. Que te digas a ti mismo ¿cómo me convencería de que la materia está hecha de átomos?; ¿de cuántas clases?; ¿cómo darme cuenta de que la materia, a nivel de lo pequeñísimo, no es una suerte de pasta informe y continua?; ¿qué son los elementos químicos?; ¿qué es una transformación química?

No es la intención oculta de este libro enseñar rudimentos de química, para ello ya hay suficientes libros buenos. Mi intención declarada es hacerte vivir una emoción por poder, pero la consideraría fútil si no pretendiera que quedara en tu mente algo más que la memoria de una lectura fugaz. Mi deseo es que al final admitas el hecho, no evidente y olvidado, de que la comprensión racional del mundo material que nos rodea es uno de los actos más auténtica y exclusivamente humanos que puedan darse. Por otra parte, deseo que aprecies que el conocimiento de la Naturaleza y de los beneficios o maleficios tecnológicos que de él se derivan o se puedan remediar, lo hemos heredado del esfuerzo de muchos y para que una nación se lo apropie y lo incremente en el presente, para su beneficio, se requiere la paciencia y el esfuerzo de otros muchos, continuadores de una tradición de búsqueda de conocimiento. Para decirlo en forma llana, el conocimiento de la Naturaleza no es asunto de "enchíflame otra", ni fruto instantáneo de un decreto de gobierno, por muy bien intencionado que sea, aunque sí, fruto de lenta maduración, susceptible de malograrse, si no hay un consenso claro de protegerlo y fomentarlo.

Por equipaje basta tu buena voluntad y un barniz de humanidades. Ayuda de emergencia la encontrarás en las notas de pie de página.

Una última aclaración antes de partir. Si tus intereses en la vida no han estado hasta ahora relacionados directamente con la química y si decides emprender este viaje, más vale que lo termines, pues de otra manera corres el riesgo de quedarte con los conocimientos de la época en que lo suspendas.



Inicio



I. IDEAS ALQUÍMICAS DE UN FRAILE INGENUO Y OBJECIONES DE OTRO NO TANTO

DIGAMOS que nos hallamos a principios del siglo XIV, en algún lugar de Europa, en el laboratorio de la botica de un convento. En él se encuentra escribiendo el aprendiz Zenón. La botica está atestada de redomas, alambiques y frascos, un hornillo, un crisol, muchas cucharillas y pinzas, un par de morteros y varias retortas y fueles.

La escena no sería sorprendente si no fuera porque Zenón está tratando de llevar una relación de sus experimentos con la idea de aclarar las dudas que lo asaltan constantemente. Ha empezado a dudar sobre lo que hasta ese momento habían sido verdades incontrovertibles. Se siente totalmente inseguro, ¡quién lo diría! ¡Los templarios!... Se murmuraba que su poder era enorme porque conocían el secreto de la PIEDRA, es decir el procedimiento para convertir en oro los otros metales... y en cuanto al elixir de la vida... ¡Pobres monjes! de haberlo tenido no habrían perecido y menos tan dolorosamente. ¡Los poderosos templarios! Los poderosos de ayer, hoy desaparecidos,

huidos, las cenizas de sus muertos esparcidas a los cuatro vientos.¹  Y si ellos no tenían el secreto... ¡porque es seguro que no lo tenían! De haberlo tenido no sólo se hubieran defendido, sino que hubieran prevalecido. Sin embargo, no fue así. ¿Será porque el secreto consiste en algo imposible? ¿Sus propias dudas, las dudas de Zenón, serán entonces legítimas?

Pero lo peor para Zenón, al percibir las primeras cuarteaduras de la explicación del mundo corriente en su época, de la *physica*, que ya está empezando a sonar falsa, no son tanto las dudas que lo rondan como moscardones cada vez que recibe las lecciones de fray Gildardo y cada vez que estudia sus propias experiencias, o lee los libros tan oscuros y difíciles de entender, sino el darse cuenta de que lo más importante para él, ya no es aprender para curar a los hermanos, ni para fabricar sustancias que hagan la vida de todos más fácil y a la Orden más rica y poderosa, sino comprender por PROPIA CUENTA. ¡Justo como si los antiguos hubieran sido unos mentirosos! Pero ése es el asunto, ésa es su inquietud, ya no creerles, sino verificar él mismo sus afirmaciones, hallar la verdad sobre la constitución de la materia y sobre la transmutación de los metales, por sí mismo. Y así, mientras se cuecen lentamente en las retortas los extractos de las más diversas plantas, Zenón lee y practica la alquimia con la anuencia de fray Gildardo, su maestro, ahora boticario del convento, en casos de emergencia hasta herrero y siempre a cubierto o a descubierto, filósofo alquimista.

Fray Gildardo acusa a Zenón de curioso, pretencioso y rebuscado; al muchacho en realidad esto no le importa mayormente y fray Gildardo sabe que es injusto con él. Porque en el fondo Zenón tiene razón, la mayor parte de los libros son un enredo incomprensible y lo peor del caso es que han sido escritos deliberadamente así. ¿Para ocultar secretos valiosos? ¿Para esconder la propia ignorancia, porque en verdad no entienden lo que ocurre en los procesos del laboratorio?, o lo que no es peor, ¿para obtener ganancias ilícitas? ¿Para darse importancia? ¿Por diabólico afán de confusión?

Según Geber,²  no hay que permitir que la facilidad con que se puede obtener el oro lleve al adepto a revelar el secreto, ni a la esposa, ni al hijo más querido, menos aún a cualquier otra persona, porque el oro se fabricaría tan comúnmente como el vidrio en los bazares y el mundo se corrompería. ¡Mira cuánto escrúpulo, viejo mañoso!, murmura Zenón.

Otra debe ser la razón, por la que fray Gildardo le recomienda que si ha de describir, describa lo oscuro mediante lo más oscuro y lo desconocido mediante lo más desconocido.³  ¿Quizá porque el hallazgo de la Piedra deberá ser una revelación divina ganada a pulso en el laboratorio por el adepto y no sacada de los libros? Y sin embargo, ocurre que el mismo que le aconseja oscuridad para escribir, lo conmina al estudio total de las palabras de los filósofos alquímicos. Luego entonces fray Gildardo aún tiene la esperanza de que algo se encuentre por la lectura de los libros y no hay por qué asombrarse de esta contradicción en fray Gildardo, cuando el mismo Geber admite:

"Mis libros son numerosos y la ciencia está dispersa en ellos. Quien se ocupe de reunirlos, reunirá la ciencia, se encaminará a su meta y tendrá buen éxito, porque he descrito toda la ciencia sin guardar en secreto ninguna parte de ella; el único enigma está en su dispersión."

En efecto, no hay un capítulo que esté completo en sí mismo, todos son oscuros y están mezclados a tal grado que

uno se pierde en ellos, la ciencia está confundida y mezclada con otras cosas.

"¡Lee, trabaja, cuece, destila!", es lo que fray Gildardo le dice sin cesar, pero cosa curiosa no le dice "¡observa, reflexiona, duda, ordena!"

Es extraño, tal parece que su maestro considera la *opus* (obra) en varios niveles. En uno de ellos, parecería que mientras se esfuerza sobre las sustancias y las transforma, el mismo adepto se transforma en su interior, y las operaciones en el laboratorio, que tienen una finalidad práctica, al mismo tiempo constituirían una disciplina para prepararlo a recibir el SECRETO, siempre que se mostrara digno de ello. Así, detrás de la finalidad práctica parece haber una finalidad mística. Las operaciones del laboratorio serían símbolos de la transformación de su persona, y viceversa. Unos cambios son la analogía de los otros y el logro práctico de obtener oro depende de cómo y de qué manera su trabajo haya transformado su alma y su mente, y bien pudiera ser que la Piedra Filosofal fuese también el logro de una revelación sobre sí mismo. ¡Cuán evasivo se muestra a este respecto su maestro! ¡Qué poco claro es! ¡Y cómo desdeña todo intento de clasificación u ordenamiento!

Dentro de poco entrará fray Gildardo a discutir sobre lo que ha leído. Mejor será que ordene sus ideas, quizá esta vez pueda hacerle comprender su punto de vista.

—En esencia, el asunto de la constitución de la materia es lo que entusiasma a los filósofos griegos, pero no se interesaron por llevar a cabo la transmutación de una piedra, como se suele llamar a los metales, en otra...

—¡Cuidado, ya estás otra vez hablando con ligereza de las operaciones de la *opus* divina que nos ocupa! Los griegos no se interesaron por la elevación y perfeccionamiento de los metales bajos e impuros, en el oro perfecto querrás decir. Y la razón me parece es que no se mostraron dignos de esta empresa sublime.

—¡Oh no, más bien yo diría que consideraban servil y poco digno de un ciudadano libre fatigarse usando las manos. Las experimentaciones con la materia las estimaban asunto propio de los esclavos o de los bárbaros. Para ellos lo interesante era construir a base de lógica una explicación racional y razonable del mundo. Postularon que éste es comprensible, así que bastaría con el ejercicio de la inteligencia para hallar de qué manera está hecho.

—Sí, sí, se ve que el arte de trabajar los metales para las armas y los tintes y los vidrios para el vestido y el adorno lo heredaron de los egipcios y los babilonios; en nuestra obra, por el contrario, no se trata de lo que nos parezca razonable o no, se trata de trabajar y obtener el resultado, no de probar que somos muy listos, así que te puedes ahorrar el relato de todas estas elucubraciones. Por otra parte, tampoco nos interesa utilizar el Arte Mayor para alimentar la vanidad de este mundo. Insisto, procura en tu trabajo ir siempre en la dirección que eleva y no en la que rebaja y no te refieras a estas maneras de proceder como equivalentes, recuerda lo que dice el rey Alfonso *el*

Sabio,⁴  "Por eso los que se ocupan de alquimia, a la que llaman la obra mayor; deben parar mientes que no dañen el nombre del saber, pues alquimia tanto quiere decir como maestría para mejorar las cosas que no empeorarlas. De donde, los que toman los metales nobles y los mezclan con los viles, no entendiendo el saber ni la maestría, hacen que no se mejore el vil y dañase el noble, y así hacen gran yerro en dos maneras: la una que van contra el saber de Dios, y la otra, que hacen daño al mundo."

—Volviendo a tus lecturas, si te he recomendado que leas a los antiguos, es para que te convenzas de que nada menos que Aristóteles, el griego que tanto admiras, acepta la existencia de los cuatro elementos postulada por Empédocles. *Todo*, óyeme bien, *todo* está formado por partículas pequeñísimas de sólo cuatro clases, de aire, de agua, de fuego, y de tierra. Y no sólo ellos, el mismísimo Platón hasta sugiere cuáles formas hayan de tener; las de fuego según él, tienen forma de tetraedro, las del aire de octaedro, las del agua, de icosaedro; y las de tierra de cubo. Así, no veo por qué haya de ser en principio imposible alterar las proporciones de estos cuatro elementos en las piedras no perfectas hasta ajustarlas a la proporción áurea, es decir, a la proporción propia y perfecta del oro.

Zenón permaneció callado mientras en su mente se preguntaba con sarcasmo cuándo y cómo Platón había visto las partículas de los elementos y se decía: el filósofo piensa que deben tener esas formas porque son bellas, porque su área se puede conocer, y sobre todo, pensó irreverente, porque son las que él puede imaginar por construcción a base de triángulos. Fray Gildardo, juzgando que su lección ya se habría abierto camino en el entendimiento de su novicio, continuó:

—Ahora, dime tú, si observas con cuidado a tu alrededor, en el laboratorio se sublima, se destila, se calcina, se disuelve, se cuece. ¿Por qué crees que lo hacemos?

—Para cambiar las proporciones de los elementos en las piedras y así transformar las bajas o impuras en las nobles.

—¡Bien contestado! Pero notarás que nuestras operaciones son más drásticas que las que observas en la Naturaleza, ¿cuáles son éstas?

—Crecimiento, maduración, envejecimiento, fermentación, coagulación, putrefacción, evaporación y fijación.

—¡Ajá! Como ves, todo es cambio, todo es proceso, unas sustancias se transforman en otras. Comemos, y lo que comemos se transforma en carne, huesos, pelo, sangre, etc.; el vino se transforma en vinagre; el azúcar, en alcohol. Nosotros los alquimistas buscamos el proceso, el camino, la vía, la sucesión de transformaciones que conviertan a cualquier sustancia en oro. Podríamos decir que buscamos la semilla, porque es indudable que los metales en la Naturaleza crecen como las plantas; así en la Naturaleza, que es sabiduría de Dios, ocurre un proceso de perfección o elevación incesante; dado tiempo suficiente, los metales bajos, como plomo y cobre, terminarán por convertirse en oro. Nosotros en el laboratorio, tratamos no sólo de hallar el proceso, sino de acelerarlo porque nuestra vida es corta. Algunos piensan que los metales se desarrollan en el interior de una suerte de huevo en las profundidades de la Tierra como los huesos en el interior de un embrión; así, yo creo que cuando se habla del huevo filosofal, se trata de un símbolo referente a la materia dentro de la retorta en cuyo interior se busca que ocurra rápidamente la misma maduración del oro que en la Naturaleza ocurre lentamente. Es preferible hablar de semilla, recuerda cómo para iniciar una cristalización se comienza con un pedacito. Hablar de huevo filosofal me parece una exageración propia de mentes frívolas que se dejan seducir por la forma de la retorta.

—Sí, ya veo, es indudable que su forma recuerda al cántaro materno...

—O a una gaita —añadió sonriente fray Gildardo y continuó—. ¡No faltan los superficiales que sólo se atienen a las apariencias creando confusión! Las retortas se construyen así desde la Antigüedad porque así cumplen bien las funciones que les son propias como la destilación o como la captura de espíritus; su forma, estoy seguro, no influye en los procesos que ocurren dentro de ellas.

—¡Claro que no! Eso sólo ocurre en la magia.

—¿Qué dices? ¿Qué sabes tú de magia? —interrogó fray Gildardo con ceño fruncido y alarmado—.

—No, nada, sólo que, bueno, que...

—¿Que, qué?

—Pues... que magia es la realización de formas, gestos o ritos con un objetivo determinado pero sin relación causal ninguna con el efecto que se persigue.

—Como el estudiante, que va a la biblioteca, oye al maestro, se viste como estudiante, habla como tal, hace todos los gestos y toma todas las poses de un estudiante, hasta asiste a las lecciones, pero no estudia y cree que va a aprender. ¡Ejemplo acabado de magia vivida! —concluyó fray Gildardo moviendo la cabeza—.

—Volviendo a lo nuestro —continuó—, nota también que la meta de la *opus* es el oro alquímico, no sólo el oro metálico, sino el alquímico, es decir conjuntamente la Piedra Filosofal, el elixir de la vida y la materia primordial. Sí, sí, no te asombres, la materia primordial, así como suena. Aristóteles también aceptó esta teoría que sostiene que todo lo que vemos, incluidos los cuatro elementos, son sólo condensaciones y enrarecimientos de una materia o sustancia única. Éste es claramente otro punto de vista, y desde él, diría que nuestra meta es hallar la forma en que la materia primordial se supera en oro. Además, ya habrás leído que Geber considera que todos los metales están constituidos de sólo azufre y mercurio. Según este otro punto de vista, nada se opone tampoco a la posibilidad de ennoblecer los metales hasta convertirlos en oro. ¡Claro, siempre y cuando se atine con el secreto para poder modificar la proporción de estos principios en cada metal bajo! Así que tú ves que no se gana mucho con teorizar.



Figura 2. Huevo filosofal.

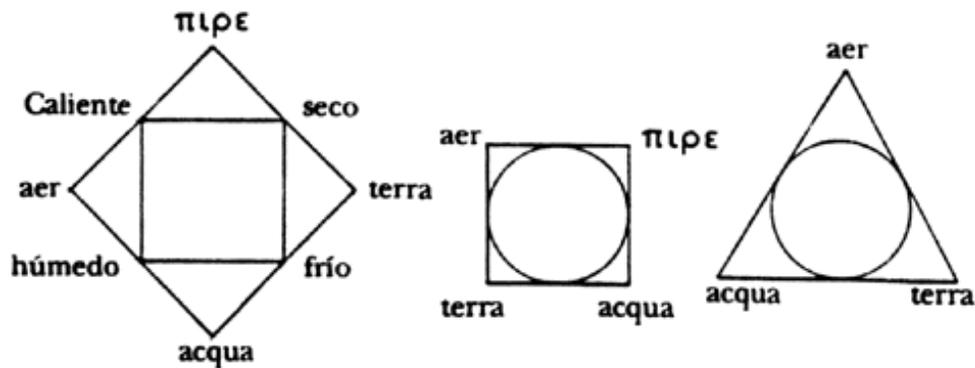
Pero de lo que Zenón dudaba era justamente de la posibilidad de la transmutación, y fray Gildardo, por su parte, primero la postulaba, después señalaba que las teorías de los sabios no se oponían a ella y finalmente interpretaba la evidencia experimental, negativa, al respecto, como debida a torpeza, indignidad o falta de imaginación del adepto.

Viendo que una confrontación directa sobre el tema no lo llevaría más que a un disgusto, Zenón trató de irse por el camino de las preguntas.

—Pero ¿por qué he de considerar al oro como más perfecto que la plata o que el cobre?

—Porque es incorruptible. Te consta que el aceite de vitriolo⁵  no lo disuelve y por más que lo fundas no se estropeará. Además, ¿cuándo has visto orín de oro? Esto sólo puede deberse, hasta donde mi práctica me ha llevado, a que se compone de una proporción igual de los cuatro elementos; la plata, en cambio, no contiene suficiente fuego, por eso es blanca; y en cuanto al cobre, contiene fuego, tierra y aire, pero poca agua. Mira, ya tú sabes, la materia se representa como un cuadrado dentro de un cuadrado, así, y el oro al ser perfecto se representa mediante un círculo dentro de un cuadrado, y la plata mediante un triángulo; en el vértice superior, el aire, porque tiende a escapar hacia arriba, y en los vértices inferiores el agua y la tierra, la una porque se escurre y la otra porque se cae.

—Pero ¿cómo probar tal cosa? Me refiero a la composición. ¿Cómo separar los elementos y volverlos a reunir en la proporción deseada? y ¿cómo concebir una alianza entre opuestos tales como agua y fuego?



—Sí, sí, he aquí un punto delicado; por un lado, Aristóteles sostiene que los elementos cambian su Naturaleza al entrar a formar parte de un compuesto alquímico, pero por otro lado no pienses que necesariamente se trata del agua que se bebe cuando se escribe del elemento agua, pudiera tratarse del mercurio o de otro *líquido*, por ejemplo del alcohol, precisamente "agua ardiente", y además, quizá el término fuego tampoco deba entenderse tan literalmente.

—¡Entonces, no podemos afirmar nada con certeza, porque no nos consta y ni siquiera estamos seguros de los términos que usamos!—exclamó indignado Zenón llevándose las manos a la cabeza—. Por fin —preguntó irritado—, ¿se afirma que todo está constituido por cuatro elementos, o se afirma que todo participa de lo líquido o

húmedo, de lo seco, de lo ligero y de lo pesado?

—¿Quieres decir con esto último que se trata de cualidades? ¿Algo así como que de músico, poeta y loco todos tienen un poco?... No sé realmente —murmuró humilde fray Gildardo—.

—En cualquier caso —repuso—, que el agua entra en la composición de los metales, lo puedes ver notando su fusibilidad, una vez fundidos se pueden volver a solidificar, de la misma manera que el agua se solidifica en hielo, por ello, no es descabellado que algunos adeptos los llamen aguas, y además es un uso autorizado. Si lees el *Timeo*

⁶  allí dice literalmente:

"Hay otra clase de condensación que tiene partes como de oro con una pequeña y fina proporción de tierra, lo que la hace más dura que el oro y sin embargo más ligera por los grandes huecos que tiene adentro; y esta substancia que es una de las más brillantes y densas *aguas*, cuando se solidifica se llama cobre."

—Además, hay al menos un caso, recuerda, en que se puede mostrar, con experimentación, la existencia de los cuatro elementos, cuando se quema una rama verde...

—¿Se refiere Su Reverencia a que cuando se quema una rama verde, da humo, que se supone es el aire, da un líquido que hierve en los extremos, que se supone es el agua, da luz y calor que testimonia la presencia de fuego y deja un residuo que no arde y que se supone es tierra?

—¡Amén! —finalizó fray Gildardo muy satisfecho—.

Zenón, poco convencido y llevado de su espíritu de contradicción, replicó al cabo de un rato, después de retirar del horno un crisol y depositarlo con cuidado a que se enfriara, bajo la campana para humos.

—¡De ninguna manera! El oro es el más perfecto porque no tiene impureza, los demás metales tienen impurezas, esto es, más tierra de la que deberían, lo dice también Platón en su *Timeo*.

—Sí, pero ¡nada de esto se relaciona directamente con una operación de laboratorio!

— Bueno... es verdad, pero admitirás que el oro, te lo repito, a diferencia de los metales bajos, no se disuelve en el solvente muriático, ni en el agua fuerte, sólo en el agua regia.⁷  Pero además es evidente que el oro es amarillo como el Sol, se trata pues del principio masculino, y la plata es blanca como la Luna, se trata pues del principio femenino casto. En cuanto al cobre, se trata del principio femenino corrupto, no olvides que proviene de las minas de Chipre, reino de Cipris, la Afrodita tentadora y corruptora. Por ello la transmutación del cobre en oro sería una verdadera purificación,⁸  una elevación, y un ennoblecimiento.

Al llegar aquí fray Gildardo, Zenón se mordió los labios para no comentar que María la judía, la famosa alquimista de la Antigüedad, tan experta en cocciones suaves y lentas, al "baño de María", pudiera no estar de acuerdo con semejantes analogías. Queriendo distraer la irritación creciente que advirtió en su maestro, Zenón continuó.

—Del plomo podríamos así pues decir que tiene exceso de tierra y agua, faltándole aire y fuego, lo que lo hace pesado y gris, pero ¿por qué asociarlo con Saturno? Yo pensaría que con Plutón y por tanto con las regiones infernales, precisamente por su pesadez... pues ¡se va para abajo!

Como este comentario dejara a fray Gildardo sin respuesta, Zenón no resistió puntualizar,

—Además, el cobre no sólo se obtiene de las minas de Chipre, sino también de las del Sinaí. —Como fray Gildardo sólo atinara a morderse los labios, Zenón admitió—. Sí, en verdad una moneda de oro, o un salero, o un adorno de oro es mucho más hermoso que si es de cualquier otro metal. —Fray Gildardo se contentó con asentir, y después de un largo silencio en que ambos soñaron sus diferentes sueños de transmutación, Zenón decidió cambiar de tema—.

—Quizá le divierta saber cómo mostró Empédocles que el aire debe ser considerado como uno de los elementos materiales por derecho propio y no simplemente un estado de transición entre el agua y el fuego, como pensaba Heráclito.

—¿Sí?

—¡Siempre hay excepciones, he aquí a un griego que filosofa y experimenta! O al menos que ilustra su teoría con un experimento. Hizo fabricar una clepsidra muy sencilla, consistente en un cono hueco de bronce con perforaciones en la base y en el pico, de tales proporciones que al colocarlo sobre un balde con agua se hundía en el tiempo que va de sexta a nona ⁹ . La demostración de Empédocles consistía en hacer lo siguiente: tapaba con su dedo el orificio del pico del cono, lo forzaba dentro del agua y mostraba primero que ésta no podía llenarlo y segundo que, al retirar el dedo, el aire salía bruscamente del cono ocupando el agua su lugar. Razonó que si el aire impide entrar al agua y ésta entra sólo cuando éste sale, entonces se trata de algo tan material como el agua misma.

—¡No cabe duda, los griegos son astutos! No puede uno imaginar a Odiseo, el más astuto de los hombres, más que como griego. Figúrate que Empédocles postuló otra cosa muy interesante. Ante la dificultad de conciliar opuestos como agua y fuego, dificultad que ya señalaste, supuso la existencia de otras dos substancias no menos materiales, las cuales por así decirlo harían el papel de aglutinantes entre los cuatro elementos y las llamó amor y enemistad, yo diría afinidad y repulsión.

— Ya que Su Reverencia mencionó antes al *Timeo*, allí, donde se afirma que Dios cortó el espacio o la materia primordial en pequeños triángulos y con ellos formó las partículas de los cuerpos elementales, con sus distintas formas geométricas, de los cuales a su vez construyó las plantas, los animales y el hombre, se está de hecho señalando la existencia de partículas inalterables, en parte en coincidencia con la teoría de Demócrito, quien postula que los cuerpos de la Naturaleza resultan de la combinación de unidades materiales, indestructibles, sólidas...

—En efecto —interrumpió fray Gildardo entusiasmado—, según Demócrito, deben existir los indestructibles ínfimos o los átomos, todos ellos compuestos de la misma materia, difiriendo sólo en tamaño, forma y movimiento; así, las partículas de fuego, según Demócrito, serían redondas y estarían en movimiento perpetuo. Ahora que, si los triangulitos de Platón tienen relación con los átomos durísimos e inalterables de Demócrito, o con los cuatro elementos, ¡no lo sé y no interesa saberlo!

Ante este arranque de su maestro, el rostro de Zenón se iluminó:

—¡Claro que no! Lo interesante sería hallar el experimento que pruebe la existencia de los átomos a manera de que, sin verlos, tengamos que concluir que existen. Ensayar una y otra vez, sin prejuicios, en silencio por así decirlo, para poder escuchar lo que la Naturaleza tiene que decirnos. Así como lo pidió fray Rogerio Bacon de santa memoria.

—¡Zenón! ¡Muchacho! ¡Eres una fuente de tentaciones para mí! Debiera suspenderte un tiempo de tus labores en el laboratorio y en la biblioteca... pero ello no suspendería ni tu curiosidad ni la inquietud de tu mente y además creo que es mejor mucha ciencia que poca ciencia... en fin... No eres el único hoy que está en vena de sorpresas. ¿Sabes cómo argumentó Tito Lucrecio Caro que los átomos existen y están en movimiento incesante?

—No, Su Reverencia, ya he querido leer a Lucrecio, pero está en la lista de autores a los que un mero novicio como yo no tiene permiso de acercarse, a menos que llevara autorización escrita, si Su Reverencia se sirve dármela...

—No, no, que te baste saber que discurre sobre las motas de polvo que se advierten en cualquier rayo de luz que se filtre por una rendija en una habitación oscura. Todos hemos visto ese danzar incesante y no le hemos prestado atención, quizá porque hemos pensado que se debe al movimiento de corrientes de aire. Sin embargo, Lucrecio sugiere algo muy diferente: "su danza —escribe— es una indicación actual de los movimientos subyacentes de la materia que están ocultos a nuestra vista. Ves muchas partículas de polvo sujetas a los impactos invisibles que las hacen cambiar de curso, de esta manera y esta otra, en todas direcciones. Debes entender que todas obtienen esta inquietud de los átomos. Ella se origina con los átomos, que se mueven por sí mismos... así, el movimiento sube desde los átomos y gradualmente emerge hasta alcanzar el nivel de nuestros sentidos".¹⁰ 

Zenón se levantó de un salto y por poco derriba una redoma. Rojo de entusiasmo exclamó:

—¡Pero que se podría argüir, con igual validez, que en las motas de polvo existe una manera de vida elemental! ¡Y que el movimiento incesante no es tan diferente del que se observa en la boca de un hormiguero sólo que en escala mucho más pequeña! Justamente, el punto es ¿cómo probar una cosa o la otra?

—Pues mira —replicó muy serio fray Gildardo—, se dice que Lucrecio escribió entre los intervalos de lucidez que le dejaba su mente enferma, aunque nadie puede saberlo; bien pudo haber sido al revés, en todo caso su hipótesis me parece más razonable que la tuya, porque las formas con vida tienen un objetivo, las hormigas almacenan comida, esto se ve con observarlas atentamente; en contraste, no es obvio ningún objetivo en la incesante danza de las motas de polvo y sobre todo, el caso es que Lucrecio hoy se encuentra más allá del bien y del mal, en cambio tú... ya que has traído a colación a Bacon, toma escarmiento, no te ocurra lo que a él, que fue suspendido y encerrado muchos años por andarse con curiosidades y actitudes como las tuyas. La época en que vivimos es peor que la suya. En sus tiempos, la práctica del Arte Mayor era legítima. Has de saber que ahora en los nuestros ha dejado de serlo. Acaba de ser promulgada una bula prohibiendo la práctica del Arte, así que mientras más discretos nos mostremos, mejor.

—¡Pero si el mismo Juan XXII es un adepto! ¡No es posible!

—Sí que lo es.

—¡El viejo zorro! —comentó enojado Zenón que se sintió amenazado hasta la médula —.

—¡Pero si se rumora —continuó levantando aún más la voz— que es muy ambicioso! Lo que pasa es que no ha de querer competidores en la busca de la Piedra Filosofal, aunque viendo los años que tiene y no se muere, quizá ya tenga la Panacea.

—¡No se trata de nada de eso! —replicó fray Gildardo—. Lo que ocurre es que el escándalo de las estafas realizadas por alquimistas deshonestos tiene a la gente muy alborotada. ¡Sin mencionar la magia con que se ha deshonrado el buen nombre del Arte Mayor!

Por un rato permanecieron en silencio, fray Gildardo con expresión suspendida se frotaba las manos calibrando hasta dónde podría ser franco con Zenón, pues le tenía afecto, y aunque temiera su audacia, le dolía la desesperación de sus ilusiones juveniles amenazadas. Por fin, al oír la llamada de vísperas, fray Gildardo comentó:

—¡Calma, muchacho! Muchos adeptos están confundidos y se han desviado por los pantanos de la herejía. Muchos creen que los procesos que los hombres testimonian en los cielos y en la Tierra, manifiestan la voluntad del Creador, lo cual no encierra nada nuevo ni falso, pero el caso es que están firmemente convencidos de que si tales procesos, una reacción alquímica pon tú, o un eclipse, son correctamente comprendidos, éstos revelarán Sus

intenciones¹¹  respecto del destino de los hombres. ¡Como si el conocimiento de la voluntad divina al respecto de nosotros no nos hubiera sido dado ya de una vez por todas en las Escrituras, y hubiera que andarlo indagando por las propias fuerzas! Así que se ve que el francés ha querido cortar por lo sano, lo que no quiere decir que nosotros no continuemos en la *opus* ¡Claro, con toda la discreción del caso!

Y cubriéndose con la capucha salió del laboratorio.

A la mañana siguiente, Zenón entregó una copia manuscrita de sus reflexiones a su maestro. En ellas había optado por la claridad en contra de la oscuridad. Su verdadera intención era ordenar sus propias ideas, y dado el caso en que por desgracia se viera interrumpida su actividad, poder recordar más tarde lo más importante de sus observaciones. Defendía su desobediencia al precepto de la oscuridad apelando al *Libro del secreto de los secretos* de al-Razí,¹²  libro excepcional entre los de alquimia por su relativa claridad, pese a su nombre.

"Es verdad, reconocía, que al-Razí no pareció sentir ningún interés por la constitución de la materia, sólo por sus transformaciones en sustancias útiles; era ante todo un hombre práctico. ¡Pero cuánto más es necesario ser ordenado en los pensamientos si uno tiene intereses más allá de la sola técnica! ¡Si lo que uno busca es la comprensión de los fenómenos! Y así se decía, si no llego a la Piedra, dejaré al menos allanado el camino al que me siga, y seré útil como al-Razí lo ha sido para mí. Por otra parte, escribía, no creo salirme del sendero trazado por san Alberto *Magno*, quien dijo alguna vez que la filosofía natural era la investigación de las causas de los fenómenos naturales."

Después de esta corta defensa, Zenón se lanzó a la exposición de sus ideas y observaciones. "Ante todo, escribió, la materia que observo a mi alrededor es muy complicada, y si he de querer entender los cambios que sufre y su constitución, tendré que cerciorarme de que cada muestra que emplee sea pura. Pero ¡cuidado! Para mí, la cualidad de la pureza no será la que impongan mis prejuicios; las normas de lo bueno y de lo bello son para ser aplicadas a

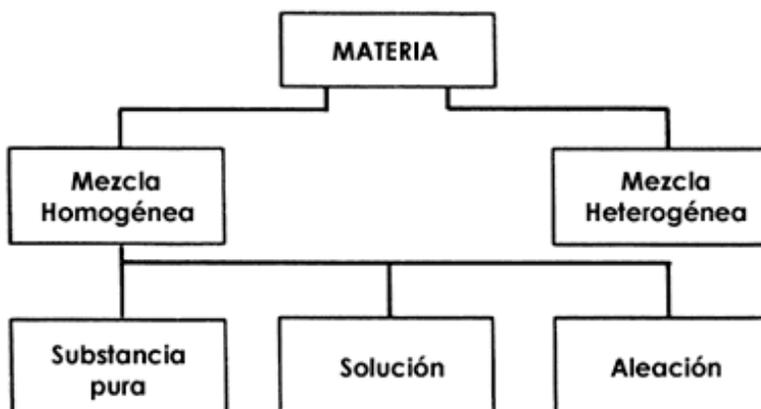
las acciones y a los actos de los humanos si así lo escoge cada quien, pero no son para ser aplicadas a la materia. ¿Por qué ha de ser intrínsecamente mejor el oro que el plomo o por qué he de llamar vil al hierro?

"Lo primero que en realidad debe interesar a un alquimista es saber hasta qué punto cada parte de una muestra de materia es idéntica a cualquier otra parte de ella. ¿Cómo saberlo? Por ejemplo, en una muestra de arena de mar, noto cuatro diferentes clases de partículas, y un adepto con mejor vista que yo es probable que distinga más clases. Se trata de una mezcla. Ahora que, si la muestra es un pedazo de roca grana, también distingo en ella diferentes clases de partículas, y como reza el antiguo texto, reconozco en ella cuarzo, feldespato y mica. Digamos que pulverizo la roca en el mortero, y digamos que puedo separar cada una de las diferentes clases de partículas que hay en ella, tengo entonces un número de muestras puras. Así, un primer criterio para afirmar que una muestra de materia es toda de lo mismo, esto es, que es pura, es que sea homogénea... Sin embargo, esto no es suficiente, porque puedo tener mezclas homogéneas, por ejemplo el bronce. Yo sé, ya sea porque lo fabriqué, o porque sé que fue fabricado, que no es cobre puro ni estaño puro, sin embargo es homogéneo. Otro caso lo tengo en el agua salada: es homogénea pero no es pura agua ni pura sal, y otro tanto el vino aguado. Diré entonces, a falta de algo mejor, que una muestra de materia es pura cuando tiene al menos apariencia homogénea, es decir, sus propiedades permanecen las mismas: olor; color, pesadez, aspecto general, fusibilidad, en cualquier porción de ella, siempre y cuando no se trate de una solución (azúcar en agua, por ejemplo), ni de una aleación (el bronce, por ejemplo).

"En resumen, en un primer acercamiento a toda materia, puedo plantear la siguiente figura:

"Cómo distinguir entre las tres últimas clases de sustancias, no está claro. De las soluciones puedo decir que las puedo separar por destilación, pero ¿y las aleaciones?

"Ahora bien, en todo caso será a partir de la transformación de las sustancias puras de donde habré de obtener pruebas de los átomos o de los elementos y de la relación entre ellos. Sólo trabajando con sustancias puras podré controlar lo que sucede.



"Pregunta: ¿En una sustancia pura hay una proporción fija de los cuatro elementos o, más bien, está constituida de un número predominante de átomos todos iguales, de cierta clase que le es peculiar, como sostiene Anaxágoras?

"Respuesta: No se tiene prueba alguna sobre esto, ni en un sentido ni en otro. ¿Qué hacer para obtener esta evidencia? No se me va a ocurrir algo por inspiración divina, el Señor no va a hacer la tarea que me corresponde a mí. Seguiré pensando, ensayando y ordenaré lo que sé.

"Pregunta: Por otra parte, ¿es posible clasificar; aun cuando sea burdamente, todas las transformaciones que podemos realizar en el laboratorio?

"Respuesta: En un primer acercamiento a los diversos cambios a los que se puede someter una muestra, noto que los hay de dos clases. Primera clase, los que pueden ser invertidos muy fácilmente como por ejemplo fundir el hielo y volverlo a congelar; fundir el Hg^{13} y volverlo a solidificar, destilar el H_2O ; en cada caso, para mí, que la sustancia sigue siendo la misma. Mi maestro no estaría de acuerdo, diría por ejemplo que al destilar agua mercurial estoy añadiendo fuego y aire al mercurio, con lo que se transforma en "espíritu de Hermes", sustancia diferente del agua mercurial, formado por el mercurio original, ahora con mayor proporción de aire y fuego, y que si extraigo estos dos últimos elementos, al condensarlo, vuelvo a recuperar el agua mercurial. ¡Pero no!, ¡no! y ¡no!

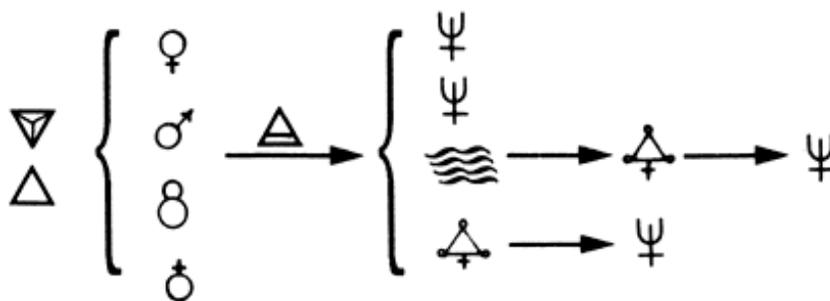
¡Decir que ocurre esto es completamente gratuito! También es posible pensar que con el calor o el fuego puedo transformar al mercurio líquido, en la *misma* substancia mercurio, sólo que etéreo. Y lo mismo puedo decir de la transformación hielo → agua → vapor. Pero entonces... el fuego ya no sería uno de los elementos materiales sino que... ¿Qué?... ¿Una suerte de agente que me permite la transformación de agua a espíritu? ¿Qué es el fuego entonces? Y en estas transformaciones, ¿qué podría decir respecto del aire? ¿Que nada tiene que ver con el asunto?... Debe haber una manera de probar mi punto de vista. Por el momento llamaré a estas transformaciones, en vista de que no alteran permanentemente a la substancia de la muestra, y porque son fácilmente invertibles, *cambios físicos*. Y cosa curiosa todos los que conozco se llevan a cabo por calentamiento o enfriamiento...

"Una segunda clase de cambios la constituyen los que son difíciles de invertir; en los que, según mi opinión, en ellos una substancia pura sí que se transforma en OTRA u OTRAS. Por ejemplo, si dejo una lámina de hierro a la intemperie sin cubrirla con cera, veo que se va transformando en orín, esto es, en un polvo anaranjado; así, de tener una hoja de metal, fuerte, dúctil y gris, paso a tener un polvo anaranjado. La substancia original desaparece y aparece otra. Tales cambios los llamaré cambios alquímicos éstos difícilmente pueden ser invertidos por el mero cambio de las condiciones de enfriamiento o calentamiento; así, si dejo el polvo anaranjado a la intemperie o lo caliente en un crisol abierto no se convertirá por sí solo en hierro otra vez. En algunos casos, los cambios alquímicos sí se pueden invertir; pero la forma de llevar a cabo la inversión es en general diferente de la forma en que se llevó a cabo el primer cambio. Lo que sí puedo afirmar con toda seguridad es que para que ocurran se requieren no sólo calentamientos sino *contacto* entre diferentes substancias.

RESUMEN DE CAMBIOS ALQUÍMICOS

Los que se consiguen por Vía Seca:

"Obtención de calx (cales, caliches, cenizas o escorias):

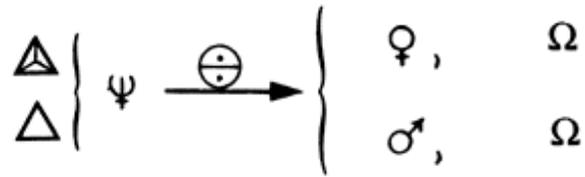


Para conseguir este tipo de cambios, es indispensable que el crisol se encuentre descubierto, y en el caso del ☉ ayuda mucho a soplar con el fuelle. Es pues indispensable el contacto del metal con el aire. En estos casos no puedo decir de ninguna manera que el aire sale sobrando. Pero ahora, ¿podré decir que los calx son los metales mismos pero llenos de poros con aire como pretenden algunos, en una suerte de mezcla? No, esto es una tontería y se puede probar que lo es de inmediato: por más que golpee el calx para expulsar el aire no conseguiré jamás recuperar el metal. Ahora sí, en éstos casos, diré con mi maestro que un calx es una substancia diferente del metal, compuesta del metal más aire más fuego, pero unidos entre sí de modo que no los puedo separar por medio de métodos que no involucren fuego ni contacto con otras substancias, o sea unidos de tal modo que no los puedo separar por medios no alquímicos.

"Obtención de los metales a partir de tierras y cales

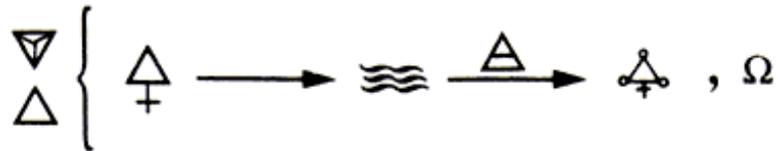
(inversión de la operación anterior).

"Nótese que, para invertir el cambio alquímico metal → calx es indispensable la presencia de ☉ :



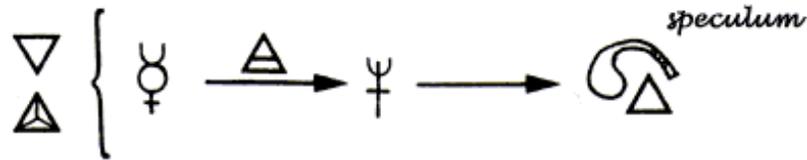
etc., con las distintas cales. ¡Que curioso, si pienso que el calx es el metal impuro, para "purificarlo" tengo que añadirle más ☉ esto es, más mugre! Me gustaría saber que contestaría Fray Gildardo a esto. ¡A lo puro con lo más impuro! No le haría ninguna gracia, pues esto suena muy parecido a lo que andan diciendo por ahí algunos iluminados. De estas operaciones la más vistosa es la que corresponde a la extracción del cobre, un líquido rojo a partir de calentar la malaquita, que es una tierra verde, con carbón.

"Un caso aparte es el siguiente, en el que el resultado en vez ser un calx es un espíritu acre que en verdad mi maestro calificaría de infernal:

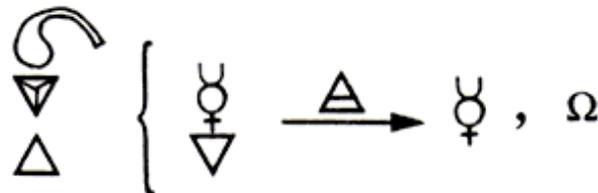


Esta última operación no la he podido invertir por la dificultad de atrapar el espíritu que corroe las vejigas y se escapa.

"Con el mercurio también encuentro la formación de escoria de la misma manera, sólo que toma horas y tengo que estar soplando aire:



"Esta operación es más fácil de invertir que las anteriores, pues basta con calentar la escoria en un alambique, para obtener el mercurio en forma de espejo y de gotitas en lo alto, *sin necesidad de carbón*. Pero ¡hay otra escoria que se transforma en agua mercurial! El cinabrio de España, que para transformarse en mercurio requiere de aire en vez de "mugre":



y que además desprende un espíritu idéntico, según juzga mi nariz, al que se desprende con el ☿, totalmente distinto del que se desprende cuando se usa el vegetal fijo puro.

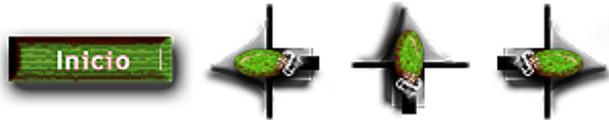


Figura 5. Mercurio filosofal (Catedral de Notre-Dame, París.)

"En resumidas cuentas, en los cambios físicos las sustancias se conservan las mismas y aunque se requiera el fuego; éste no se... ¿cómo decirlo?... no se casa con las sustancias; en los cambios alquímicos ocurre un cambio de la sustancia porque se da una asociación íntima de la sustancia original con otras como fuego, aire, carbón, etc. Ahora me doy cuenta, ésta es la razón por la que los cambios químicos son lo que en algunos manuscritos herméticos se denominan las "bodas alquímicas". ¡Ajá!, matrimonio indisoluble, bueno, ¡casi!

"Respecto a lo que he dicho de que no hay prueba en contra de que una sustancia esté hecha de sus propios átomos que le son peculiares, en el caso de los calx tengo ante mí el hecho de que siempre están formados del metal, de aire, de fuego y en ocasiones de azufre: esto apunta más bien en la dirección de que son combinaciones del metal con dos de los elementos básicos y otras sustancias y no que cada uno esté formado por sus propios, peculiares e indestructibles átomos.

"Consideraré ahora la obtención de las tres aguas fuertes más importantes. Comenzaré...

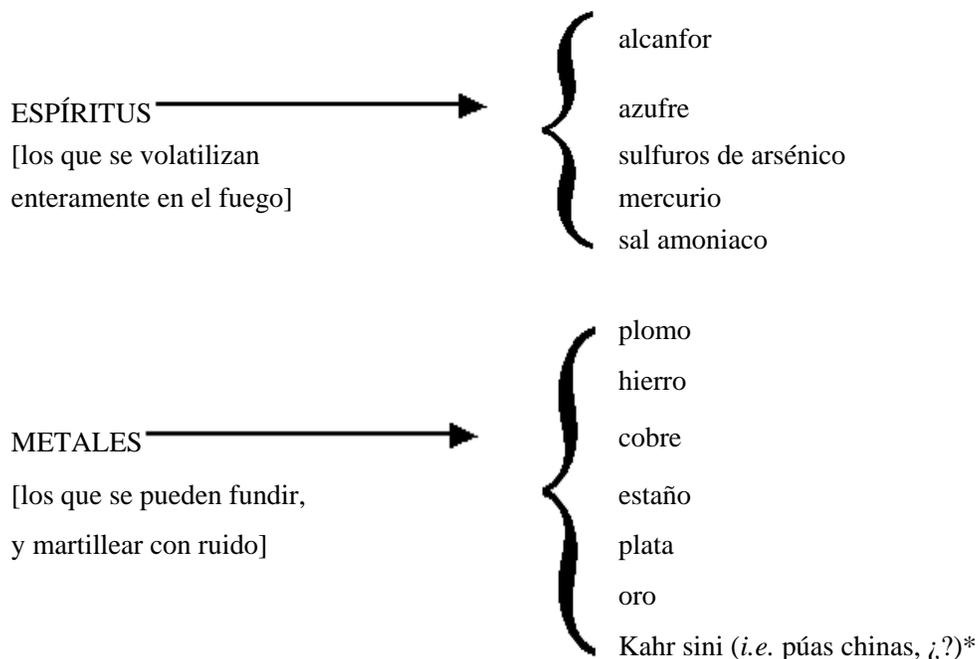


[Nota 1] 

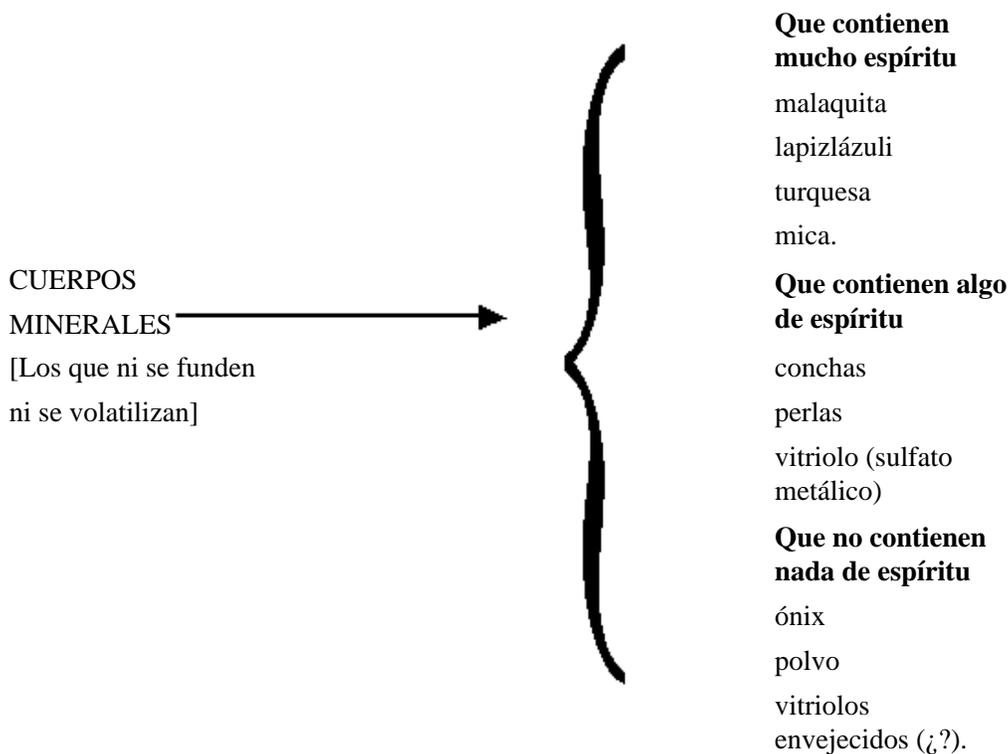
1 *Les Rois Maudits*, Maurice Druon, Mercure de France. 1960.

Inicio

2 Geber (Jabir ibn Hayyam) siglos VIII-IX D.C. aproximadamente. El más célebre de los alquimistas árabes. Se le atribuyen miles de escritos de alquimia algunos de los cuales fueron muy populares en 1300 en Europa, conocidos como el *Jabir Corpus*. En ellos se describe por primera vez la obtención de mercurio a partir del mineral cinabrio (HgS), se menciona mucho el uso de la sal amoniaco (cloruro o carbonato de amonio, no se sabe cuál con precisión) por su volatilidad. Aparece allí una de las más antiguas clasificaciones de las sustancias *minerales*



*Quizá se referían a una aleación y servía para "completar el cuadro" de siete metales, en vista de haber introducido al mercurio entre los espíritus.)



Nótese que las propiedades que se toman en cuenta en esta clasificación son exclusivamente referidas a la acción del fuego sobre las sustancias.

[Inicio](#)

[Nota 3] 

3 Citado en *Historia de la magia y la ciencia experimental*, vol. 1. L. Thordyke, The McMillan Co., Nueva York, 1923.

[Inicio](#)

[Nota 4] 

4 Tomado del *Lapidario* de Alfonso X *el Sabio*, según lo cita Margarita Peña, en *Ciencia y Literatura historia de una simbiosis. Naturaleza*, 3(1), 1972, México.

[Inicio](#)

[Nota 5] 

5 También llamado óleum; se trata del ácido sulfúrico puro. El solvente muriático (esto es marino) es la solución acuosa del ácido clorhídrico y el agua fuerte no es otra que ácido nítrico

Inicio

6 Diálogo de Platón que contiene la explicación pitagórica y platónica de la Naturaleza

Inicio

[Nota 7] 

7 Mezcla de tres a cuatro partes en volumen de ácido nítrico por una de ácido clorhídrico concentrado, llamada así porque disuelve los metales "nobles como el oro y el platino. Su fuerte acción oxidante se debe al cloruro de nitrosilo, ClNO , y al cloro que se forman al mezclarse los dos ácidos.

 Inició

[Nota 8] 

8 En efecto, la palabra cobre tiene la misma etimología que el nombre dado a la isla de Chipre, cuyas minas del metal fueron famosas en la Antigüedad; a saber, el apodo dado a Afrodita, Cipris, la diosa griega del amor erótico, señalándola como sucia o *coprológica*.

 Inició

[Nota 9] 

9 Zenón está utilizando la división litúrgica del día en las llamadas horas canónicas, la hora sexta corresponde a las 12 del día y la nona a las tres de la tarde.

Inicio

10 Estas palabras en verdad quitan el aliento porque afirman no sólo una teoría cinética de la materia, sino que también hablan de que el movimiento observado de partículas muy pequeñas (de hecho microscópicas) en un gas es una consecuencia de la agitación atómica. Fue justamente esta clase de movimiento, el descrito por el botánico Robert Brown en 1827, y desde entonces conocido como movimiento browniano, y la explicación cuantitativa que de él dio en términos de moléculas, Alberto Einstein, la primera prueba definitiva de su existencia. Para mayor y cumplido conocimiento sobre este tema se recomienda al lector leer en esta misma colección, el libro núm. 26 del doctor Eliezer Braun.

[Inicio](#)

[Nota 11] 

11 Ver para creer. Estas palabras están tomadas literalmente de la definición de alquimia en la *Encyclopaedia Britannica* 15a. ed. 1978.

[Inicio](#)

[Nota 12] 

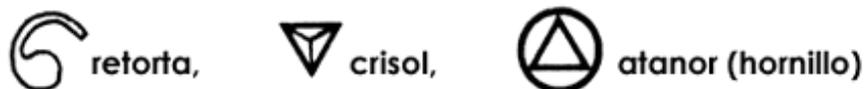
12 Al-Razi o Rhazés (850-923 d. C.). Médico árabe de origen persa, dejó dos libros importantísimos que sirvieron hasta el Renacimiento. Fue el primero en describir el cuadro clínico de la viruela.

[Inicio](#)

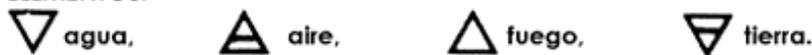
13 TABLA DE SÍMBOLOS ALQUÍMICOS.

(como pudiera haberlos manejado un alquimista cuasi renacentista)

APARATOS:



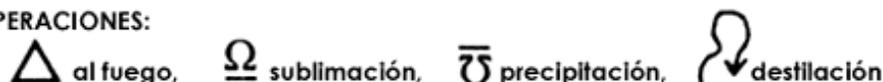
LOS ELEMENTOS:



TIPOS O ESTADOS DE SUBSTANCIAS:



OPERACIONES:



ÁCIDOS



ESCORIAS Y TIERRAS



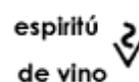
METALES



SALES



ESPÍRITUS



II. DE LA HERRERÍA A LA TABERNA VAN Y VIENEN LAS NOTICIAS Y EL SABIO AFIRMA QUE LO QUE SE TRABAJA CON EL FUEGO, ALQUIMIA ES, YA SEA EN UNA FRAGUA O EN LA ESTUFA DE LA COCINA

AL LLEGAR a la séptima laminación del trozo de fierro destinado a servir de peto, el herrero consideró que ya era el momento de darse un muy merecido respiro. ¡Nada como un buen trago de cerveza!

—¡Simón! —gritó—, asomándose a la puerta ¡tráeme un tarro!—.

Después de sumergir la lamina al rojo en arena, beberse la mitad de la cerveza y paladearla, el herrero se limpió los bigotes y se estiró. Simón con regocijo reconoció de inmediato que las labores de la fragua quedaban suspendidas hasta el día siguiente; ahora, el herrero lo despacharía para pasarse lo que quedaba de la tarde leyendo con suma atención y discutiendo en voz baja con el despensero del convento unas hojas misteriosas, amarillentas y carcomidas. Simón, por su parte, podrá ir a gozar del espectáculo de la hoguera de San Juan que para esa noche están organizando los estudiantes. Ni tardo ni perezoso, colgó su delantal de cuero en la percha de la entrada, pero no había dado un paso fuera cuando el herrero le ordenó:

—¡Antes de irte a holgazanear, ve al convento a decirle al hermano despensero que quiero hablar con él ahora mismo!

Simón, ¡por supuesto!, está enterado del contenido de las hojas, pues es su orgullo y su habilidad enterarse de cuanta cosa chismosa, escandalosa o misteriosa ocurre a su alrededor; y aunque no ve qué pueda haber de valioso o de político en el contenido de esas hojas, le inquieta el secreto que al respecto guarda su amo. Hoy mismo le preguntará a Leodegario, su cuñado, qué podrán ocultar. A Simón se le han pegado algunas palabras de alquimia de su jefe, que es un adepto, y de su cuñado, que es médico, y se da perfecta cuenta de que las hojas tratan de alquimia, pero la verdad es que no ve la razón de tanto misterio y tanta reunión secreta con el despensero. ¡Que si los cambios físicos son distintos de los químicos, que si el fuego es elemento o no! ¡Bah! ¿A quién haría rico saber eso? Por otra parte, no deja de ser interesante aclarar qué sean los elementos y qué los átomos. ¡Seguro que el despensero robó las hojas del convento! Pero, ¿y qué con ello? ¡No sería la primera ni la última vez que una cosa así ocurre. Pero algo, algo... se trae el herrero. Por el momento, piensa Simón, no hay más que hacer sino esperar el desarrollo de nuevos acontecimientos y buscar la oportunidad de que Leodegario les eche una mirada a esas hojas. Con la tarde libre, podrá asomarse al patio de la universidad y ver el final de los festejos del primer día de clases, además, allí podrá encontrar a Leodegario y a Rosamunda y comentarles sobre los misteriosos escritos del herrero.

Detrás del cuarto donde está la fragua, el herrero ha arreglado dos vastos laboratorios, en el de más al fondo tiene su camastro y allí lee en voz alta las hojas que el despensero le ha traído.

—Este manuscrito de Zenón es interesante, quienquiera que haya sido el desgraciado... pero no contiene nada que nos sirva directamente. ¡Ni dónde se va a comparar con este otro! Dices que es copia de un papiro del famoso Zózimo? ¡Hum...! Este sí que no se anda con teorías. Leámoslo de nuevo y repasemos con cuidado lo que tenemos que tener listo para hoy por la noche:

"Pulveriza oro y plomo tan finos como harina cada uno. Dos partes de plomo por una de oro, y habiéndolas mezclado, empáсталas con goma de tragacanto. Se cubre el anillo de cobre con esta pasta y se calienta. Se repite varias veces hasta obtener el color. Finalmente, se lava con agua. Es difícil descubrir el fraude, pues la piedra de toque da la marca del verdadero oro.¹  El calor consume al plomo pero no así al oro."² 

—¿Has captado bien todo? —dijo el herrero echando una mirada de duda sobre el monje. Tendrás cuidado al hacer los calentamientos de colocar el atamor bien al fondo de la chimenea, porque el plomo, al consumirse, se fija en el gznate y te puedes morir, y si no te mueres te vuelves más tonto de lo que ya eres. ¿Estás seguro de poder conseguir la goma de tragacanto?

—¡Seguro! Puedo entrar a la despensa cuando quiero, por algo soy el despensero, el abad me tiene mucha confianza, y sólo rara vez echa una mirada a las listas de compras, le aburren, tú sabes, es un hombre muy espiritual —comentó el monje levantado los ojos al cielo y juntando las manos— Pero tú, ¿tienes ya listo cobre suficiente?

¿Y estás seguro de que vendrán al menos una docena de adeptos?

—¡Seguro que sí! Te diré, vienen a la ciudad, porque no se perderían por nada del mundo poder asistir a clase con el doctor Paracelso, ver la cara de horror de los doctores médicos, y una vez aprobado el curso, ganar dinero a montones con sólo decir a los pacientes que son alumnos del insigne Paracelso. Además, para que te tranquilices, en primer lugar, la cena será gratis, lo que garantiza que no nos faltarán comensales, y en segundo lugar, ya he soltado por aquí y por allá comentarios sobre los "manuscritos de la Piedra".

—Hablando de Paracelso, ¡qué fulano! ¡Mira que pretender que los alquimistas y los barberos sean los que curen sin supervisión de los médicos y querer que éstos se tuesten sus preciosas manos aprendiendo el Arte para así preparar ellos mismos los medicamentos! ¡Pedir que los médicos se acerquen a sus pacientes para olerlos ellos mismos, cuando generalmente no se acercan a menos de un metro de la cama!

—¡Basta, basta, divagas! —exclamó el herrero alzando sus manazas—. ¡A lo nuestro!, veamos ahora la segunda parte, la parte fundamental diría yo, el vino tendrá que ser muy bueno si queremos que bajen la guardia, en esto sí que no debemos cerrar la bolsa... y de sabor fuerte... un tintorro... ¿No dijiste que hoy tendrías en tu poder las semillas de adormidera?

—¡Aquí están! —contestó en voz baja el despensero extrayendo una bolsita de cuero del interior de su manga—. Es necesario molerlas...

Y así, el herrero y el monje se preparan para recibir con todos los honores a los adeptos que han llegado de todas partes de Europa. Basilea hierve con el fervor de aprender medicina en la universidad por invitación del impredecible Paracelso.

Al ponerse el Sol, en el patio de la universidad comienzan a chisporrotear los primeros leños de una hoguera en medio de los cantos y bromas de los estudiantes. Entre ellos se pasean profesores, gentes del pueblo con sus mejores galas y algunos extranjeros recién llegados, de aspecto descuidado, con las barbas chamuscadas, las manos teñidas de colores, la ropa agujereada y un extraño gorro doblado hacia la nuca. Los profesores mueven la cabeza con disgusto e indignación.

—¡La provocación de Paracelso ha llegado a límites intolerables!

—¡Mira que invitar a la universidad a esa chusma de artesanos incultos que dicen saber de alquimia y pretender equipararlos con nosotros los médicos!

—¡Peor que eso, pretender que *nosotros* nos ensuciemos las manos preparando sustancias minerales para curar! ¡Está loco de remate!

—¡Mira que pretender que nosotros mismos apliquemos las curaciones! ¡Para eso están los ayudantes y los barberos!

—¡En vez de llamarse Felipe Teofrasto debería llamarse Cacofrasto! —comenta con voz chillona un estudiante que se cree obligado a halagar a su maestro atacando a Paracelso.

—Lo peor del caso es que esta gente no tardará en sentirse con derechos de exclusividad para curar y formará guildas que compitan con las nuestras...

—¡No lo creo, no se atreverán!

—¡No digo! ¡Ya lo verán! ¡De hecho nos quita el pan de la boca! ¡Nos está golpeando!

Súbitamente, los presentes se arremolinan abriendo paso a un individuo grueso, joven, de ojos llameantes y nariz colorada, cargado de libros, con una airosa pluma en el sombrero y tamaño espadón golpeándole el muslo; le siguen varios estudiantes cargados también de libros. Al llegar al pie de la fogata, arroja el *Canon* a las llamas mientras grita con poderosísima voz: "¡Tú, Avicena!, y el *Canon*, ¡El *Canon*, sabiduría de los siglos, orgullo de la biblioteca universitaria, comienza a arder! ¡Tú, Galeno! ¡Tú, Razí!", grita y con amplios ademanes va lanzando libros y más libros al fuego. "¡Todos ustedes, caballeros de París, de Colonia, de Viena y todos ustedes a quienes el Rin y el Danubio puedan nutrir, me seguirán a mí, al gran Paracelso! sigue lanzando con furia los manuscritos al

fuego." ¡También ustedes, atenienses, árabes, griegos y judíos, todos me seguirán; las correas de mis zapatos saben más que todos ustedes juntos! ¡Todos los antiguos y todas las universidades puestos juntos, son menos listos que los pelos de mi barba y los que me queden en la coronilla!"³ 

El regocijo de los estudiantes se desbordó al parejo de la indignación de los profesores. Leodegario, al ver la cara tan asombrada de Simón, le comentó que tan sólo esa misma mañana Paracelso había tenido su primer altercado con los miembros de la facultad, a quienes había espetado un discurso del siguiente tenor:

Yo soy Teofrasto, y más grande que aquellos con quienes me comparan, yo soy Teofrasto y además soy *monarcha medicorum* y puedo probar lo que ustedes no pueden probar... Dejaré a Lutero defender su causa que yo defenderé la mía, y yo derrotaré a aquellos de mis colegas que se volteen contra mí... y esto lo haré con ayuda de los *arcana*... No son las constelaciones las que me hicieron médico; fue Dios el que me hizo... ni falta me hace una cota de mallas, ni un escudo contra ustedes, porque ustedes no son ni lo suficientemente cultos, ni experimentados, para poder refutar ni una sola de mis palabras... Quisiera poder proteger mi cabeza de las moscas tan fácilmente como defiendiendo mi primacía... Y no defenderé esta monarquía mía con pláticas vacías sino con *arcana*. No receto medicinas de las boticas, esos tendajones no son sino sucias pocilgas, de las que no sale nada si no son caldos apestosos, y en cuanto a ustedes, defienden su reinado arrastrándose sobre la panza y adulando. ¿Cuánto creen que pueda durar esto?...⁴  ¡Realmente tienen suerte Suiza y Alemania con tenerme a mí!

—¡Qué duro! ¡No creo que permanezca aquí por mucho tiempo, lo van a deshacer! Además está loco, ¿quién se cree que es?

—Su posición por el momento es muy fuerte —explicó Leodegario— el nombramiento le fue concedido por el consejo de la ciudad de Basilea gracias a la influencia del editor Frobenius. ¡Imagínate! Por el momento, es intocable, pero un día de éstos se va a equivocar con algún enfermo, o Frobenius se va a morir; Erasmo, admirador suyo, está lejos, y entonces tendrá que huir para salvar la vida, a menos que siga con la racha de curaciones verdaderamente milagrosas que ha tenido hasta ahora. Por otra parte, es un individuo muy original. Así como desprecia a los académicos bien establecidos en sus "dogmas" e intereses de guilda, asimismo exhorta a los estudiantes a no ignorar el conocimiento de las viejas y de los gitanos.

—Con lo que descubrirá muchas verdades de la Naturaleza, pero también les dará muchas alas a los charlatanes —comentó Rosamunda, y añadió—: ¡Un hombre que goce de la admiración de Erasmo no podrá ser un sujeto insignificante!

—¡Además, se ha cargado la puntada de anunciar que dará sus clases en alemán, no en latín!

—¿Qué tal si nos vamos a tomar unas cervezas al *Caballero Verde*? —sugirió Simón enlazando su brazo con el de Rosamunda—, quiero comentarles sobre lo que ha estado ocurriendo en la herrería y que me expliques ese aire de reverencia que tomas al hablar de Paracelso, ¿qué, es mucha pieza?

Una vez instalados lejos del humo y del ruido de los estudiantes, Leodegario explicó:⁵ 

—Paracelso sostiene que Dios ha creado o generado el Universo a partir de sucesivas separaciones, coagulaciones, condensaciones o precipitaciones químicas, como quieras llamarlas, de una materia primordial. Le he oído alguna vez comparar la creación divina, que para él es sinónimo de generación, guardando la proporción, con lo que ocurre cuando se mezcla vinagre con leche, que se separan el suero y los sólidos. Para él, los cuatro elementos han sido separados de la materia primordial; en un segundo paso, fue separado el fuego del firmamento; en un tercero, los espíritus y los sueños del aire; peces, plantas marinas y sal, del agua, en otro paso, etc., etc. También habla de que todo está compuesto de tres principios, a saber: azufre, mercurio y sal, pero es muy poco claro y es muy difícil seguirlo, además de que se impacienta fácilmente; esto ha traído como resultado que ahora se hable de cinco elementos y cada quien escoja cuáles son, tomándolos al gusto de entre los cuatro clásicos y los tres paracelsianos, y que los charlatanes se den vuelo hablando de la quinta esencia. Pero no sólo eso, he oído a algunos de sus seguidores hablar no sólo de sales, lo que no es sorprendente, sino de los diversos mercurios y azufres, sí, así, en plural, como componentes de todas las sustancias conocidas, con lo que la confusión entre boticarios, médicos y alquimistas es espantosa. Todo esto no tendría importancia si no fuera porque sostiene que Galeno está

equivocado...

—¡O sea, Paracelso contra el mundo!

—Sí, pero él ha curado el mal francés,⁶  algunos casos de lepra, a muchos tuberculosos y anémicos, ha aliviado la gota del gran Erasmo, además ha descrito las enfermedades propias de los mineros. Realiza todas sus curaciones con minerales y sales. Según él, la enfermedad no es un desequilibrio de los cuatro humores, sangre, flema, bilis amarilla y bilis negra, y por lo mismo, la curación, según él, no consiste en la restauración de la proporción adecuada de estos cuatro humores en el cuerpo del enfermo. Según él, las enfermedades se deben a reacciones o conversiones químicas de unas sustancias en otras, que ocurren por influencias del exterior sobre determinados órganos. Las diferentes enfermedades ocurren por diferentes interacciones de las sustancias del cuerpo con sustancias dañinas en forma de semillas pequeñísimas que entran al cuerpo y que tienen lugar en diferentes órganos. Todas las funciones corporales, para él, no son sino procesos o separaciones químicas como los que ocurren en una retorta. Para él no existen "estados enfermos del cuerpo", sino enfermedades". Y no es sorprendente que sostenga esta teoría, tomando en cuenta que ha curado el mal francés con sales de mercurio y un compuesto de arsénico que él mismo fabrica; la anemia, con sales de hierro machacadas en vino generoso; las roñas y eczemas, con emplastos de azufre y alquitrán; ha mejorado el estado de los excesivamente sanguíneos reduciendo su consumo de sal, salvado a un minero de la asfixia, que fatalmente acaba con ellos, ayudándolo a establecerse como hostelero cerca de las montañas. Él atribuye la formación de cálculos y la de sarro en los dientes a exceso de tartárico.

—Bueno... pero no veo la ventaja de su teoría sobre la de los cuatro humores —interrumpió Simón.

—¡Pero cómo que no!, —exclamó Rosamunda—, si las enfermedades son específicas sobre los órganos que afectan, como él dice, entonces es posible clasificar las enfermedades de acuerdo con los órganos afectados, y los diagnósticos se facilitan; además —continuó—, si las enfermedades están asociadas a determinadas sustancias que entran al cuerpo, en forma de corpúsculos pequeñísimos, entonces la medicación debe ser a base de sustancias específicas que reaccionen con las dañinas y así se transformen en otras ya no dañinas; por lo mismo, él está en contra de las panaceas o medicinas cúralo todo a las que tan afectos son los *herren doktoren*. En realidad —concluyó Rosamunda en un tono pensativo—, Paracelso considera que el cuerpo es como un laboratorio alquimista, ni más ni menos.

Por un rato los tres amigos paladearon su cerveza en silencio

—Me parece —dijo Leodegario— que lo más valioso de Paracelso es su actitud de irreverencia con el pasado, con ella clama que nunca un tiempo pasado fue mejor; hoy, en 1527, cuando ya se ha verificado que la Tierra es redonda, cuando Martín Lutero quema bulas, es más que tiempo que en asuntos tan cercanos a nosotros, tan íntimos a nosotros, yo diría, y mucho más materiales y por lo tanto más modestos, alguien provocara la discusión. Paracelso ha incitado a pensar a los estudiosos por sí mismos, y los ha impulsado a experimentar para encontrar nuevos datos que nos lleven a una ciencia nueva.

—¡Será!, pero no duda de los cuatro elementos, ni parece interesado en la constitución de la materia, ni en la realidad o irrealidad de los átomos, así que no es tan revolucionario como dices —objetó Simón y añadió con petulancia—: No, no me convence mucho Paracelso, tengo entendido que cree en la transmutación de los metales. ¡Hazme el favor! Y encima se atreve a arrojar al fuego el *Canon*, siendo que fue Avicena quien escribió: "no está en el poder de los alquimistas cambiar la especie de los metales, sólo imitar a la plata y al oro."

—¡Mira, mira nada más, con lo que sales! ¿De dónde has sacado tales inquietudes? ¿De cuándo acá te interesas tú por la filosofía alquímica? ¿Qué sabes tú de la posibilidad de la transmutación? —dijo Leodegario mirando con mayor respeto a su cuñado—. Sí, en este sentido tienes razón, él acepta la teoría de una materia primordial confusa y no le interesan las hipótesis atómicas, como tampoco a la mayoría de los alquimistas actuales; quizá alguno que otro metalurgista tenga este interés. Él es, ante todo, un médico que quiere curar en serio y que para ello sostiene que nuestros cuerpos no son básicamente distintos del mundo que nos rodea. Pero dime, ¿por qué te ha dado por pensar en la hipótesis atómica?

En ese momento en medio de risas y voces, irrumpió en la taberna el mismísimo Paracelso, rodeado de estudiantes; tratando automáticamente de atrapar a la mesera, pidió cerveza para todos los alumnos; como ella lo eludiera, se sentó y prosiguió con su conversación: "Donde el médico no es también alquimista y cirujano, no es más que un

monigote, y no debe haber un cirujano que no sea médico y alquimista también."

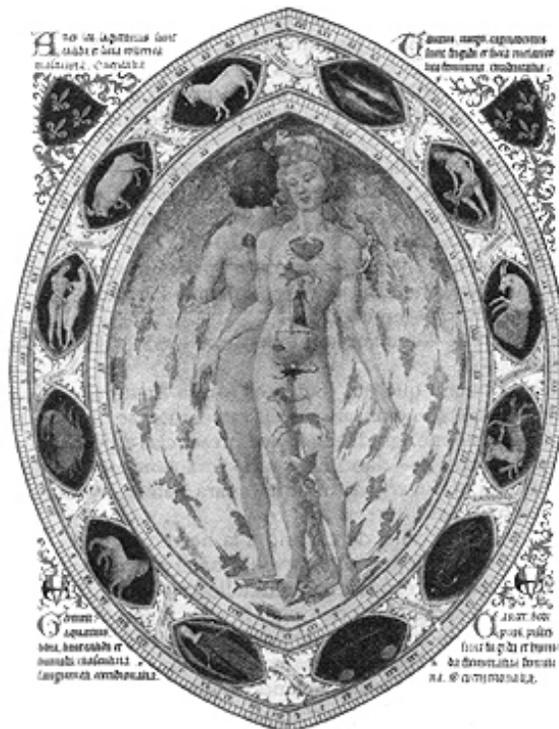


Figura 6. La alquimia.

—Pero maestro —replicó uno de los estudiantes—, nuestro cuerpo es hermano de las plantas y de los animales, por lo tanto la manera de curarlo deberá ser con extractos de hierbas. Los alquimistas sólo se ocupan de sustancias no vegetales, por decirlo de alguna manera; más bien los médicos debieran ser herbolarios...

—¡No, no únicamente! —exclamó Paracelso—. Dentro de tu cuerpo hay fuego, que te mantiene tibio, no me dirás que estás helado como un muerto, y lo que se trabaja con fuego, alquimia es, sea orgánico como dices o mineral.

—¿También la cocina? —preguntó burlón un estudiante—.

—¡También la cocina! —replicó solemne Paracelso—.

—¿Y el amor? —terció otro—.

—¡También! —exclamaron todos levantando sus tarros entusiasmados—.

—Sería bueno que nos fuésemos —dijo Rosamunda—, porque es posible que más tarde estos estudiantes se pongan hasta las boinas y no me agrada tener que presenciar espectáculos.

—¡De acuerdo! —dijo Leodegario levantándose—. Además, me gustaría un lugar más tranquilo para hablar con Simón sobre sus flamantes intereses.

Una vez en la calle, de camino a la herrería, Simón puso al tanto a Leodegario de las idas y venidas del despensero y de sus conciliábulos con el herrero, le detalló con bastante fidelidad el contenido de las hojas de un tal Zenón, fuente de sus recién adquiridos conocimientos y de otros manuscritos que el herrero y el despensero llevaban meses devorando en secreto.

—Me parece —terminó diciendo— que como el interés por la filosofía natural del herrero no está por encima de toda duda, más bien está planeando una estafa. Es más, sospecho que tendrá lugar hoy por la noche, durante una cena. Has de saber que me ha pedido que regrese a la herrería para ayudar a servir la mesa, porque, me dijo, va a tener invitados. Y esto tiene que ver con los pergaminos que el despensero sustrae del monasterio, ¡estoy seguro! Aunque no es aparente que el manuscrito de Zenón, el que leí, se refiera a falsificaciones o a trucos; más bien expresa dudas al respecto de los cuatro elementos y de la transmutación de los metales, y trata de clasificar las

operaciones que se realizan en el laboratorio, como te he platicado, más o menos; tendrías que leerlo tú mismo.



Figura 7. Fuego-salamandra

Leodegario se quedó pensando un rato. —¿Una cena, dices? Ayer por la mañana uno de los estudiantes que se aloja con nosotros me preguntó si había sido invitado yo también a una cena de bienvenida para los adeptos extranjeros dada por parte de la hermandad de Basilea. Me sorprendió la pregunta, porque es la primera noticia que tengo de la existencia de tal hermandad aquí en Basilea, posiblemente se trate de la misma cena... así que el herrero es alquimista... bueno... era de esperarse, "todo lo que se trabaja con el fuego, alquimia es". Mira, siendo yo médico y además paracelsiano, no hay mentira en ello, me presentaré a la cena, no creo que no me admitan, siendo además cuñado tuyo y allí trataré de echarle un ojo al tal manuscrito de Zenón.

El delicioso y "adobado" vino y el abundante lomo acompañado de col agria y salchichas crepitantes, parecía que había ya logrado el efecto buscado por el herrero de desarmar la desconfianza de los invitados. Hombres sencillos y solemnes, una vez vencida la timidez inicial y seguros del respeto de los demás, se entregaron con fervor al canto y al alcohol.

¡Brindemos, brindemos!
¡Primero por quien da el vino!
Por él bebamos libres o libertinos,
Otra vez por los cautivos,
Una tercera por los vivos,
Una cuarta por los buenos juntos,
A la quinta por los fieles ya difuntos,
Una sexta por las hermanas no vestales,
Séptima por los guardias forestales,
Octava por los fieles más perversos,
Novena por los frailes más dispersos,
Diez veces por los navegantes,
Once veces por los litigantes,
Doce por los penitentes,
Trece por los caminantes,⁷ 
¡Salud! ¡Salud!

—¡Señores! —exclamó el herrero dominando el barullo con su vozarrón—. Ha llegado el momento de compartir

con ustedes el fruto del gran descubrimiento que la sabiduría de la pirámide de los egipcios nos ha legado. Por caminos que, ustedes comprenderán, no puedo revelar ha llegado a mis manos un manuscrito del sublime Hermes Trimegistos, que contiene el secreto de la piedra filosofal. Por los votos de nuestra hermandad tengo de guardarlo para mí solo, sin embargo, no me está vedado en esta noche de San Juan en que se ha abierto para nosotros el campo de la medicina, compartir con ustedes el fruto del secreto. ¡Ay! ¡Pecador de mí!, por poco y sucumbo a la tentación del Maligno de hacerme rico solamente yo sin compartir mi riqueza con los adeptos mis hermanos, pero los muchos padecimientos que sé por experiencia propia sufren, me han conmovido, y hoy, con el corazón rebosante, me dispongo a multiplicar para ustedes el poquísimos oro que puedan tener en este momento.

—¡Multiplicar, sí, en mil veces o más!, de modo a que, de aquí en adelante, no sufran ya más las durezas de la vida. Esta es la razón de haberlos reunido hoy aquí. En estas hojas viejísimas está escrito cómo proceder —en este punto el herrero, mientras se paseaba alrededor de la mesa, agitaba bajo las narices de los comensales el manuscrito de Zenón, de manera que éstos sólo alcanzaban a ver trozos de renglones latinos llenos de símbolos. Más de uno quiso atrapar los papeles, pero el herrero lo eludió fácilmente—.

—Vean este anillo de cobre— dijo, al tiempo que retiraba ágilmente de la mano de un comensal un modesto anillo, y lo mostraba para que todos lo vieran—. Mientras rematamos este delicioso lomo, un fraile experto en cosas egipcias, colaborador mío siguiendo las indicaciones escritas aquí lo transformará en un anillo del divino metal.

Un escalofrío recorrió a los invitados y a más de uno se le dispó la borrachera. Se hubiera podido oír el volar de una mosca. Todos eran demasiado alquimistas de corazón como para que semejante anuncio no los dejara mudos de asombro y de ilusión. ¡El sueño de una vida al alcance de la mano!

—Para poder proceder; hermanos, todos saben que es preciso contar con una semilla, así pues yo, como anfitrión, entrego ante ustedes estos granitos de oro para que sirvan de semilla en la transmutación del anillo. —Así diciendo entregó al despensero el anillo, el manuscrito y unos cuantos granitos de oro. El despensero se inclinó con solemnidad y se retiró al laboratorio del fondo. Algunos invitados reaccionaron y exclamaron—: ¡Queremos ver cómo se realiza la operación! ¡Sí, sí! —exclamaron otros, el entusiasmo parecía salir del control del herrero, pero su poderosa voz, su cuerpo gigantesco y sus peludas manazas dominaron el tumulto—.

—Lo siento hermanos, no pueden ver la divina operación, eso sería como entregar el SECRETO. Ustedes saben que éste se debe adquirir por el trabajo y los méritos en el laboratorio, mucho hago ya con multiplicar su oro.

Ante la inflexibilidad del herrero se fueron calmando los ánimos y nuevas rebanadas de lomo bañadas en salsa bearnesa aparecieron en los platos al conjuro de Simón. Entonces se levantó de la mesa un joven metalurgista húngaro pidiendo la palabra.

—Estoy de acuerdo—, dijo, no sería justo que se nos revelara el Secreto, sin embargo, sí me parece justo que se nos permita verificar el peso del anillo respecto del peso del agua, antes y después de ser transmutado.

El herrero, cogido fuera de guardia, tragó gordo, presintió una trampa, pero sin percibir con claridad qué tenía que ver en la transmutación el asunto del peso. Se desató una creciente ola de comentarios y opiniones, y cuando el herrero se sentía ya perdido ante el argumento que se imponía de que nada se perdía con pesar, uno de los alquimistas más respetados y ancianos salió involuntariamente en su ayuda:

—El examen de los pesos por la balanza difiere del realizado por la razón. Este último sólo puede ser empleado por el juicioso; en cambio, el primero puede ser practicado hasta por el más payaso. El examen de la razón siempre es exacto, mientras que el de la balanza rara vez ocurre sin engaño y siempre es inexacto, sobre todo ahora que estamos tan, tan alegres. Por lo mismo, ponernos a pesar ahora, sólo nos haría perder el tiempo, ya veremos, cuando se nos muestre el anillo transmutado, si es de oro o no con la prueba del toque⁸  fundada en la razón.

El grueso de los invitados aplaudió, pero entonces el pequeño grupo de metalurgistas, tres o cuatro, se levantó de la mesa y se retiró con toda dignidad, acompañado del alivio del herrero disimulado bajo una máscara de circunstancia. —¡Por Dios, señores, no se vayan, aunque pertenezcamos a distintas escuelas de pensamiento, son bienvenidos!,—les dijo al tiempo que irreprimiblemente les tendía sus capas mientras caminaba en dirección de la puerta.

Al cabo de una hora, apareció de nuevo el despensero al lado de la mesa: con aire triunfal tendió el anillo

"transmutado" para ser examinado por los comensales.

—Ahora bien, señores, espero que estén satisfechos —tronó de nuevo el herrero—. Mucho lamento la actitud de los jóvenes metalurgistas, pero es que ellos por trabajar cerca de las minas se creen que todo lo saben y su práctica del Arte es muy pobre. ¡Es su problema! Para poder ayudar a los que lo deseen, tengo aquí estas barras de cobre dispuestas para ser transmutadas en favor de ustedes, sin embargo es preciso contar con semillas, yo soy un hombre pobre, y por otro lado no es bueno recibir nada sin haber contribuido, aunque sea una semillita. Así pues, les ruego que, si aceptan mi ofrecimiento, cada uno de vosotros entregue a mi reverendo colega las monedas de oro que traiga, pues cuanto más pongan como semilla, tanto más cobre podrá ser transmutado en su favor. ¡Así ha hablado la sabiduría de la pirámide!

Enfrentados ante la acción concreta de vaciar sus bolsillos, los comensales vacilaban, pero el anillo brillaba cada vez más intensamente al pasar de mano en mano, y el vino, exquisito, acabó con sus reservas al tiempo que el herrero proclamaba:

—No quiero forzarlos, yo cumplo con mi voto de generosidad; si ustedes no lo aceptan, yo no he perdido nada.

El resto es doloroso; una vez que las monedas, ahorradas con tanto esfuerzo para pagar un año de vida universitaria en Basilea hallaron el camino del atañor, comida, vino, asombro y emociones del día dieron cuenta de los invitados. Al anunciar los gallos el alba, se les hubiera podido ver roncando debajo de la mesa y también se hubiera podido ver a un par de sombras montadas en mulas tomar el camino del Norte mientras Simón y Leodegario bien despabilados, buscaban con afán, en la revuelta herrería, unas hojas viejas y carcomidas.

No hallaron la copia del manuscrito de Zózimo, sólo el de Zenón. Ya tranquilos en casa de Rosamunda, con sendas tazas de té caliente entre las manos y vasitos de aguardiente al lado, preguntó Simón a Leodegario:

—¿Por qué pidieron los metalurgistas que se pesara el anillo?

—Para verificar que antes de la transmutación el anillo tenía la densidad del cobre, y después, la del oro. Si después de la pretendida transmutación resultara que la densidad era poco más o menos la misma que la inicial, se hubiera probado el fraude, se hubiera visto lo que me sospecho que fue, un simple dorado. El valor de la densidad es una propiedad característica de cada sustancia pura, no puede ser que se tengan distintas muestras de mercurio puro, por ejemplo, con distintas densidades, o distintas muestras de alcohol puro que hiervan a distinto grado de calentamiento. Por cierto que tu admirado Zenón, al tratar de definir qué sea una sustancia pura no se dio cuenta de que pudo haber escrito que una sustancia es pura cuando, además de ser homogénea y tener siempre las mismas propiedades,⁹  *no se puede separar en otras sustancias sin alterarla* —recalcó Leodegario—.

—Pero entonces —terció Rosamunda—, me estás diciendo que una sustancia es pura mientras no se demuestre lo contrario y en consecuencia sustancias que ahora se clasifiquen como puras quizá dentro de un tiempo se descubra que no lo son.

—¡Así parece! —replicó Leodegario—, no queda de otra, pero no es tan desventajoso porque siempre hay manera de controlar una purificación. Suponte, por ejemplo, que deseo agua pura y sólo cuento con agua de un puerto; primero la filtro, después la destilo una vez y verifico su densidad, transparencia y sabor; después la congelo de manera de tener hielo y agua, y como es sabido que los cristales de hielo incluyen menos sal y menos impurezas que el líquido, separo algunos de ellos, los dejo fundirse y los destilo otra vez, es claro que después de varias repeticiones de este procedimiento obtengo agua pura. Podré declarar que tengo agua pura cuando posteriores operaciones ya no cambien sus propiedades. Y por cierto no creo que se llegue a probar que la sustancia que llamamos agua sea una mezcla homogénea de algunas otras sustancias puras desconocidas hasta el momento.

En resumidas cuentas, una sustancia es identificable por el *conjunto* de sus propiedades —reflexionó Simón y continuó—. Si me encuentro un líquido transparente, blanco, inodoro, que sabe a agua, de su misma densidad pero que comienza a hervir con un grado de calentamiento tan bajo como el de un éter; ¿he de concluir que no es agua?

—En efecto, no lo sería. Imagínate un trozo de metal, con la densidad del estaño, pero del color del cobre, la fusibilidad del cobre y su maleabilidad, no puedes concluir que sea cobre ni tampoco que sea estaño; o se trata de un metal nuevo, o de alguna aleación nueva.

—Por otra parte —continuó Simón mientras se servía más té—, el maestro de Zenón diría que una substancia pura es aquella que en todas sus partes tiene la misma proporción de los cuatro elementos, mientras que Zenón diría que si se pudiera probar la existencia de las partículas últimas, una substancia pura sería aquella constituida toda por partículas idénticas.

—Pero, ¿se dan cuenta? Si a cada substancia corresponde un juego de valores de sus propiedades, tiene un cuerpo o extensión y permanece en el tiempo, entonces, ¿qué clase de substancia es el fuego?

Un largo silencio transcurrió punteado por los movimientos de Rosamunda en el servicio del té y del aguardiente y por el crepitar del fuego que los calentaba.

—Y, ¿sabes? —añadió Leodegario—, este Zenón está de acuerdo con la teoría de Averroes.

—¿Averroes? ¿Qué tiene que ver con lo que estamos hablando? —dijo Simón escandalizado y casi enojado—.

—Sí, sí, Abulgualid Muhammad Ibn-Ahmad Ibn-Muhammad Ibn-Rushd, comentarista de Aristóteles, tiene mucho que ver —contestó con solemnidad Leodegario levantando el índice—, Este eminentísimo árabe propuso una teoría de la materia según la cual "cada clase de substancia consiste de entidades naturales pequeñísimas propias, a saber; sus *minima naturalia*, de ninguna manera indivisibles en sentido riguroso, y tales que al ser divididas se transforman en las *minima naturalia* de otra substancia".

—¡Pero esto es sorprendente! —exclamó Simón—. Estas *minima naturalia* no son los átomos que postula Demócrito, porque los de Demócrito son indestructibles y todos de la misma materia única. ¡Yo no sabía de esta teoría! —terminó diciendo Simón al tiempo que, poniéndose de pie, se cogía la cabeza con ambas manos—.

—Bueno, pero ¿por qué dices que Zenón está de acuerdo con la teoría de Averroes?

—Porque se puede decir que los cambios o procesos físicos son los que no son tan drásticos que modifiquen la naturaleza de las *minima naturalia*, la substancia permanece la misma y las mismas permanecen sus *minima naturalia*. En cambio, los procesos químicos son suficientemente drásticos como para modificarlas. Vamos —continuó Leodegario divertidísimo al ver que su cuñado se paseaba con las manos en la cabeza—, se puede suponer que en una reacción alquímica las *minima naturalia* de los reactivos desaparecen y aparecen las *minima naturalia* de los productos.

—¡Vamos, Rosamunda, sírveme otra copa por favor; esto ya pasa de castaño oscuro! —finalizó Simón al tiempo que se dejaba caer en un sillón—. Esto es un enredo infernal. ¿Qué relación hay entre partículas últimas, *naturalia* o no, modificables o no, con átomos y elementos? ¿Son todos lo mismo o no?

—¡Hum, quién pudiera saberlo! —suspiró Rosamunda—. Y por cierto —comentó al cabo de un rato, por lo que me cuentan, los metalurgistas húngaros no son ningunos tontos...

—¡Qué va! —replicó Leodegario—, puedo afirmar sin temor a equivocarme que en lo que se refiere a alquimia los metalurgistas son los más adelantados de nuestra época. Me han llegado noticias de Siena de que maese Vannoccio está escribiendo un libro sobre la obtención y la química de los metales,¹⁰  otro tanto Bauer¹¹  y mi querido Lazarus¹²  en Alemania.



Figura 8. "El alquimista" (Catedral de Notre-Dame, París.)

—Perdona que te corrija, pero ya se te está olvidando el *Liber de arte distillandi de compositis*, de Jerónimo Brunschwylk.

—¡Bueno, sí!, pero aunque métodos y aparatos están muy bien descritos en él, éste es sólo útil para la preparación de medicamentos a partir de hierbas y no se preocupa de calcular rendimientos.

—Por cierto —pregunto Simón—, ¿Paracelso no ha escrito algún libro?

—Tengo entendido que sí, pero la animadversión y las tormentas que desata no sólo por la audacia de sus puntos de vista sino también por su temperamento, han hecho que Frobenius no se arriesgue a publicarlo. ¡Pese al agradecimiento que le debe!

—Mejor sigamos adelante con las páginas que nos faltan del manuscrito de Zenón —sugirió Rosamunda siempre práctica...—

[Nota 1] 

1 En orfebrería, para ensayar si un objeto es de oro, se procede comparando el efecto producido por el ácido nítrico en dos rayas trazadas sobre una piedra dura, una con el objeto en cuestión y la otra con una barrita cuya ley es conocida.

 Inició

[Nota 2] 

2 Citado del papiro de Leyden por J. R. Partington en su *Text-Book of Inorganic Chemistry*, Macmillan and Co., Londres, 1950, 6a. ed.

[Inicio](#)

[Nota 3] 

3 Escena verdadera y perorata famosísimas, citadas muchas veces, véase *El ascenso del hombre* de J. Bronowski, Fondo Educativo Interamericano, México, 1979.

[Inicio](#)

[Nota 4] 

4 Tomado del capítulo 1 de *The English Paracelsians*, de S. Oldbourne, Allen G. Debus, 19.

[Inicio](#)

[Nota 5] 

5 para una exposición detallada de las teorías de Paracelso y sus antecedentes, véase la referencia anterior. Para una exposición más concisa se puede consultar: *Historia de las ciencias*, Vol. 2, de Stephen F. Masen, Alianza Editorial, SEP, México, 1988.

[Inicio](#)

6 Se trata de la sífilis, denominada mal francés porque la soldadesca francesa la dispersó después de la invasión de Carlos VIII a Nápoles. ¿Por qué la pescaron en Nápoles los franceses?, es asunto de debate. Algunos sostienen que el contagio llegó por los marineros que venían del Lejano Oriente, otros suponen que llegó a Nápoles, en aquella época bajo el dominio español, porque los españoles la adquirieron en el Nuevo Mundo. La existencia de la enfermedad entre las poblaciones nativas de América a la llegada de los españoles está avalada no sólo por los testimonios de fray Bartolomé de las Casas en su *Historia de las Indias* y de Gonzalo Fernández Oviedo en su *Historia general y natural de las Indias*, sino por los hallazgos en el Perú de esqueletos de la época precolombina con lesiones sífilíticas, y otras evidencias arqueológicas.

[Inicio](#)

[Nota 7] 

7 Parte tomada de *Carmina Burana*, escena cuarta, "En la taberna". Traducción Tarsicio Herrera Zapién, Programa de la Orquesta Filarmónica de la UNAM. Temporada 1988-1989.

 Inicio

[Nota 8] 

8 En la referencia de la nota 2 se atribuyen estas palabras al químico francés Jean Rey. Las circunstancias en las que se citan son ficticias de hecho, aunque no de espíritu.

 Inició

9 La definición que da Leodegario es básicamente correcta como definición operacional; tiene sin embargo la desventaja de ignorar las llamadas formas alotrópicas (fases) en que se suelen encontrar muchas sustancias puras en un mismo estado de agregación. Por ejemplo, el fósforo, poseyendo un peso y un número atómico perfectamente definidos, se puede obtener en dos formas puras, ambas sólidas: fósforo rojo y fósforo blanco, con distintas propiedades cada una. El azufre también presenta varias formas alotrópicas. Un caso verdaderamente espectacular es el del carbono, que puede presentarse como carbón, grafito o diamante.

Inicio

[Nota 10] 

10 Se refiere al libro publicado en 1540; *De la pirotechnia* por Vannoccio Biringuccio, última edición, Dover Publications Nueva York, 1990.

[Inicio](#)

11 *De re metallica*, Georg Bauer (*Agricola*), publicado en 1556.

[Inicio](#)

12 *Tratado de los minerales y su ensayo*, Lazarus Ercker, publicado en 1574.



PARADA TÉCNICA

¿A TODO ESTO, CUÁLES FUERON LOS ORÍGENES DE LA ALQUIMIA OCCIDENTAL? ¿FUE PURA PÉRDIDA DE TIEMPO? EVALUACIÓN DE LA ALQUIMIA

LA ALQUIMIA, en la forma en que la conocieron y la practicaron las gentes de la Edad Media occidental, tuvo su origen en la gran cruz intercultural que representó el Imperio de Alejandro *Magno*. Sus conquistas y su deliberada política de fusión cultural, de mercados y fronteras abiertos, hicieron posible el contacto de la filosofía, la ciencia y las costumbres griegas con las de Egipto, China y la India. A su muerte, en Babilonia en 323 a.C. su Imperio, que se extendía desde Egipto hasta el Punjab en la India, fue desmembrado en satrapías por sus generales. Los nombres de dos de ellas han llegado hasta nuestros días como epítomes de la cultura, ellas son Seleucia y Alejandría, esta última bajo el gobierno de los Ptolomeos, famosa por su universidad y su biblioteca. Fue en estos dos centros donde se desarrolló la ciencia helenizada a la que pertenecen los nombres de Euclides y Arquímedes, quienes, en contraste con los griegos clásicos, no desdeñaron la experimentación. Las ciencias y la alquimia, en la forma en que llegaron a Occidente, fueron fruto del caldero cultural encabezado por Alejandría, con el que los árabes entraron en contacto directo y así fueron ellos los herederos de la gran *Pax Alejandrina*, los que tradujeron a los clásicos griegos y produjeron el cúmulo de conocimientos que transmitieron al Occidente europeo con los nombres de alquimia, medicina, astronomía y filosofía.

Ahora bien, en el Occidente europeo, las cosas no ocurrieron así. La *intelligentsia* de la alta Edad Media occidental (X-XV), fue heredera de la barbarie, celta, visigoda, teutónica, eslava y de los innumerables pueblos que se asentaron progresivamente hasta el siglo VII, en lo que ahora llamamos Europa. Pero sobre todo, fue heredera de la barbarie latina. Barbaries en tanto mundos culturalmente separados del griego clásico y del helénico, y por tanto, de la filosofía y de la ciencia. Si bien, con respecto al mundo romano este hecho usualmente no es

reconocido. En palabras de Koyre: ¹ 

Es curioso comprobar la indiferencia casi total del romano por la ciencia y la filosofía. El romano se interesa por las cosas prácticas: la agricultura, el arte de la guerra, el derecho, la política, la moral y la arquitectura. Pero si se busca en toda la literatura latina clásica una obra científica o filosófica digna de este nombre, no se encontrará. Hallamos a Plinio, es decir, un conjunto de anécdotas y comadreo; a Séneca, una exposición concienzuda de moral y física estoicas adaptadas —es decir, simplificadas— para uso de los romanos; a Cicerón, ensayos filosóficos de un literato aficionado, o a Macrobio, un manual de escuela primaria. Es verdaderamente asombroso que no produciendo ellos mismos nada, los romanos no hayan experimentado siquiera la necesidad de procurarse traducciones, ni de Aristóteles, ni de Platón, ni de Euclides, ni de Arquímedes; las pocas traducciones de filosofía que se conocen del griego al latín fueron hechas muy posteriormente y por cristianos. [...] La propia aristocracia romana no estaba completamente helenizada, no leía ni a Platón, ni a Aristóteles.

Por otra parte, al derrumbarse la red administrativa del Imperio ante las invasiones bárbaras, el vacío de autoridad y de organización en poblados, cuarteles y puestos de avanzada, en Europa, fue paulatinamente llenado por la autoridad obispal que había llegado anteriormente allí. Esto último dio como resultado que la *intelligentsia* de la alta Edad Media (siglos X al XIV) fuese clerical y el liderazgo intelectual de carácter religioso. La poca ciencia natural que existía mantenía un lugar subordinado, por una parte, debido al prejuicio de que la interpretación de la revelación religiosa era aplicable al terreno de los hechos de la Naturaleza como lo pueda ser en el terreno del destino personal, y por otra, a que se juzgaba tal destino como totalmente desconocido de realizaciones humanas concretas referentes al conocimiento de la Naturaleza. Excepción notabilísima fue fray Rogerio Bacon, para quien sin abdicar de la fe, el estudio de la Naturaleza fue una empresa de carácter específica y orgullosamente humano. En lenguaje más popular, diríamos que las gentes pensantes de la alta Edad Media fueron herederas de la *Pax fascista* que fue la romana, con lo que no tenían referencia, ni antecedentes, para darse cuenta de sus prejuicios religiosos, sociales y estéticos al observar el funcionamiento de la Naturaleza, ni habían podido tener una escuela de pensamiento racional desligada de lo religioso, ni heredaban una tradición de cuestionamiento y crítica.



Figura 11. Alquimista en laboratorio.

Así, a partir del siglo X, a través de sus contactos con el mundo árabe, las gentes de la Edad Media europea se encontraron frente a una explicación del Universo físico y del funcionamiento de la Naturaleza, aparentemente muy desarrollada y completa que les llegaba de la Antigüedad y en la que pocas fisuras se notaban. Y como el pensamiento racional se reservaba para la teología y se agotaba en ella, careciendo de tradición crítica, eran mucho más esclavos de la ciencia natural "importada" que si la hubieran inventado por sí mismos o desarrollado a partir de sus propias investigaciones y sus propias luchas por hallar la verdad en la Naturaleza. Pueblos poco cuestionadores, en aquel entonces, pasaron fácilmente de la obediencia a la autoridad eclesiástica a la obediencia a los autores antiguos en total deslumbramiento.

Hubo hombres en la Edad Media tardía que observaron con todo cuidado la Naturaleza y mejoraron grandemente la exactitud de sus observaciones: tendían a compilar enciclopedias puramente descriptivas. Cuando algo necesitaba ser explicado, estos hombres no elicitan sus teorías a partir de sus propias observaciones, sino que apelaban a las explicaciones de la antigua filosofía, ¡tan deslumbrados estaban por ella! Ya en los finales del siglo XIV el canciller Francisco Bacon se quejaba de este divorcio entre observación y explicación y parte de sus preocupaciones fue mostrar cómo esta última debía surgir de la primera.

¿Cuál fue o fueron los obstáculos que retrasaron la aparición de la química como verdadera ciencia respecto de la física? En primer lugar; la concepción que se tenía de los elementos. De entre todas las cosas de este mundo, si algo aparecía como irreducible, simple y omnipresente, éstos eran el aire y el agua, sino no es que todo podría eventualmente resolverse en agua. El fuego se consideraba oculto en las substancias y liberado durante la combustión en forma de flamas. Pese a que el canciller Bacon había sugerido que el calor o fuego pudiera ser una forma de movimiento en las partículas microscópicas de materia, se le consideraba substancia material, elemento. Pero para descubrir qué eran el aire y el agua se requería la noción de diferentes gases, contar con la forma de atraparlos, distinguirlos y posteriormente pesarlos.

¿Se dirá entonces que la alquimia fue inútil? No, no es para tanto. Por un lado, está el adelanto tecnológico, innegable, sobre el conocimiento de la manufactura de toda clase de materiales; por otro, el valor de la búsqueda de la transmutación, que si bien tiene carácter negativo, dejó el terreno preparado para la creación de la química como ciencia.

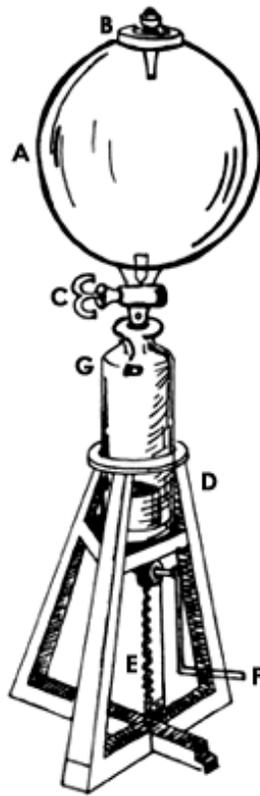


Figura 12. Bomba de Boyle para hacer vacío.



Inicio

[Nota 1] 

1Alexander Koyré, *Estudios de historia del pensamiento científico*, 4 ed., Siglo XXI , México, 1982, pp. 18 y 19.

[Inicio](#)

III. EN DONDE SE VE QUE, EN 1690, MECÁNICA Y ASTRONOMÍA VAN POR DELANTE DE LA QUÍMICA Y QUE ÉSTA VA POR BUEN CAMINO. PERO A LA PREGUNTA: ¿QUÉ ES EL FUEGO? SE TOMA EL CAMINO EQUIVOCADO Y SE VIVE DE ILUSIONES.

—¡HEY; Juan! ¿A dónde vas? ¿Qué es de tu vida? —¡exclamó Rubén alcanzando a su amigo—.

—¡Hola Rubén! No nos hemos visto y esto desde el trimestre pasado. Te he ido a buscar; los vecinos no han sabido darme razón de ti y tampoco Luisa te ha visto. Ya no has ido a las demostraciones de química. ¿Qué, te vas a salir de la escuela, o qué?

—No, lo que pasa es que estoy muy ocupado con cosas interesantísimas. ¿Te acuerdas que andaba con problemas de dinero? Pues buscando aquí y allá fui a dar con *monsieur* de Montmor; quien organiza reuniones en su casa; me ofreció un luis por cada reunión durante este noviembre y después por cada jueves. Lo que tengo que hacer es recibir a los participantes, tú sabes, recibirles el sombrero y el capote y ayudar a servir la mesa en las reuniones "del grupo". Bueno, pues, te podrás imaginar; acepté. No es fácil pensé, entrar al servicio de un caballero que pague bastante como para poder comer y seguir estudiando; pero sentémonos, mira, allí junto al mostrador; hay dos lugares con sombra. Te invito un blanco, tengo muchas cosas que celebrar.

—¡Hey, *garçon*, dos blancos! —gritó Rubén al tiempo que arrimaba una silla para él e invitaba con el gesto a su amigo a hacer lo mismo—. Pues sí, acepté y fue lo mejor que me haya pasado en la vida; resulta que las reuniones del grupo, que me imaginé serían como las de los salones encabezados por damas libres e interesantes, son estrictamente de discusión de problemas y teorías filosóficas y mecanicistas. Nada de nobles ignorantes, ni de intrigas, ni de chismes de la Corte. Los asistentes serán una docena entre matemáticos, filósofos mecánicos, astrónomos y físicos, varios de ellos de la Academia de Ciencias. ¡Y vieras qué discusiones tan apasionantes! Antier se trató del pulido de lentes y de diversos tipos de relojes. ¿Y a quién crees que he conocido?... ¡A Christian Huygens!

—¿Al inventor del reloj de péndulo, al holandés?¹ 

—Ajá, un tipo formidable. Viendo lo que se suele tratar en esas reuniones, le conté a *monsieur* de Montmor que soy estudiante matriculado en medicina y que me intereso muchísimo por la filosofía natural; se sonrió y dijo que si me apresuraba a leer los trabajos de Galileo, me aplicaba a repasar geometría y matemáticas y me mostraba capaz de comprender los *Principia*,²  me pagaría el doble, y agregó que si no abandonaba la Sorbona, sino sólo me cambiaba de matrícula, pudiera ser que me constituyera en un par de años en el miembro joven del grupo. ¿Te das cuenta? ¡Uauh!

—¡Salud y felicidades! —dijo Juan alzando su vaso—. Pero, entonces, ¿ya no vas poder seguir con el laboratorio de química?

—No, ya no. Claro que no. ¡Imposible!, no puedo. Huygens está de visita solamente unas semanas y *monsieur* de Montmor quiere aprovechar al máximo el tiempo. Las reuniones son en días alternados. Y además, —añadió Rubén; con cierta petulancia— tanta experimentación, según lo que he oído decir es innecesaria, más bien redundante. La verdadera ciencia consiste en la elaboración de teorías. Justamente hoy se nos hizo saber la opinión de Leibniz al respecto.

—Hmmf... ¿Y qué dice de la química?

—No se refiere directamente a la alquimia, ni a la iatroquímica directamente, sino a esa actitud de experimentación a tontas y a locas, fatigosa y abrumadora que hace Robert Boyle. Leibniz considera que desperdicia su talento, en todo caso menor; porque no ha producido una teoría.

Como Rubén notara que el rostro de Juan se congestionaba por momentos, desorientado, creyó prudente puntualizar. Se le antojan irrelevantes los experimentos que no ejemplifican una teoría matemática, previamente

elaborada, "un sistema del mundo".—Inclusive —añadió a la defensiva, viendo que la expresión de Juan se tornaba cada vez más feroz— la explicación de la relación entre la presión de confinamiento del aire con el volumen que ocupa, descubierta por Boyle, ha sido explicada, en términos de átomos no por él, sino por Newton...³ 

Al llegar Rubén a este punto, Juan saltó como picado por un aguijón y exclamó:

—Pero, ¡ya quisiera yo ver a Leibniz hacer una teoría sobre, digamos, por qué la sal se disuelve en agua pero no en aceite ni en mercurio, o por qué el azufre se disuelve en aceite pero no en agua ni en mercurio, o por qué un rubí es rojo y una esmeralda es verde! Y toma nota ¡Explicar el porqué, en términos de las diferencias en tamaño, forma y movimiento de las partículas últimas! ¡No, si no es tan fácil! ¡No señor! Además —concluyó Juan un poco más calmado—, ¿tú, se lo has oído decir o lo has leído?

—¡No, no! —replicó Rubén con ademán conciliador—. Realmente, planteadas así las cosas, veo que los sabios continentales⁴  no están apreciando la dificultad de la química y es que creen que está tan avanzada como la astronomía o la física. No conozco personalmente al gran Godofredo Leibniz, pero, que tiene esas ideas es seguro,⁵  pues todos los visitantes de Berlín que han venido a dar a París, quiero decir que han asistido a las reuniones de *monsieur* de Montmor, así lo informan, y lo que es más, ¡las comparten! Sin ir más lejos, el mismo Huygens. Y calma por favor, no es mi intención herir tus sentimientos boyleyanos. ¿Este programa, que me acabas de describir; es lo que Boyle llama filosofía corpuscular de la química?

—Así es en efecto Rubén, la filosofía corpuscular debe... debe... ¿Cómo decirlo? Poder explicar cosas como color, gusto, olor, brillantez, ductilidad, selectividad en la reactividad, etc. Porque, así como con las letras de un alfabeto, al unir las de formas diferentes se pueden formar diferentes palabras, así al unir las partículas en distintas

combinaciones se deben obtener distintas sustancias;⁶  representando cada combinación de número, tamaño y movimiento, un conjunto posible de propiedades de la sustancia; el asunto es hallar las reglas del cómo y del porqué. En cuanto a que si Boyle busca datos experimentales por todas partes y de todas clases, es para ver si puede identificar tendencias, comportamientos, lograr clasificaciones que sirvan para establecer una teoría, pero lo hace, toma nota, no a tontas y a locas sino de forma *razonada*, aunque sí, a ciegas, porque no hay camino, porque no sabe a dónde llegará. Su actitud es la de interrogar a la Naturaleza, si no, ¿cómo separar una filosofía especulativa de la filosofía natural? ¿Cómo, si no, legitimar a la química como ciencia? Boyle lleva a cabo la experimentación en el sentido del canciller Bacon: "para escuchar lo que la Naturaleza tiene que decir." Además, describe sus experimentos con detalle fiel para que los demás los podamos reproducir; a riesgo de que se le acuse de prolijo y no como los alquimistas que ocultan y disfrazan lo que saben... ¡Si es que saben algo! Boyle es un científico moderno —concluyó Juan en tono que no admitía réplica

Por unos instantes, los dos jóvenes contemplaron a las palomas revolotear ante el portal alquímico de Notre-Dame.

—Sí. Acabas de decir algo muy real comentó Juan soñador—. El punto de vista prevaleciente aquí en el continente, de que el funcionamiento de la Naturaleza se descubre por la teorización racional y el experimento, sólo vale como ejemplo, se debe en parte a que, al estar bastante más adelantados en mecánica y en astronomía que en química tendemos a pensar que no es necesario tampoco en química, experimentar para saber. En mecánica, gracias a Galileo y a Newton, principalmente, ahora se pueden calcular propiedades del movimiento de los cuerpos sin necesidad de ir a medir cada vez y además se está seguro de ello. Por ejemplo, sé cual será el periodo de un péndulo hecho de un balín al extremo de un hilo de seda de 2m, en oscilación pequeña, sin necesidad de medirlo, $2\pi l/g = 2.84$ segundos, y más importante para lo que estamos discutiendo, sé que el periodo que calculé será el mismo, tanto si el balín es de plomo como si es de vidrio. En mecánica terrestre o celeste, sólo importan la masa, las fuerzas, las aceleraciones, etcétera.

—Bueno, ¡claro! —interrumpió Rubén—, las leyes de la mecánica son muy generales. Prescriben el mismo tipo de cambio, bajo circunstancias dadas, para todas las variedades de materia.

—¡Ajá! Pero en química, justamente el problema es matematizar la cualidad de ser plomo o de ser vidrio, matematizar el porqué el plomo se disuelve en ácido y no el vidrio por ejemplo.

—Y como ves —dijo pensativo Juan—, esta actitud de hacer a un lado la cualidad de la materia es de antigua raigambre, viene desde Demócrito y pervive en Galileo y en Descartes; es una actitud dictada por la necesidad: la

dificultad misma de racionalizar las cualidades ha hecho que se las declare no aptas para la descripción intelectual, o no interesantes.

—¿Cómo puede ser esto? En primer lugar, hasta donde yo sé, Descartes está en total desacuerdo con Demócrito. ¡Explícate!

—Sí, mira, Demócrito afirmaba que de lo único que tenía sentido hablar era de aquello que se podía expresar en términos matemáticos. Por ejemplo, respecto de la forma y del tamaño, puedo decir si se trata de triángulos o círculos, etc., y en consecuencia expresar el área, el volumen; también puedo establecer proporciones entre ángulos y lados, etc. Rechazaba discutir la cualidad o clase de materia porque no se puede decir nada matemático al respecto, y a falta de otra cosa, decía que habría que suponer que era la misma en todos los átomos, a saber; la materia primordial. Para él no tenía sentido hablar de distintas clases de materia. ¿Cómo expresar matemáticamente lo distinto en clases de materia? ¡Reconoce que está en chino! Con esta idea en la cabeza, atributos como color; acidez, etc., con los que distinguimos las clases de materia, por ser inabordables matemáticamente, quedaban para él fuera de toda posible discusión.

—Sí, pero ¿y Descartes y Galileo?

—Ahora viene Descartes —continuó Juan saboreando su vino—.

—Claro que él no admite ni la indestructibilidad o inmutabilidad de los átomos, ni mucho menos el vacío que Demócrito o Lucrecio juzgan necesario, para escenario, en el que se muevan los átomos; *pero*, en su teoría de átomos desgastables, de varios tamaños, que se mueven unos rozando a los otros, solos o en cúmulos, pero de manera tal que jamás dejan huecos (sus famosos vórtices) *toma el punto de vista de Demócrito*, de que lo único de lo que se puede afirmar algo es de la forma, la masa y el movimiento.

—Bueno, sí, es verdad, pero ésa es la situación en la que nos encontramos, exactamente ésa. ¿Qué otra cosa se puede decir?

—¡Ah!, pero el que estemos no quiere decir que no se trate de buscar la manera de traducir; en enunciados matemáticos, las cualidades de la materia, y para ello hace falta experimentar más y más, como lo hace Boyle, y no conformarse y declarar "imposible o inútil experimentar aquello que de antemano sabemos cierto por obra de la razón, cual es que todo se hace mecánicamente en la Naturaleza", como murmuran ciertos sabiecillos petulantes que andan sueltos por ahí...

—¡Paz, me rindo! Tienes razón —exclamó sonriente Rubén—, pero ¿por qué dices que esta actitud frente a las cualidades de la materia pervivió en Galileo?

—Juzga tú lo que escribió en *Il Saggiatore*,⁷  me impresionó tanto que lo recordaré para siempre. Decía —y Juan se apretó las sienes con las manos— "Me siento impelido por la necesidad, tan pronto como concibo un trozo de materia o substancia corpórea, de concebir que en su propia naturaleza está limitado y tiene tal o cual figura que, en relación con otros es grande o pequeño, que está en este o ese lugar, en este o aquel momento, que está en movimiento o se halla en reposo, que toca o no toca a otro cuerpo, que es único, pocos o muchos...; pero el que sea blanco o rojo, amargo o dulce, ruidoso o mudo, de un olor grato o desagradable, no advierto cómo, mi *mente*, pueda ser forzada a reconocerlo."

—¡Zas! Pero vuelvo a preguntar; ¿qué otra cosa se puede decir? ¡Las cualidades no pertenecen al dominio de lo racional!

—Y yo vuelvo a contestar, decir, por el momento, nada; buscar ¡ sobre la marcha!

—¡Y qué genio! —continuó Juan reflexivo—. Precisamente porque fue capaz de abstraer lo esencial en el movimiento y no distraerse con la multiplicidad de las cualidades, por ello comenzó a deshacer el nudo de ignorancia que tenía atorada a la filosofía natural. Hizo avanzar el conocimiento porque pudo concebir que un cuerpo esté en movimiento aunque sea un sistema aislado. Pero ahora, ya que él nos ha hecho avanzar y Newton lo ha culminado, habrá que preocuparse de las cualidades de la materia. Ahora habrá que ocuparse de la interacción entre substancias.

—¿Qué habrá querido decir con "único, pocos o muchos"? ¿Se referiría a las hipótesis atómicas?

—No sé. También pudo haberse referido a los elementos. ¡Quién sabe!

En ese momento, los poderosos bronces de Notre-Dame llamando al rezo, volvieron a la realidad inmediata al boticario y al estudiante.

—¿Tienes que ir ahora a casa de Montmor? Me gustaría que me acompañaras al laboratorio. Digo, si tienes tiempo. Quisiera mostrarte una bomba para hacer el vacío de Boyle, la he construido yo mismo y con ella he estado repitiendo algunos de sus experimentos y haciendo otros que se me han ocurrido.

—Sí, desde luego, gracias. Los invitados de Montmor llegarán hasta las ocho, así que tendremos un par de horas para discutir. ¡Ah!, ya se me olvidaba. ¿Qué opina Boyle de los elementos?

—No cree en ellos. Tengo varios escritos suyos en donde echa abajo la idea de substancias elementales universales. Además, es un atomista de hueso colorado.

—¡Pero, cómo!

—En casa te explico.

Caminaron algunas cuerdas en silencio y al llegar al callejón de la *Parcheminerie*, se detuvieron ante la puerta de la botica *Le Parfum*. Después de saludar a Magdalena con un par de sonoros besos y preguntar si había habido muchos clientes, le dijo Juan:

—¿Qué tal si cerramos, ya es hora, y nos preparas una buena sopa?

—La sopa ya está lista, y si ustedes ponen la mesa en lo que yo caliento el asado, podremos comer de inmediato. Qué milagro que vienes al laboratorio, Rubén, estábamos preocupados por ti. ¿Qué vino te sirvo? —Y diciendo y haciendo, Magdalena procedió a servir las copas y a atizar el fuego—.

Habiendo hecho los honores al sazón incomparable de Magdalena y después de haberla alabado como a la mejor cocinera de París —¡Ni con Montmor se come tan sabroso!—, Rubén continuó la discusión.

—Estoy de acuerdo en que Boyle no crea en los cuatro elementos de Aristóteles, porque es experimentalista y no ha ocurrido jamás el experimento que resuelva, digamos, alguno de los metales en sus componentes fuego, tierra, agua y aire. Pero por otra parte tampoco hay una evidencia definitiva en contra, si no es el hecho mismo de que su obtención a partir de los metales ha eludido a los alquimistas hasta la fecha. ¿Qué opina de los cinco elementos modernos en que ahora todos los filósofos por el fuego descomponen a la mayoría de las demás substancias?

—¡Cómo que los cinco elementos modernos! —intervino asombrada Magdalena— ¿Qué no son, en todo caso, los tres principios de Paracelso?

—La situación hasta el momento es que, ya sea por destilaciones y más destilaciones, o por calcinaciones; siempre con fuego, destructivamente, los alquímicos sólo consiguen, a lo más, la siguiente separación que llaman "análisis en elementos":

un licor volátil, que consideran el *mercurio*,

una substancia inflamable, que consideran el *azufre*,

un residuo soluble en agua, que consideran la *sal*,

un líquido insoluble, que llaman *flema*, y

un residuo sólido, que consideran es la *tierra*.

—Oigan lo que dice Boyle al respecto —dijo Juan al tiempo que tomaba del estantero *El químico escéptico*,⁸ y ummf... está muy largo, les leeré sólo algunas partes⁹ y les resumiré otras: después de describir el experimento de combustión del leño verde, precisa: "Para evitar errores, he de advertir que entiendo aquí por elementos lo mismo que entienden los químicos que se expresan con mayor claridad, a saber; ciertos cuerpos primitivos y simples o perfectamente sin mezcla que, al no estar hechos de cualesquier otros, o, unos de otros, son los ingredientes de los que se componen inmediatamente *todos* los cuerpos denominados perfectamente mixtos, y en los que finalmente se resuelven. Ahora bien, lo que ahora *pongo en tela de juicio es que haya tales cuerpos que se encuentran constantemente en todos y cada uno de aquellos que se consideran cuerpos compuestos de elementos.*"

—¡Sopas! ¿Por qué poner su existencia en tela de juicio? —inquirió Rubén—. La evidencia experimental es que se encuentran, después de mil operaciones con el fuego, a lo más, las cinco fracciones que mencionaste. ¿No que hay que escuchar lo que la Naturaleza tiene que decir? ¿Y que abajo con las especulaciones? —añadió burlón—.

—¡Momento! ¡En primer lugar, como tú mismo lo acabas de señalar, nunca se ha podido extraer de ningún metal, ni del cuarzo, etc., ninguno de los tales elementos ni ninguna de las cinco fracciones mencionadas. Luego no *todas* las sustancias conocidas han podido ser resueltas en ellos, por el fuego. Segundo, dependiendo de la forma en que se realice el análisis por el fuego, así es la clase de los pretendidos elementos que se encuentran, sigue diciendo el mismo honorable sir Roberto, las maderas, por ejemplo, calcinadas a horno abierto, se resuelven en calx y humo, que por cierto, no es aire, porque pica los ojos como un ácido, lo que por ejemplo no hace el humo del agua cuando se calienta. Pero esas mismas maderas, destiladas en retorta, se despliegan en aceite, espíritu, vinagre, agua y carbón. Habría entonces que definir cuál es, de todos los métodos, el que da los elementos. ¿Cuál es el método que da los elementos, fuego en crisol abierto, con aire, o fuego en alambique cerrado sin aire? Y tercero, habría que distinguir el grado de fuego que se emplee, pues no es lo mismo por ejemplo resolver la sangre en flema y *caput mortem* por medio de un baño de María, que por medio de un buen fuego en crisol, en donde este *caput mortem* a veces duro y quebradizo, a veces suave, se resuelve a su vez en espíritu, uno o dos aceites, una sal volátil y un *caput mortem* restante.

—Resumiendo —dijo Magdalena—, Boyle se niega a admitir que las fracciones resultantes de un análisis por el fuego hayan de ser sin más ni más los elementos, esto es, hayan de ser los constituyentes simples y universales de todas las sustancias.

—¡Exactamente! —replicó Juan moviendo vigorosamente la cabeza—.

—Pero entonces, respecto de la transmutación, ¿cuál es la opinión del honorable sir Roberto?

—Le parece perfectamente posible. ¡Con decirte que fue en gran parte, gracias a su influencia y a su prestigio, como miembro fundador de la Sociedad Real,¹⁰ por lo que el rey inglés ordenó el abrogamiento de la ley que prohibía las actividades de los multiplicadores de oro!

—¿Y cuál es el argumento de Boyle para creer que la transmutación es posible? —preguntó Magdalena—.

—¡Precisamente su apasionado atomismo! Él concibe, como dijimos antes, que a cada sustancia le corresponde un juego determinado de partículas, en número, tamaño, forma y peso, el que constituye una suerte de coalescencia en corpúsculos mayores. Piensa que nada impide a la Naturaleza echar mano del enorme surtido de partículas a su disposición, para formar una nueva sustancia, haciendo un reacomodo en los corpúsculos mayores, añadiendo o quitando partículas de un juego dado; por decir algo, añadiendo ahora tres átomos tetraédricos por cada cuatro cúbicos, con lado igual al radio medio de los esféricos ya presentes, con poco o mucho movimiento, o... cualquier otra combinación. Date cuenta, de que si éste es el caso, quitando y añadiendo partículas de los tamaños, masas, formas y movimientos adecuados, se podría construir el juego propio del oro, además de que esto explicaría la enorme variedad de sustancias diferentes que existen. Que los químicos, con el fuego, hasta el momento, no hayan podido lograrlo, porque las coalescencias o concreciones de átomos sean difíciles de separar y de armar, no quiere decir para Boyle que no se pueda.

—Ya veo, ya veo. Hablando de otra cosa, en la mañana dijiste que a Boyle le interesaba la búsqueda de cualidades comunes para clasificar sustancias ¿Acaso ha descubierto algo nuevo al respecto? —pregunto irónico Rubén—.

—¡Claro que sí, ha descubierto una característica, común a todos los ácidos, que es la opuesta de una característica común de todos los álcalis, suaves o fuertes, y que muchas sales de ninguna manera comparten! Y es la siguiente:

Los ácidos ponen roja la tintura llamada tornasol y los álcalis le devuelven el color azul, la mayoría de las sales la dejan en su color azul pálido. Pero este cambio de color no sólo ocurre con el tornasol sino también con otros colorantes vegetales. De manera que cuando se mezclan un ácido y un álcali puedo saber cuál es el punto de neutralización y obtener la sal sin que sobre ni álcali ni ácido,¹¹  por ejemplo, para obtener la sal de Glauber pongo una tira de papel impregnada de tintura de tornasol en el vitriólico diluido, añado sosa cáustica hasta el instante en que el color cambia y ¡presto! obtengo la sal sin exceso de ninguno de los reactantes. También ha descubierto cómo distinguir entre los diversos álcalis, porque ha encontrado que dan precipitados de color diferente cuando se mezclan con sublimado de mercurio.¹² 

—¡Vaya pues! Ya se hace tarde y no debo llegar después que los invitados a casa de Montruo —dijo Rubén incorporándose— ¿Me muestras la bomba de vacío que construiste copiando el diseño de Boyle?

—Y de Hooke, de Roberto Hooke. Entre los dos, mejoraron el diseño alemán.¹³ 

Después de despedirse de Magdalena, Rubén siguió a Juan al laboratorio.

—¡Oye! exclamó Rubén, al entrar y notar entre las sombras un gran bulto—, este horno es nuevo! ¡Yo no lo había visto!

—Sí, lo copié del libro *Nuestros hornos filosóficos* de Glauber.¹⁴  Mira, aquí está la bomba, —dijo con orgullo—:¹⁵ 

Este globo de vidrio grueso, *A*, de treinta litros es el contenedor; es bastante espacioso y por su boca, *B*, se pueden introducir varios arreglos experimentales. Está conectado con este cilindro de bronce de 33 cm de largo y un 1.00 cm de grueso. ¡Me salió caro! Creo que Magdalena no sabe que invertí parte de nuestros ahorros en ello, a veces finge no darse cuenta de estas cosas y yo, pues mejor ni toco el tema.

—La conexión entre el contenedor y el cilindro es a través de esta válvula de vidrio, *C*. Entonces: con la válvula cerrada, se hace bajar el pistón interior, *D*, que está muy bien ajustado, gracias a esta cremallera, *E* —y uniendo la acción a la palabra, Juan empezó a girar la manivela, *F* —se abre ahora la válvula y el aire del contenedor se reparte a todo el volumen. Se vuelve a cerrar la válvula, y ahora se sube el pistón; anda, trata de subirlo, no puedes, ¿verdad?, se requiere mucha fuerza. Ahora, retiramos este tapón de bronce, *G*, y sale expelido parte del gas y ya puedes subir hasta el tope el pistón y comenzar otra vez. Cada vez que repites la operación, se atenúa más el aire y cada vez es más fácil subir el pistón y se expele menos aire.

—He podido comprobar varios de los experimentos de Boyle. Por ejemplo, que una vejiga de buey aplastada se infla por sí sola al colocarla en el contenedor y hacer el vacío; que los animales (he ensayado con ratones y un gato, claro, cuando Magdalena no anda por aquí) languidecen y mueren después de que su hociquillo ha pasado de rosado a azulado; que el tictac de los relojes deja de oírse, que las velas se apagan, que no sólo la leña sino el alcohol y el alcanfor; etc., dejan de arder en el vacío boyleyano, pero la pólvora de todas maneras arde, esto me intriga...



Figura 13. Experimento de Mayow. Al arder la vela o al arder el trozo de azufre se producen gases que se disuelven en el agua, por lo que el nivel de ésta sube por el cuello del matraz.

Al apoyarse Rubén en la mesa advirtió un puñado de clavos y preguntó a su amigo si tenía pensada alguna talacha y quería que lo ayudara.

—No, gracias, estos clavos los quiero para producir el aire que se desprende,¹⁶ cuando se sumergen clavos de fierro en vitriólico diluido. Quiero coleccionarlo; me inquieta saber por qué el belga Van Helmont lo llamó aire pingüe, el aire es aire y punto, aunque esté contaminado. ¿No crees?

Rubén permaneció callado, coincidía con Juan. Una característica que le molestaba de los alquímicos, era la propensión a llenarse la cabeza con palabras raras cuando no comprendían lo que ocurría.

—Pero, ¿no te das cuenta? —estalló entusiasmado Juan—, el aire que se desprende en el experimento de los clavos, ¿estaba fijo en el fierro o en el vitriólico? Si resultara que virutas de estaño, por ejemplo, al sumergirse en vitriólico diluido también dieran burbujas de aire, ¡tendría evidencia de que el aire estaba fijo en el ácido y no en el metal!

—Ni te hagas ilusiones, no faltará el alquimista que te discuta que el ácido tiene la virtud de expulsar el elemento aire oculto en los metales. Para que tu interpretación sea aceptada se requiere que primero sea aceptado que los metales son elementos en el sentido de ser "primitivos y simples, perfectamente sin mezcla o no hechos de cualesquier otros".

—Tienes razón —admitió Juan desalentado—.

—Oye, a propósito del fuego y del aire, ¿cuál es la opinión de Boyle al respecto de la ganancia de peso de los metales al ser convertidos en calx? ¿La ganancia de peso se debe a absorción del aire o a absorción de fuego? ¿Hacia qué escuela se inclina? —preguntó pensativo Rubén acariciándose la barbilla—.

—¡Aagh! —exclamó Juan, cogiéndose el estómago—. ¡Ya sabía yo que tarde o temprano llegaríamos a este asunto loco! Ya es tarde, muy tarde, vete.

—Sí, sí, ya me voy, ya me voy contestó Rubén encajándose el emplumado sombrero, pero contesta mi pregunta.

—¿No que no te interesaba la química? Debo decirte, primero, que el distinguido caballero Boyle se inclina a pensar que tanto el agua como el aire y el fuego son sustancias elementales, únicamente ¡ojo! en el sentido de no ser separables en otras más simples, no en el sentido de formar parte de las concreciones metálicas. Para él, agua, aire y fuego, en cuanto a sus partículas últimas, son atómicas. Piensa que el aumento de peso en los caliches de metales, se debe a los átomos de fuego que se mezclan con las concreciones del metal.

—Pero ¿cómo explica que la combustión, la calcinación y la respiración no sean posibles en el vacío?

—Piensa que el aire es un agente mecánico indispensable que facilita la mezcla del fuego con el metal.

—¿Por qué sólo mecánico? ¿Por qué no aceptar que el aire se fija íntimamente en el metal?

—No lo sé. Quizá porque en los casos de la combustión de una vela o de la respiración de ratones en un recipiente cerrado, no se descubre ninguna disminución de la presión del aire. —Viendo que Rubén lo quería interrumpir; Juan añadió subiendo un poco la voz—. No sé qué diga de la pérdida de peso en la combustión del leño verde, pero siendo como es tan antiaristotélico y siendo químico escéptico, me figuro que no le gustará aceptar que el fuego está oculto en el leño y que escapa de él cuando arde, razón por la cual ocurre pérdida de peso. Pero, ¡ya vete, tienes que caminar como 20 cuadras, ya está oscuro y hay jetas muy feas al pasar cerca de la Bastilla!

-¡Vámonos más despacio, estás eludiendo la dificultad! ¡Sabes perfectamente que los experimentos de Mayow contradicen a Boyle!

—¿Sí? ¿Cuáles experimentos? —preguntó Juan con aire de la mayor inocencia—.

—¿En serio, no sabes a lo que me refiero?

—No —contestó Juan—, en serio no lo sé ¿De qué se trata?

—Pues llegaré tarde con Montmor; pero esto no se puede quedar así. En breves palabras: instala una rejilla en el interior de un matraz grande de vidrio fuerte, de tal manera que puedas colocar sobre ella una pequeña vela ardiendo o un ratón; hazlo de modo que la boca angosta del matraz quede hacia abajo y pueda ser sumergida en un plato hondo con agua. Verás que antes de que la una se apague o el otro muera, el nivel del agua sube por el cuello del matraz mostrando de manera inobjetable que la presión del aire disminuyó en el interior del matraz y que, por lo tanto, una porción del aire fue consumida durante la respiración o la combustión.¹⁷  ¡Todavía más! Mayow se las ingenió para instalar en el interior del matraz una repisita colgante con un trozo de azufre en ella; pues bien, haciendo incidir luz del Sol con una lupa sobre el trozo de azufre, éste no arde en el aire sobrante de la combustión o de la respiración. ¡Qué extraño que no se consuma todo el aire!

Antes de que Juan tuviera oportunidad de replicar; Rubén, despidiéndose con la mano, arrancó a todo correr.

—¡Vente a cenar con nosotros este sábado y podremos platicar a nuestras anchas sobre estas locuras! —le gritó Juan—.

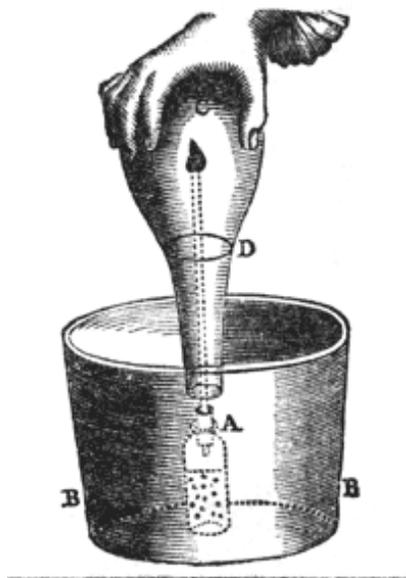
En el camino, sin aminorar la carrera, Rubén se hacía las ilusiones de poder sondear la opinión del grupo de Montmor sobre el asunto del fuego, respetuosamente, si se le presentaba la ocasión, y si podía vencer su miedo. Porque estos señores eran muy rigurosos y lo que no fuera perfectamente claro y matemático lo desdeñaban como "palabras, palabras", propias de alquimistas supersticiosos y timadores. En ese momento comprendió Rubén que su destino eran las matemáticas y no la química y que aunque regresara con sus amigos a discutir, su decisión estaba tomada.

Brandeburgo, Prusia 15 de mayo de 1700

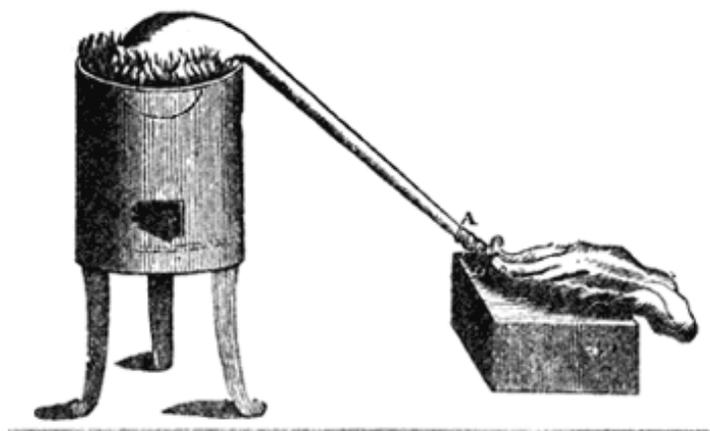
Querido Rubén,

Llegamos bien. Pedrito soportó el viaje mucho mejor que nosotros y por lo que se ve hasta ahora, soportará muy bien el frío de estas pantanosas y neblinosas regiones. Es la fecha que es, y tengo que seguir con calzones de lana so pena de pescar una ciática. El laboratorio de la universidad es helado, lo mismo que el temperamento del *Herr professor* Stahl. Y no es que tenga nada en contra de los pietistas, son honestísimos, pero son helados como su tierra y se toman todo muy en serio. El equipo es magnífico, ¡vidrio de Jena! Hay una sola cosa caliente aquí, la teoría del flogisto. El profesor Stahl la está llevando a sus últimas consecuencias. ¿Te acuerdas de nuestras discusiones hace años sobre caliches, fuego y aire? ¡Pues aquí ha prendido como un incendio la teoría del

fantasioso Joachim Becher!¹⁸  Te he de confesar que me siento entusiasmado aunque un poco desconcertado, porque hay hechos experimentales que se están dejando de largo; por otra parte no veo cómo pueda explicarse de otra manera lo que la teoría de Stahl explica. Para no hacerte el cuento largo, y como supongo que tu trabajo con Jacobo Bernoulli ha de consumir casi todo tu tiempo, te envió el siguiente resumen (con la esperanza de que tal vez una idea de matemático nos ayude en este asunto).¹⁹ 



Combustión de hidrógeno en aire: experimento de Scheele. El hidrógeno se genera en la botella A. Sumergida en la tina de agua caliente B. La flama arde en el interior del matraz invertido, D. El agua sube dentro del matraz.



Obtención de aire empíreo de Scheele. A. Vejiga de piel para conectar el gas.

Antecedentes:

Becher descubrió que el carbón vegetal y el hollín de las chimeneas arden y no contienen azufre. Postuló, en consecuencia, que en vez del principio combustible sulfuroso de Paracelso, en los cuerpos combustibles y en los calcinables está presente una *tierra pingüe* o tierra grasa. El hollín, grasoso, es particularmente rico en esta tierra pingüe. Esto suena muy razonable y en consonancia con el experimento: si la calcinación de leña es al aire y total, esta tierra pingüe se escapa completamente en las flamas, de hecho, es la flama misma. Pero si la calcinación no es total, y se lleva a cabo en forma encerrada, la tierra pingüe no se puede escapar y la leña se transforma en carbón con la mayor parte del flogisto todavía atrapado en él, aunque bastante más disponible de lo que estaba en el leño verde. Postuló, pues, una *substancia que se pierde* durante la combustión y la calcinación. Me parece que no es otra cosa que el antiguo elemento fuego de Aristóteles. Stahl, por su parte, habla de una *propiedad* que se pierde durante la combustión y la denomina flogisto. La flama, según Becher y Stahl, no es otra cosa sino el prendimiento violento del flogisto como le llama Stahl o de la tierra pingüe, como le llama Becher. Así pues, el flogisto es fuego oculto (fijo en las substancias) que se hace fuego evidente (liberado).

Hechos:

a) El carbón, el hollín, la leña verde o seca, las sustancias vegetales, arden con hermosas llamas dejando un calx. El peso del calx es *menor* que el peso de la sustancia original.

a') El aire pingüe arde violentamente y aparecen unas gotitas de humedad sobre un plato frío que se coloque arriba de la flama.

b) Al calcinarse un metal se convierte en calx. El peso del calx es *mayor* que el peso del metal.

b') Dejadlos al aire libre, los metales (excepto el oro) se cubren de herrumbre.

c) Los caliches de los metales con calor y carbón se transforman en metal.

d) La vela y las combustiones en general se apagan en un recipiente cerrado. Los animales se entristecen, decaen y terminan por morir si se les deja mucho tiempo en un recipiente cerrado.

e) La combustión no ocurre en el vacío boyleyano. El carbón no arde, sin embargo:

f) La pólvora y en general las mezclas de carbón o de azufre con salitre arden en el vacío boyleyano.

g) El intrigante comportamiento del calx de mercurio: caliente fuertemente mercurio en la retorta y se forma el calx, un polvo rojo; aumento la intensidad del calentamiento y vuelve a formarse el mercurio.

Explicaciones y conclusiones flogísticas.

a) Respecto de estas evidencias no hay problema, son la base original de esta doctrina: se pierde peso porque el cuerpo o sustancia al arder pierde flogisto. Las flamas son flogisto en fuga.

a') El aire pingüe es, según estos señores, una solución de flogisto en aire. Al arder violentamente se libera. De la presencia resultante de humedad no se ha encontrado todavía una explicación.

b) El hecho experimental del aumento de peso les importa un rábano. Rehúsan aceptar la teoría de Boyle de que el aumento de peso se debe a que el metal ganó átomos de fuego, que al fin y al cabo sería flogisto que entró al crisol. Se empeñan en sostener que la calcinación, al igual que la combustión, implica pérdida de flogisto. ¿Se quedan callados estos señores? ¡De ninguna manera! Teorizan que el flogisto posee la virtud de "levedad", algo así como un peso negativo o una fuerza de suspensión flotante. Dando como resultado que, al calcinar un metal, se escapa el flogisto y el caliche resulta más pesado. Otros más refinados avanzan la hipótesis de que algo ha de ocurrir en una segunda etapa que más que compensa la pérdida original de peso. Pero qué ocurra, no lo dicen. Otros, con inclinaciones mecánísticas, arguyen que la presencia de flogisto en el metal debilita la fuerza de repulsión entre las partes del metal y del éter empíreo, disminuyendo su mutua gravitación. Es en este punto donde me gustaría oír tu opinión, porque es este aumento de peso lo que me convence de que Boyle tenía razón.

b') Hay metales que espontáneamente pierden su flogisto, lo van soltando, con lo que queda lo que llamamos herrumbre

c) Los caliches recuperan su flogisto perdido a expensas del carbón que es rico en él. Así se trabaja en las fundiciones. Esta es la segunda evidencia experimental fuerte a favor del flogisto. Esta es la evidencia que me entusiasma. No veo cómo explicar este hecho sin apelar al flogisto. A Stahl le encanta hacer la siguiente demostración para sus amigos médicos que no visitan las fundidoras: calienta fuertemente litargo (el calx de plomo) y le deja caer encima trocitos de carbón. Donde cae el carbón sobre el litargo se forma una perlita de plomo líquido. Y ¡claro! si todos los metales contienen flogisto, todos son brillantes y maleables. La reacción se puede escribir denotando el flogisto con la letra Φ como



d) Ni la combustión ni la respiración se sostienen, porque en un recinto cerrado pronto se satura el aire con flogisto hasta que ya no admite más. Según estos profesores, la vida se sostiene por eliminación en la respiración, del flogisto adquirido al ingerir los alimentos.

e) Consideran que el aire tiene que ver sólo como agente mecánico dispersor del flogisto. Al no haber aire, el flogisto no se puede dispersar. Imaginan al aire como una suerte de esponja que absorbe al flogisto.

Esta teoría relega al desván de trastos viejos las hipótesis de Rey y de otros químicos famosos en nuestra juventud, quienes avanzaron la idea de que los metales al ser calcinados ganaban peso porque absorbían el aire. Me remuerde el recuerdo de Hooke, quien en su *Micrographia* adelanta claramente la teoría de que... una parte... ¿una porción del aire? es necesaria y es la que interviene en la combustión.

f) Este hecho me desconcierta, ¿por qué se puede escapar el flogisto del carbón en el vacío cuando está mezclado con salitre y azufre y cuando está el carbón solo no? Los he puesto a leer y escribir al recordarles la teoría de las dos emanaciones de la tierra, el espíritu de azufre y el espíritu del salpetre, presentes en el aire y que precisamente constituirían una suerte de pólvora natural que al estallar daría lugar a los temblores y a los relámpagos. No que yo lo piense así, pero si la pólvora arde en el vacío, ¿no será porque el salitre tiene el espíritu de salitre y no necesita tomarlo del aire?²⁰ 

g) Según los flogistonistas, primero ocurre la consabida pérdida del flogisto, después el calor del horno, otra forma de flogisto, atraviesa la pared de la retorta y se combina con el mercurio.

¿Cuáles serán las conclusiones que uno pueda sacar de esto? Una se ve clara, que los caliches son sustancias elementales, porque se obtienen por descomposición y que los metales son compuestos porque se obtienen a partir de flogisto y del correspondiente calx.

Según esta teoría, nada que pueda quemarse o calcinarse puede ser un elemento. Combustión implica descomposición en elementos.

He aquí la prueba de Stahl ²¹  de que el azufre, un no metal, es un compuesto de ácido sulfúrico (un elemento) y de flogisto: el azufre arde con una flama (debida al escape de flogisto) y si se atrapan sus vapores en agua podemos escribir:

azufre \rightarrow vapores + ϕ

vapores + agua \rightarrow ácido vitriólico.

Si restituimos al ácido el flogisto perdido obtendremos el azufre. Para poder realizar esto es necesario impedir previamente la volatilización del ácido con el calentamiento. Esto se realiza fijando primero el ácido con álcali vegetal cáustico (potasa):

ácido + potasa \rightarrow sal.

La sal ahora se calienta con carbón (rico en flogisto) dando como resultado una masa café oscura idéntica al hígado de azufre:

(ácido sulfúrico + potasa) + ϕ \rightarrow hígado de azufre.

Se demuestra que en efecto la masa oscura obtenida es indistinguible en todas sus propiedades del hígado obtenido cuando se funden juntos azufre y potasa:

azufre + potasa \rightarrow hígado de azufre.

Se sigue inmediatamente de estos experimentos que:

ácido vitriólico + ϕ \rightarrow azufre.

Pero no se detiene aquí Stahl, tiene la teoría general de que lo que ocurre en toda reacción química es el pasaje de flogisto de unas sustancias a otras.

Otra conclusión es que esta sustancia flogisto es anómala, a veces pesa y a veces levita. A veces atraviesa las paredes, a veces no. Ahora que te escribo y repaso estas extrañas ideas me doy cuenta: si en efecto, en (d) el aire se ha saturado de flogisto, entonces ¿por qué no arde como la supuesta solución de flogisto en aire del experimento (a')? Me siento desesperado, ahora comprendo a Sócrates, mientras más sé, sé que no sé nada. Bueno, no hay que perder la fe, las dificultades tarde o temprano se explicarán satisfactoriamente y es realmente un adelanto explicar tantos fenómenos por intercambios de flogisto y no estar invocando espíritus, virtudes y principios a diestra y siniestra.

He conseguido unas horas adicionales muy bien pagadas en la escuela de metalurgia del electorado, y muchas

veces la práctica que preparo para los estudiantes de la universidad me sirve para la de los aprendices de metalurgista. Esto me deja tiempo para planear mis propias teorías y moverles el piso a los flogistonistas, si, *dubito ergo cogito, cogito ergo suum*, por mucho que me entusiasme este hijo de Zoroastro, hay que dudar y dudar, si no ¿cómo merecer el título de filósofo naturalista? Para mañana ya tengo preparada la demostración de Mayow de que una porción del aire es *consumida* en la combustión. ¿Te acuerdas?

Recibe los saludos y abrazos de Magdalena y Pedro para ti y para Luisa. Espero que Basilea sea más clemente con ustedes de lo que ha sido Prusia con nosotros. En espera de tus sugerencias quedo afectísimo tuyo,

JUAN



1C. Huygens, gigante de la física, no sólo fue un matemático sobresaliente, también mejoró el telescopio, contribuyó a la formulación de la conservación del ímpetu y de la energía cinética en las colisiones elásticas. Propuso considerar a la luz como ondas, y aducía en favor de su opinión fenómenos como los de la difracción, mientras que Newton proponía que la luz estaba constituida por partículas. Para mayor conocimiento de este tema, véase en esta colección el libro núm. 32, de la doctora Ana María Cetto.

Inicio

[Nota 2] 

2 *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Tratado que contiene la explicación de los conceptos de masa, peso, fuerza, las tres leyes del movimiento de Newton y la ley de la gravitación universal. Gloria de la humanidad.

[Inicio](#)

3 Rubén se refiere a la deducción matemática que hizo Newton de la ley de Boyle, a saber, presión y densidad del gas son proporcionales (a temperatura constante). La imagen atomística de Newton es de partículas *estáticas* que se repelen mutuamente por fuerzas inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia entre sus centros (proposición XXIII, teorema XVIII en los *Principia*). Dalton, en particular, aceptó esta imagen. Sabemos ahora que no es la correcta. Véase, para información moderna sobre la teoría cinética de la materia, en esta misma colección el libro núm. 36, del Doctor Leopoldo Carcía-Colín.



[Nota 4] 

4 Se refiere a los del continente europeo en oposición a los ingleses.

Inicio

[Nota 5] 

5 Las ideas expresadas constan en la correspondencia entre C. Huygens y G. W. Leibniz a la muerte de Boyle. Véase *Robert Boyle, física, química y filosofía mecánica*, traducción y notas de Carlos Solís Santos, Alianza Editorial, SEP, México, 1988.

[Inicio](#)

[Nota 6] 

6 Esta comparación entre lenguaje y teoría atómica es de Pedro Gassendi, culto sacerdote francés de la primera mitad del siglo XVII, quien contribuyó a la diseminación de la teoría atómica.

 Inicio

[Nota] 

Citado en *Historia de la humanidad, bajo el patrocinio de la UNESCO , tomo 6, cap. 5, Editorial Planeta, Barcelona, 1977.*

[Inicio](#)

8 Una de las obras principales del honorable sir Roberto Boyle, en donde expone sus puntos de vista sobre la teoría corpuscular. El escepticismo al que se refiere es a no creer en las sustancias elementales como creían los alquimistas de su época y anteriores, a saber, sólo cuatro, o tres, o siete, según la escuela y siempre presentes en toda materia.

Inicio

[Nota 9] 

9 Véanse las referencias citadas en el núm. 5 de este capítulo y en el Núm. 5 del capítulo II.

Inicio

10 En 1554, Boyle fue invitado por John Wilkins, director de Wadham College de Oxford a incorporarse a su colegio. Durante los 14 años que vivió allí, participó en las reuniones del grupo de Wilkins en las que tomaban parte los profesores más destacados de Oxford en geometría y astronomía, así como experimentalistas, médicos y arquitectos. Wilkins tenía una notable facilidad para inspirar amistad y respeto, y un talento desusado para reunir a las personas en intercambios de ideas y para la discusión seria de experimentos de riendas naturales. Por cuestiones políticas las reuniones se interrumpieron y más tarde se reanudaron, en Londres, al restaurarse la monarquía, con la mayoría de los participantes del antiguo grupo de Wilkins. El 28 de noviembre de 1660, después de la conferencia, Boyle y otros 11 decidieron establecer un "colegio" para promover el "Aprendizaje Experimental Physico-Mathematico". Ese fue el comienzo de la Sociedad Real cuyos estatutos, publicados dos años más tarde, la constituyeron en la primera asociación científica del mundo, antecediendo a la francesa por sólo cuatro años.

[Inicio](#)

11 En nuestros días ésta sigue siendo la distinción operacional cualitativa más inmediata entre ácidos y bases. No hay actualmente laboratorio de química de cualquier tipo en donde no se cuente con juegos enteros de papelillos impregnados de diversos tintes vegetales para medir de una manera semicuantitativa la acidez de una solución. Sale quizá sobrando señalar que el método de juzgar concentraciones de sustancias con indicadores vegetales se ha extendido a toda clase de sustancias. La acidez, por cierto, es una de las cualidades que gracias a la teoría atómica y al descubrimiento de la estructura atómica se pudo matematizar 200 años después de la discusión entre Juan y Rubén. Para ello hubo de descubrirse que los ácidos al disolverse en agua liberan sus hidrógenos en forma ionizada. con este término se indica que tales hidrógenos han perdido un electrón cada uno. Los iones hidrógeno se encuentran adheridos al menos a una molécula de agua, H_3O^+ y, reciben el nombre de hidronios. La concentración de hidronios en mol/litro es la medida de la acidez de una solución. Debido al intervalo tan amplio de valores de esta concentración, se usa una escala logarítmica llamada "pH" o potencial de hidrógeno.

Inicio

[Nota 12] 

12 Se trata del cloruro mercurico.

Inicio

13 Las investigaciones de Boyle sobre las propiedades del aire se inspiraron en los sensacionales experimentos de Von Guericke en Magdeburgo, publicados en 1657. Boyle se fascinó con lo que leyó. Von Guericke había mostrado que si dos hemisferios metálicos huecos se ajustaban base contra base y se extraía el aire de su interior, la presión de la atmósfera era suficiente para mantenerlos unidos contra la fuerza de dos grupos, de seis caballos cada uno, tirando en direcciones opuestas. La bomba de aire usada para vaciar los hemisferios le pareció a Boyle susceptible de mejoras y de más amplias aplicaciones. Necesitando Boyle un ayudante inteligente capaz de llevar adelante el perfeccionamiento de la bomba, le fue recomendado por Wilkins Roberto Hooke, estudiante de Christ Church. Así, Hooke a sus 20 años se alojó con Boyle y a partir de entonces se desarrolló una colaboración fructífera entre los dos hombres que duró hasta la muerte de Boyle y que dio su entrada a Hooke en la Sociedad Real. Sin la amistad de Boyle es dudoso que su genio se hubiera realizado. Hooke carecía de maneras y de personalidad atrayentes. Le faltaba tacto y carecía del don de relaciones públicas, y además en la Inglaterra del siglo XVII sufría de una tremenda desventaja: no era un "caballero"

 Inicio

14 Juan Rodolfo Glauber es quizá el más grande químico práctico del siglo XVII. Era autodidacto, y después de viajar mucho, se estableció en Amsterdam. Describió las reacciones de neutralización y descubrió el sulfato de sodio. Escribió varios libros, verdadera enciclopedia de la química práctica. Uno de ellos merece especial mención, el llamado *La prosperidad de Alemania*. En él hace recomendaciones para asegurar la autosuficiencia económica de Alemania, mediante el conocimiento de las operaciones químicas industriales, lo que ahora llamamos el *know how*. ¡Pensar que hay naciones del Tercer Mundo que apenas ahora, a finales del siglo XX están dando pasos serios para asegurarse una tecnología propia! Pero ya se ve que, porque hubo los Glauber y los que los escucharon, Alemania es una potencia.

[Inicio](#)

15 Tomado del artículo sobre Roberto Boyle de Marie Boas Hall, *Scientific American*, agosto de 1967, pp. 97-102.

[Inicio](#)

16 El aire pingüe, o aire inflamable como le llamó Boyle, y que ahora llamamos hidrógeno, fue preparado y colectado por primera vez por él. Llenó una botella con ácido sulfúrico diluido, puso clavos en él e invirtió la botella sobre un plato hondo de la misma solución ácida. Las burbujas del gas al subir desde los clavos se colectaban en la botella. Boyle mostró también que la flama de hidrógeno se extinguía en el vacío. Posteriormente, Cavendish lo estudió, lo caracterizó e identificó como un elemento gaseoso.



[Nota 17] 

17 Boyle no pudo descubrir pérdida de presión causada por la combustión o la respiración, porque el oxígeno consumido es reemplazado por el bióxido de carbono producido y al usar una columna de mercurio como manómetro, el intercambio de gases en el matraz le pasó inadvertido. Mayow pudo descubrir el consumo de oxígeno porque el bióxido de carbono formado se disuelve parcialmente en el agua, y él usó precisamente agua para sellar el matraz.



18 Según algunas fuentes, Georg Ernst Stahl (1660-1734) es el creador de la teoría del flogisto. Según otras no menos autorizadas, la teoría fue fruto de la imaginación sorprendente de Johann Joachim Becher (1635-1682). Como quiera que sea, esta teoría es hija directa de Aristóteles, y siendo una teoría equivocada, no tiene mucho caso aclarar a quién corresponde la paternidad, que por cierto no acarrea gloria alguna. Se podrá preguntar el lector por qué la incluyo. La respuesta es que ocupó las mentes de los científicos por más de 150 años y fue en la historia del desarrollo del concepto de elemento, la barrera por vencer para el establecimiento definitivo de la química como ciencia.

[Inicio](#)

[Nota 19] 

19 Se verá en el siguiente capítulo que Juan está, como se dice vulgarmente, en la Luna. Será una intuición física la que ayude.

Inicio

20 La pólvora común es una mezcla de nitrato de potasio (salitre), carbón vegetal y azufre. La intuición de Juan es correcta hasta cierto punto, pues el agente oxidante es el nitrato de potasio que entrega su oxígeno para la formación de los gases bióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno y anhídrido sulfuroso. Es la súbita formación de estos gases lo que causa la explosión. Otros productos de la reacción son sulfato, carbonato y sulfato de potasio. En Europa se atribuye la invención de la pólvora a Fray Rogerio Bacon, sin embargo se sabe que los chinos la conocían desde 1150 A.C. y no se puede excluir que los árabes la hubieran inventado independientemente. En todo caso fueron ellos los que la usaron por primera vez en Europa, en Algeciras, contra las tropas del rey Alfonso XI en 1342, en alguna suerte de cañón, pues en su crónica, este rey recibe: "los moros de la ciudad lanzan bolas de fierro grandes y lánzanlas tan lejos de la ciudad, que pasan más allá de las huestes algunas de ellas, y otras hieren a la hueste".

[Inicio](#)

21 Tomado de *A Short History of Chemistry* por J. R Partington, 3 ed. Dover, Nueva York, 1989.

[Inicio](#)

IV. EN DONDE ARRECIAN LOS DESCUBRIMIENTOS DE SUSTANCIAS AERIFORMES Y NO SE PERCIBE LO QUE SE TIENE BAJO LA NARIZ. Y EN DONDE SE VE QUE UN SIGLO DESPUÉS DE LOS PRINCIPIA SE ENUNCIA UNA LEY FUNDAMENTAL Y NACE LA QUÍMICA

EN UNA mañana de noviembre de 1772, bien abrigado, con gorro, bufanda y dos abrigos desgastados, llegó el joven Carlos Guillermo Scheele ante la puerta de la botica adosada a la sacristía de la catedral de Upsala. Después de luchar con la congelada llave entre sus dedos ateridos para abrir la puerta, se apresuró a colgar el letrero de "abierto" y a volverla a cerrar. Encendió la estufa, colocó el tintero encima para que se descongelara la tinta, y sin quitarse los guantes mojó la pluma y continuó el relato suspendido desde la noche anterior. Llevaba fielmente la bitácora de sus descubrimientos desde que tenía 15 años, cuando era aprendiz con *Herr* Bauch, y ahora ya de 30, se ocupaba de escribir un relato coherente de todos ellos. Ciertamente que llegaría el día en que su escrito aparecería en las actas de la Real Academia de Ciencias sueca... "pero antes debo establecer mi punto de vista sobre el flogisto, no pienso que sea como afirma la mayoría, una substancia contenida en lo que arde. Pienso que está contenido en el fuego mismo y que las llamas son la mezcla de flogisto con el aire, pienso por lo tanto que el fuego no es un elemento. Concluyo esto porque he encontrado *que no siempre es necesaria la presencia de carbón para reducir un calx a metal*, en cambio, siempre es necesario calentar. Tal es el caso del nitro de plata,¹  si lo caliente hasta el rojo, obtengo la plata metálica y el flogisto necesario fue proporcionado por el fuego que calentó al crisol". Al llegar a este punto, Scheele atizó la estufa y procedió a prepararse un té, le atormentaba el origen del flogisto, miró el reloj y vio que todavía contaba con una hora para escribir a sus anchas antes de que se presentara el primer cliente. Se frotó las manos y preocupado su puso a acomodar los frascos. Después de un rato, se sentó y continuó escribiendo..."Me di cuenta de la necesidad de aprender acerca del fuego. Pronto vi que no era posible formarse una opinión al respecto mientras uno no comprendiera el aire. Y después de que llevé a cabo cierto número de experimentos, vi que el aire penetraba en el material que arde (el combustible) y se convertía así en un componente de flamas y chispas."

Sonó en ese momento la campanilla de la puerta.

—¡Buenos días, *Herr* Scheele, he venido para que me haga favor de preparar una mezcla para la tos de mi hijo!

—¡Adelante *Frau* Bergman! Tengo aquí una mezcla de gordolobo y de una bella flor; *Bougainvillea spectabilis*, ambos de la Nueva España, que es magnífica en infusión para desterrar la tos, yo mismo la he probado. Que la tome ya metido en la cama.

Después de pagar; *Frau* Bergman se alejó, confortada por la cortesía del querido boticario y reconfortada por la calidez que emanaba del solo nombre de esa lejana tierra.

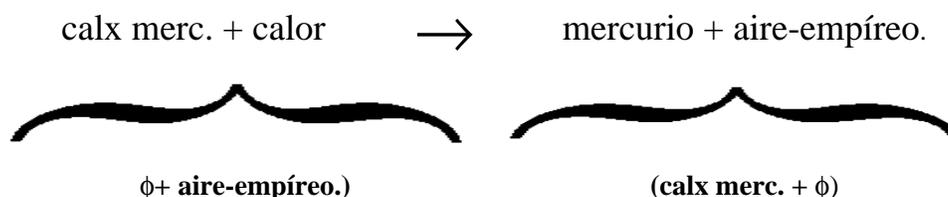
Por su parte, Scheele, se frotó las manos y continuó con su relato..."y así se puede notar que el aire confinado en contacto con diferentes substancias se contrae. Por ejemplo, cuando puse hígado de azufre, aceite de linaza, y virutas de hierro húmedas, materiales todos ricos en flogisto según la opinión corriente, en todos los casos observé disminución de la presión del aire. Después de unos cuantos días, el aire absorbido por estas substancias era una cuarta parte del inicial. En todos los casos advertí que el aire residual apaga un cerillo encendido. Por lo que afirmo que difiere del aire común. Si este aire fuera la unión de aire común con flogisto, habiéndose contraído, debería ser más denso que el aire común. Pero un matraz muy delgado que llené con este aire y que pesé de la manera más exacta posible, no sólo no contrapesó un volumen igual de aire ordinario, sino que resultó un poco más ligero. De donde concluyo que el aire no es un elemento, sino que esta compuesto de dos fluidos, que difieren uno del otro. Uno de ellos no manifiesta en lo más mínimo la propiedad de atraer al flogisto (no arde), mientras que el otro que constituye una tercera o cuarta parte de la masa total del aire, está peculiarmente dispuesto a tal atracción. Al primero lo he llamado aire meffítico y al segundo aire empíreo.

"He verificado la contracción del aire también en el siguiente caso. Puse un poco de fósforo en un matraz delgado bien cerrado. Lo calenté un poco hasta que el fósforo se encendió, se produjo una nube blanca que se depositó formando flores sobre la pared del matraz. Cuando se hubo apagado el fósforo, abrí el matraz bajo el agua y ésta se precipitó a su interior para ocupar una tercera parte de su volumen. Pude comprobar otra vez que el aire restante, la

parte mefítica, no sostiene la combustión. Otro caso en el que pude verificar la contracción del aire atmosférico fue cuando hice arder la substancia inflamable de Boyle; coloqué esquirlas de estaño en vitriólico diluido, en un frasquito bien cerrado pero comunicado con el exterior mediante un tubo largo; sumergí el frasquito en una cubeta de agua caliente (para ayudar a que el desprendimiento de la substancia fuese abundante), encendí la substancia en la punta del tubo y deslicé un matraz invertido por la longitud de él. Inmediatamente el agua subió por el cuello del matraz. En vista de que no comprobé formación de ninguna substancia nueva, concluyo que lo que ha ocurrido es que el aire-inflamable se combinó con el aire-empíreo²  y tal combinación es el calor que escapa por el vidrio del matraz:

ϕ + aire-empíreo → calor.

pienso que es inevitable identificar el aire inflamable de Boyle con el flogisto. Para estar completamente seguro de que el calor es esta combinación, ensayé diversos métodos para descomponerlo y liberar el aire-empíreo. La idea es sencilla, simplemente exponer al calor alguna substancia que tenga una atracción mayor por el flogisto de la que tiene el aire empíreo para que se lo robe y quede liberado el aire empíreo. Una de tantas formas de realizar la descomposición del calor; que llevé a cabo varias veces, consistió en lo siguiente. Calentar en la retorta el *mercurius calcinatus per se* (calx de mercurio):³ 



"Es seguro que los productos de la reacción son mercurio y el gas aire-empíreo porque este último colectado en una vejiga se absorbió *completamente* al confinarlo con hígado de azufre; la vejiga se plegó completamente sobre el hígado al no quedar aire-empíreo libre en su interior que resistiera la presión del aire exterior a ella. Pero no sólo esto, también comprobé que después de arder fósforo en un matraz delgado, cerrado, lleno de aire empíreo, al enfriarse estallaba, lo que demuestra que casi todo el aire empíreo fue consumido, dejando un vacío tal que las paredes del matraz no pudieron resistir ellas solas la presión del aire exterior. Repetí la combustión del fósforo en aire empíreo en un matraz grueso y cerrado y no pude extraer el tapón bajo el agua; lo que ocurrió fue que se sumió el tapón y se precipitó el agua al interior llenándolo por completo." En ese momento, entró con gran estrépito de la campanilla, de su vozarrón y de palmadas, un campesino en busca de un remedio para su vaca enferma. Ahí dejamos a Scheele con su lugar en la gloria bien asegurado.⁴ 

El sonido alegre de una campanilla avisando que ya estaba lista la comida reverberó en el cálido mediodía de agosto de 1772 y despertó de su abstracción al hombre que absorto mordisqueaba una varita sentado al pie de un roble con un libro sobre las rodillas. Se enderezó, se sacudió la yerba del fino satín de sus calzas, recogió su libro y su bastón de malaca y puño de plata mexicana, y se dirigió con paso rápido a la entrada de la huerta, donde la silueta vaporosa y elegante de la joven Madame Lavoisier destacaba el rosa de su organdí contra el cielo azul.

—Antoine, *chéri*, vino *monsieur* Maréchal de la Academia de Ciencias y te dejó un paquete de papeles, me dijo que se explican por sí solos. Los puse sobre tu escritorio. Traía prisa y dijo no poder detenerse a hablar contigo ni a comer. Me intrigó por un instante, con una profunda inclinación ofreciendo sus más calurosas felicitaciones, "para mi eminente esposo". Pero ya lo conoces, ¿es tan formal y ceremonioso!

Sin contestar, el hombre se inclinó a besar la mejilla de su mujer y ambos se dirigieron en silencio a la terraza donde estaba ya dispuesta una mesa para el almuerzo.

— Te veo pensativo, ¿ocurre algo? Desde que se llevaron a cabo los experimentos con los diamantes⁵  te estás obsesionando con la explicación de la combustión y de la calcinación, ¿puedo saber qué has estado pensando?

Como Lavoisier moviera dubitativamente la cabeza, la joven prosiguió.

—¡Oh Antoine, Antoine! ¿No te habrás quedado dormido bajo el roble? Aunque no te culparía, el rumor de las cigarras adormece hasta las lechuzas.

—No, querida, no —contestó Lavoisier mientras abría el paquete—. ¡Otra vez, más trabajos que revisar! Uno, relacionado con la combustión del fósforo... otro, relacionado con destilaciones... ¡En latín! ¿Estos alemanes no podrían escribir en francés y no en esta antigualla?... Este otro, en inglés. ¡Vas a tener mucho trabajo traduciéndolos, están muy largos! Pero esta vez hay algo más... —dijo rebuscando en el fondo del paquete y extrayendo un pliego—. ¡Mira! —exclamó con orgullo—. ¡Tienes ante ti al nuevo miembro correspondiente, clase química, de la Academia de Ciencias! —y tendió una carta a María Ana—.

Cuando ella la hubo leído, no pudo contener su júbilo, y abrazando a Lavoisier; lo obligó a valsar alrededor de la mesa. Por fin, calmada, lo dejó caer en un sillón.

—¡Tenía que ser querido! ¡Nada más justo!

—¡Tenemos que partir inmediatamente, tengo preparada una secuencia de experimentos de la mayor importancia!

—¡Cómo, *chéri*, tenemos que celebrar! Una hora más para comer y otra media para que fumes tu pipa no van a retrasarte.

— Sonriente ante el argumento, Lavoisier aceptó—.

—¡Por esta vez!

—¿Te parece que ordene descorchar una botella de champaña? ¡Tenemos que celebrar! Por lo demás, le sentará muy bien al menú de hoy: pato. Tendré que enviar una nota de agradecimiento a la marquesa de Cinq-Cygne que nos lo envió ya desplumado y preparado.

Poco después, con una tacita de aromático café al lado e instalado en la terraza, Lavoisier relejó la carta donde se le notificaba su nombramiento.

Madame Lavoisier insistió voluble.

—Cuenta, ¿te ayudará el nuevo nombramiento a conseguir fondos para nuevos equipos de laboratorio? ¿Por eso has estado tan caviloso? ¡Mayores han de ser las prerrogativas de un miembro correspondiente que las de un mero adjunto ⁶ 

—No querida. Te lo vuelvo a repetir, pero recuerda que es algo estrictamente confidencial, la administración pública está cosida de deudas. Es imposible que la Corona otorgue ningunos fondos a la Academia. ¡Vamos, con trabajos siguen recibiendo su sueldo los trabajadores de la pólvora! La deuda de la nación con la Compañía General de Recaudaciones asciende ya a cerca de un de libras. Por otra parte, no es posible subir más los impuestos, prefiero que me paguen con puntualidad, aunque no sea mucho, a tener que andar detrás de la gente amenazándola con la Bastilla y creándome enemigos innecesarios. Todavía es rentable ser miembro de la Compañía Recaudadora. ⁷ 



Figura 16. Los Lavoisier (cuadro de David).

—Pero ¿qué han dicho el contralor general del reino y la comisión de asuntos económicos de tus propuestas de reforma económica?⁸ YN

—No dicen nada, pero no se atreven a tomar medidas de ahorro. La nobleza de nuestra época es realmente irresponsable, no admite que los campesinos están empobrecidos en forma inhumana.

—Pero, entonces ¿qué se puede hacer? De alguna parte tiene que salir el dinero...

—Sí, hay varios agujeros en nuestra organización, que aprovechan los evasores de impuestos; el principal es el contrabando de mercancías a la ciudad de París. Pero no es eso lo que me preocupa más por el momento, todavía tengo una reserva para material de vidrio. Lo que me tiene caviloso, y podría decir que me ha calentado la cabeza, son varios datos, todos interrelacionados, y no puedo evitar el sentir que debe haber una teoría que los explique. Para comenzar por algún lado, está este ensayo, precisamente del contralor general, *monsieur* de Turgot, sobre el estado aeriforme de la materia⁹ YN dijo Lavoisier al tiempo que encendía su pipa—. Este pensador señala con justa razón que *toda substancia*, siempre y cuando se le proporcione una cantidad de calor adecuada, puede adquirir el estado aeriforme. Toma como ejemplo el agua; si tiene poco calor es hielo, si tiene un poco más es agua común, y si se le añade aún más, se hace aeriforme, se convierte en vapor de agua, y como diría Van Helmont, en un gas. La cosa es que, una vez que el vapor ha pasado al aire, no nos damos cuenta de que ya no se trata de aire puro, sino de una mezcla de dos gases, el aire y el vapor; que lleva el calor que se mezcló con él. Ahora bien, la espina que se me ha metido entre ceja y ceja es que, si todas las substancias son susceptibles de tomar el estado aeriforme y tal estado no es exclusivo del aire, ¿cómo sé yo que lo que estoy considerando como el elemento aire, no es en realidad una mezcla de elementos aeriformes?

—Por lo pronto, mira, en este paquete viene un informe sobre una substancia aeriforme distinta del aire que un tal José Priestley ha identificado y a la que denomina gas silvestre o aire fijo. Al menos es lo que afirma en el resumen. Desde luego que lo verificaremos; te ruego, linda, que le des prioridad a la traducción de este trabajo. ¡He aquí justamente un hallazgo que prueba la conjetura de Turgot! Pero ya desde hace varios años es conocida la tesis doctoral de Black¹⁰ YN sobre la descomposición de la magnesia alba y de otros álcalis suaves que, al ser calcinados o tratados con ácido, desprenden cantidades prodigiosas del gas llamado aire fijo.

—¿El mismo de Priestley? —preguntó María Ana, que estaba al día, pues Lavoisier compartía sus ideas con ella y ella participaba en los experimentos, en capacidad de dibujante, para hacer las ilustraciones de las memorias—.

—Parece que sí, lo verificaremos. Pero no sólo esto, está también la memoria que presentó sobre los "aires facticios" ante la Academia de Ciencias inglesa el respetabilísimo Cavendish.¹¹ YN Así que, por lo pronto, *parece* que contamos con diversos gases distintos del aire atmosférico: el vapor de agua, el aire fijo, el aire inflamable, el aire meffítico y el gas de los pantanos; uno obtenido por suministro de calor; otro obtenido por calcinación de algunas substancias sólidas, no expandibles, donde se encontraba fijo; esto es, atrapado. ¿En qué forma? —dijo

besuqueando la nariz de María Ana y continuó—. Otro, obtenido por reacción química entre sustancias no expandibles; uno más, formado a partir del aire común por la respiración de los animales; y el último, de la putrefacción de la materia vegetal. Es indudable que deben ser muchas las sustancias que se encuentran en el estado aeriforme, permanentemente, o que pueden ser obtenidas, liberándolas de las sustancias no expandibles donde se encuentren fijas, por adición de calor.

—¡Qué curioso! —exclamó María Ana—. Hace casi 50 años que Hales¹² publicó sus experimentos de atrapar los gases y no pareció darse cuenta de que se trataba de sustancias diferentes.

—¡Exactamente! —replicó Lavoisier; después de chupar con fuerza la pipa y exhalar el humo con deleite—. Para él, todas esas sustancias aeriformes que atrapó eran aire atmosférico, más o menos contaminado con partículas o "efluvios" ajenos a él. Por eso fue tan importante el trabajo de Black, porque fue el primero que demostró la existencia de un "aire" diferente del aire común, aunque Black sólo se dio cuenta de que, a diferencia del aire común, el aire apodado fijo se fija en el agua de cal volviéndola opaca. El asunto es que Hales los dejó escapar, sin mayor examen que pesarlos en una balanza muy burda, y eso no siempre. Te aseguro que no contaba con balanzas como las nuestras que casi compiten en sensibilidad con las de la Casa de Moneda. Pero, además, ¿no crees que es posible que si hay gases que se obtienen como producto de una reacción entre sustancias no aeriformes, no puedan los gases a su vez participar en una reacción con una sustancia no expandible, o entre ellos, fijándose en forma de un producto sólido o líquido?

Después de reanimar su pipa que ya se estaba apagando, Lavoisier continuó:

—A esta inquietud, añádele el hecho de tantos informes sobre el aumento de peso de los calces metálicos respecto del peso del metal, cuando éste se calcina; y las sugerencias que se han hecho, olvidadas por la mayoría de los químicos actuales; una, la de Boyle, de que el aumento se debe a la fijación de partículas de fuego, y la otra, de que se debe a absorción de aire.

—Mira, esos otros papeles que llegaron también en el paquete —dijo tendiéndoselos a la joven— son memorias donde se informa sobre ganancia de peso de distintas sustancias al ser calcinadas. Desde luego que los verificaremos. Ahora bien, este aumento del peso es un asunto muy serio. Es un hecho, cómo decirte, que para mí demuestra la falsedad de la teoría de que el flogisto se escapa del metal cuando éste es calcinado. Es ridículo suponer una sustancia con la propiedad absurda de "antipeso", todo eso está chueco.

—¿Sí? —preguntó María Ana con timidez—.

Lavoisier continuó.

—Tengo la convicción de que el aumento de peso de los calces se debe a fijación del aire, pero si éste fuera una mezcla, el aumento se debería a la fijación ¿de uno, de varios de sus componentes? Habría que probar esto. Ya sea una cosa o la otra, los calces no serían elementos, y por lo tanto debo hallar la forma de llevar a cabo su descomposición, recuperando el aire absorbido. Demostrarlo con algún calx sería suficiente por el momento.

—Has dicho varias veces: habrá que verificarlo, ¿por qué?

—Porque los experimentadores no prestan la atención que deben al fenómeno que tienen enfrente, pesan los calces, pero no controlan la presencia del aire, no lo pesan, ni miden la disminución de presión en un recipiente cerrado para calcular cuánto se consumió.

—Comprendo la idea de medir la presión y el volumen que el gas ocupa y darse cuenta de que se consumió, pero el resultado es variable, depende del estado del tiempo¹³ ¿Cómo pesarlo en forma precisa?

—Hay diversos modos, uno muy químico e indirecto. Es el empleado por Cavendish para sus estudios del gas inflamable.

—Lavoisier tomó uno de los informes que habían llegado en el paquete y procedió a garrapatear en la parte posterior mientras le explicaba a María Ana.

—Se pesan el frasco *A*, el tubo de comunicación *B* y el tubo secante *C*, lleno de álcali fuerte, se verifica que los

tubos y el frasco ajusten perfectamente entre sí. Se pesa una cantidad de ácido que se coloca en el frasco y se voltean sobre él las virutas de metal previamente pesadas, inmediatamente se cierra el aparato. Toda humedad y ácido que salpique se atora en el tubo secante. Cualquier aire fijo que pudiera desprenderse se fija en el álcali fuerte. Así, sólo escapa el aire inflamable y como se conoce el peso inicial, la diferencia entre éste y el nuevo peso, que es menor, no puede ser otra que el peso del gas desprendido.

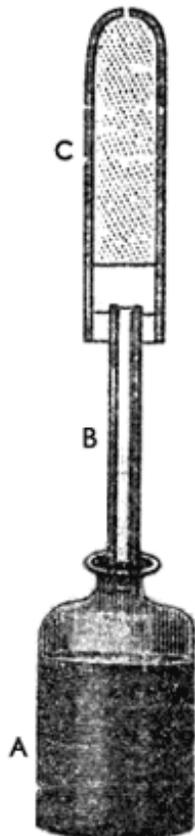


Figura 17. Aparato de Cavendish para calcular el peso del gas desprendido en la reacción que ocurre en el frasco.



Figura 18. Lavoisier trabajando en la descomposición del óxido mercúrico.

—¿Y cómo probar o desmentir la hipótesis de Boyle?¹⁴ 

—¡Ah, hay algo que los químicos están ignorando! Y que me he dado cuenta que es indispensable probar y de lo que estoy íntimamente convencido, que la masa total de los reactantes en una reacción química es igual a la masa total de los productos. ¡En la Naturaleza y por lo mismo en el laboratorio, nada se crea, sólo se transforma! Por lo mismo, si llevo a cabo una calcinación en un recipiente cerrado y compruebo que su peso es el mismo después de que se enfrió que al inicio, cuando cerré el recipiente, antes de empezar a calentar; como estoy seguro que ocurrirá, la hipótesis de Boyle quedará descartada, porque la masa total, del recipiente cerrado será la misma, y cuando, una vez abierto, se compruebe que el peso del calx es mayor que el peso del metal original, se tendrá que concluir que el calx es el resultado de la fijación del aire con el metal y no con el calor o con el fuego. Ninguno de ellos lleva a cabo las calcinaciones de metales en recipientes cerrados. He estado planeando una serie de experimentos bien controlados para probar mis conjeturas.

—Bueno, en resumidas cuentas, Boyle no tiene razón porque el flogisto no es el causante del aumento de peso de los calces, pero tampoco tiene razón Stahl, porque es imposible que los calces sean el metal desprovisto de su flogisto; entonces, según tú, los calces son el metal más aire. Pero ¿y las flamas qué son?

—No va a ser fácil echar abajo la teoría de que el flogisto se desprende del metal. Habrá que explicar de otra forma la mayoría de los hechos que el flogisto dizque aclara. ¡Deben poder ser comprendidas la combustión, la calcinación y la respiración en forma racional, newtoniana!

—¿Quieres decir con esto una explicación en términos de átomos?

—¡No, no! Quiero decir en términos de sustancias reales todas ellas con el primer atributo de toda materia, su masa, y no ese comodín aberrante llamado flogisto. ¡No en balde hemos nacido después de Isaac Newton!... Ahora bien,... sí... las flamas... Estoy preparado para admitir que el flogisto existe combinado en el aire, se desprende en la luz y el calor de la flama, con lo que el aire pierde sus expansividad y se fija en el metal.

Al ver el asombro de María Ana, quien con dificultad lo seguía, Lavoisier explicó.

—Digo esto, basado en la teoría de Turgot, fíjate bien. Si un líquido se convierte en vapor; es porque absorbió calor; esto es, fuego; entonces, las sustancias en estado aeriforme indudablemente son compuestos de ellas mismas con el flogisto, al que deben su expansividad. No veo por qué el aire haya de ser la excepción.

Al ver la expresión de comprensión en el rostro de María Ana y que se transformaba en adoración abierta, Lavoisier no resistió puntualizar.

—Nota que en mi conjetura se explica el aumento de peso del calx, se explica la flama y no se requiere suponer una sustancia misteriosa que a veces pese y a veces no, basta con suponerla siempre muy ligera y sutil.

—Sí, bellissimo, pero hay en todo esto un detalle que no comprendo bien —dijo María Ana juntando las manos bajo la barbilla—, a veces dices peso, a veces dices masa...

—¡Oh! Cuando digo masa me estoy refiriendo a la propiedad de la inercia ante el cambio del estado de movimiento por acción de un agente externo al cuerpo en cuestión, como se entiende en mecánica, que interpreto como cantidad de materia. El peso, por otra parte, es la fuerza con que una porción de materia es atraída por la Tierra; su magnitud es igual al producto de la masa por la aceleración de la gravedad. Masa y peso son propiedades diferentes. Ahora, ocurre que la balanza compara los tirones de la Tierra sobre los objetos colocados en sus platillos. Así, cuando se equilibra, se están igualando los pesos,

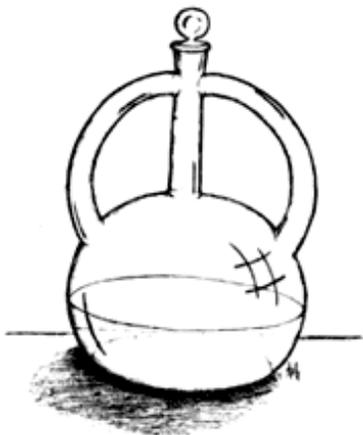
$$\text{masa(de las pesas)} \times g = \text{masa(del objeto)} \times g,$$

aquí g representa la aceleración de la gravedad que en un mismo lugar de la Tierra *es la misma* para todos los objetos, entonces la puedo cancelar en la ecuación, con lo que obtengo que igualdad de pesos implica igualdad de masas y, por ello, de manera descuidada a veces digo masas y a veces digo pesos.

—¡Eah, basta ya de veraneos, regresemos a París al laboratorio! —Y Lavoisier se incorporó— ¡A sacar punta a los carbones, mi dibujante!—. ¡Si tengo razón, podré armar una teoría de la combustión que ponga a la química como una verdadera ciencia, a la altura de la mecánica y de la astronomía y deje para siempre su lugar de artesanía mágica.

Mientras María Ana disponía lo necesario para el inminente regreso a París, no podía menos que comprender que lo que su marido le había confiado, seguro lo lograría. ¿No había demostrado la inexistencia de la transformación del agua en tierra, no hacía mucho?¹⁵ 

El 1º de noviembre de ese mismo año, Antonio Lavoisier depositó un sobre sellado para ser abierto en 1773, en la *Académie de Sciences* en él describía sus experimentos iniciales sobre la combustión del fósforo e informaba del aumento de peso del azufre y del fósforo al arder, explicando que la ganancia de peso se debía a la absorción de una "prodigiosa cantidad de aire". Subraya en esa comunicación que azufre y fósforo no habían perdido peso como pudiera esperarse de haber perdido flogisto, y que, en contraste, el litargo (calx de plomo), al ser calentado con carbón formaba plomo en peso menor que el peso del litargo empleado, acompañándose la formación de plomo con un prodigioso desprendimiento de aire. "Este descubrimiento me parece que es uno de los más interesantes que se hayan hecho desde Stahl, y puesto que es difícil no dejar escapar en la conversación con los amigos información que pueda ponerlos sobre la pista correcta, creo que debo depositar esta nota en manos del secretario de la Academia, para que permanezca sellada hasta el momento en que publique mis experimentos." Sin embargo, no especificaba la naturaleza de los gases absorbidos o desprendidos.

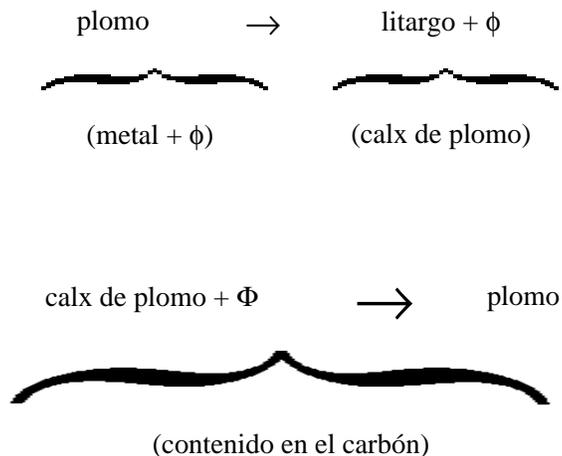


Aparato de Lavoisier. Pelícano.

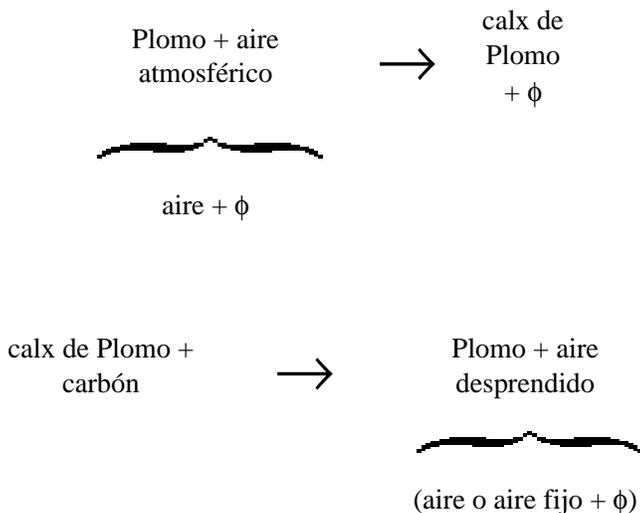
En este momento Lavoisier adquiere conciencia de ser el único capaz de sistematizar a la química como una ciencia. Dedicó los últimos meses de 1772 y el principio de 1773 a los preparativos materiales e intelectuales para desarrollar y comprobar sus brillantes conjeturas. El mes de febrero inaugura una bitácora de laboratorio: "Antes de comenzar la larga serie de experiencias que me propongo realizar sobre el fluido elástico que se desprende de los cuerpos, sea por la fermentación, sea por la destilación, sea finalmente por las combinaciones de todas clases, lo mismo que sobre el aire absorbido en la combustión de un gran número de sustancias, creo necesario expresar por escrito algunas reflexiones para formularme a mí mismo el plan que debo seguir." A continuación, enumera lo conocido hasta entonces sobre los distintos aires y señala la confusión existente en la que se tiende a multiplicar el número de ellos, en vez de averiguar si sus diferencias no se deben a mezclas o a la presencia de impurezas en número pequeño, de gases definidos. Finaliza diciendo:

La importancia del tema me ha inducido a retomar todo este trabajo que me pareció apto para producir una revolución en la física y en la química. Creí necesario considerar tan sólo como indicaciones todo lo que había sido hecho con anterioridad; me he propuesto repetirlo todo con *nuevas precauciones*¹⁶  a fin de relacionar lo que conocemos sobre el aire que se fija o que se desprende de los cuerpos con los otros conocimientos adquiridos y formar una teoría. Los autores de los trabajos que acabo de citar, considerados desde este punto de vista, me han presentado secciones separadas de una gran cadena, de la que se han unido sólo algunos eslabones. Pero falta aún una inmensa serie de experiencias para formar una continuidad [...] Esta manera de encarar el tema me ha hecho sentir la necesidad, primero, de repetir, y luego, de multiplicar, las experiencias que absorben el aire a fin de que, conociendo el origen de esta sustancia, pueda rastrear sus efectos en todas las diferentes combinaciones. Las operaciones por las cuales se puede llegar a fijar el aire son la vegetación, la respiración de los animales, la combustión, en alguna circunstancia la calcinación y, por último, algunas combinaciones químicas. He creído necesario comenzar por estas experiencias.

A finales de 1773, llevando a cabo el programa propuesto, realiza la calcinación de plomo bajo sello de mercurio utilizando una lente para concentrar el calor del Sol. Comprueba que una vela se apaga en el gas residual y comprende ya sin lugar a dudas que una parte del aire se ha fijado en el metal. En febrero de 1774 lleva a cabo la calcinación de cantidades conocidas de plomo y de estaño en ampollas cerradas de peso conocido, y al final del experimento comprueba que no ha habido variación del peso total. Así comprueba su intuición de que el fuego no ha cedido materia al metal. Al abrir las ampollas comprueba el soplo de aire que se precipita al interior; pesa los calces obtenidos, y deduce el peso del aire absorbido. Así, en contraste con la teoría de Stahl, que interpretaba:



Lavoisier propone,



En este primer esquema, aunque todavía se cree en la existencia del flogisto, ahora convertido en lo que se conoció como el calórico,¹⁷  se toma en cuenta el desprendimiento de un gas durante la reducción de un calx, fenómeno que la teoría de Stahl no explica y que aparentemente nadie había informado antes.

Nos hallamos ahora en el laboratorio de Lavoisier; una noche de octubre del año 1774. En silencio y con profunda concentración, Lavoisier pesa un residuo que con cuidado infinito ha desprendido de las paredes de una redoma. María Ana irrumpe en el laboratorio invadiendo su atmósfera acre con una exhalación de violetas.

—¡Los invitados están tocando ya a la puerta! ¡Querido, por favor, cambianta la peluca y ponte esta chaqueta!

—Gracias. ¿Quién dices que viene hoy?

—El reverendo José Priestley, en capacidad de bibliotecario, compañero literario y tutor de los hijos del conde de

Shelburne y marqués de Lansdowne.

—¡Ah, qué bien! Tengo enorme interés por conocer al reverendo, es un experimental de primera. Sus trabajos sobre gases compiten con los de Cavendish en originalidad mas no en rigor. ¿Viene también el marqués?

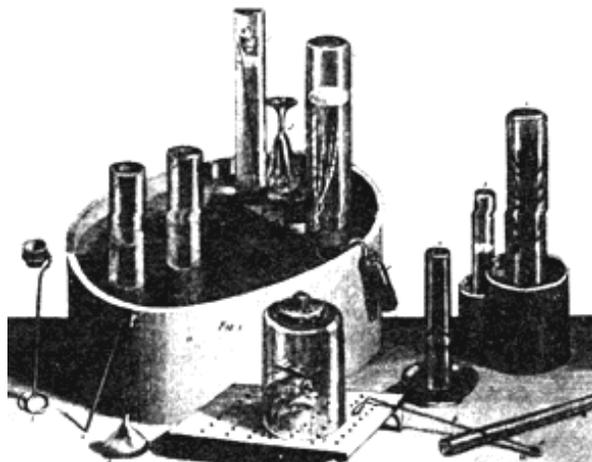


Figura 19. Cubas y probetas de Priestley. Nótese el ratón en el tubo al frente y el vegetal en el tubo del lado derecho.

—Sí, desde luego. ¡Oigo sonar la campanilla otra vez, han de ser el secretario de la Academia y nuestro amigo Maréchal!

Después de la *soupe a l'oignon*, el Chateaubriand acompañado de un tinto de primera, y la habilidad de María Ana como anfitriona especializada en científicos, la formalidad y tiesura habían desaparecido dando lugar a un ambiente de cordialidad.

—Reverendo Priestley, ¿no encuentra difícil conciliar sus deberes ministeriales con la práctica de la química? —preguntó Maréchal—.

—¡De ninguna manera! Son más bien mis feligreses los que viven en un permanente estado de asombro al ver a su pastor metido siempre entre frascos, vapores y tubos. Siempre hay murmuraciones de que sirvo a dos altares, pero en realidad más bien creo que les divierte y les enorgullece tener un pastor "avanzado", al fin y al cabo mi congregación es disidente.¹⁸ 

—Tengo entendido que ha tenido dificultades en el pasado. —comentó Maréchal—.

—Debidas a mi práctica de la química, en realidad, no. Mis dificultades más bien han sido resultado de mis opiniones teológicas independientes. Las gentes de la Iglesia de Inglaterra se aferran a la letra de la Biblia de una manera visceral y les molesta que yo les muestre una lectura crítica de ella. Me imagino que aquí en Francia pasará lo mismo.

—Nosotros —terció el secretario de la Academia—, por el contrario; encabezados por Voltaire, más bien nos hallamos en plena etapa de fervor racionalista, incluyendo a nuestro propio clero.¹⁹  Por otra parte, aquí en Francia una discrepancia en asuntos teológicos, además de no estar de moda, no implica una discrepancia política como ocurre en Inglaterra, en donde el rey encabeza la Iglesia.

—¡Cuánta razón tiene su excelencia! Esta unificación de Iglesia y monarquía es una de las razones que me impulsaron a la disidencia. Cambiando de tema, tengo una inquietud que quisiera discutir con el señor Lavoisier, y es que usted en su informe a la Academia de Ciencias francesa afirma que es aire combinado con el metal lo que forma un calx, y además informó que, al calentar el calx con carbón, se halla un desprendimiento enorme de aire. ¿Es éste el aire fijo de Black?

—Tengo una opinión absolutamente segura al respecto, pero es difícil admitir que lo sea, pues proviene del calx que absorbió aire atmosférico cuando éste se formó, y he comprobado que es imposible la formación de calx en aire fijo, por lo que no puede ser aire fijo el que se absorbe en la calcinación.

—¿Entonces, se absorbe aire común en la formación del calx y se desprende aire fijo en su descomposición? Quisiera saber su opinión al respecto.

—Me faltan todavía diversos experimentos para poder darle una respuesta definitiva. No es sorprendente que se combine, en la calcinación, un gas, y en la reducción, se desprenda el otro. Note usted que este aire que se desprende tiene un origen complicado, no olvide al carbón. He comprobado que opaca el agua de cal y no sostiene la combustión. Así que usted dirá.

—Hmm... Es que yo he llevado a cabo la calcinación de un calx durante la cual se obtiene un gas diferente del aire fijo y del aire común. Esto es, si usted tiene razón en que, durante la calcinación de un metal, una porción del aire común se absorbe o se combina con el metal, yo encuentro que en la reducción del calx se desprende un gas diferente del aire común y del fijo, *pero sin haber usado carbón*.

—¿Cómo? —exclamaron los comensales asombrados—. ¡Está usted diciendo lo mismo que Pedro Bayen y Cadet de Gassicourt! ¿Es posible obtener el mercurio metálico del precipitado rojo de mercurio sin necesidad de carbón?

Pero ¿usted dice que con desprendimiento de un gas diferente del aire común y del aire fijo?²⁰  —Unos a otros se miraron extrañados y empezaron a comentar entre sí con escepticismo—.

—Escuchemos al reverendo —dijo el marqués de Lansdowne alzando ligeramente la voz—. Adelante Joseph, su narración es fascinante, oigámoslo, —añadió—.

Priestley permaneció callado, en concentración, con las manos juntas mordiéndose los nudillos. María Ana, con una discreta seña, indicó al mesero que sirviera una segunda ronda de café y de *Armagnac*

—Me procuré un lente de 12 pulgadas de diámetro y 20 de distancia focal, y procedí con entusiasmo a examinar; con su ayuda, cuál clase de aire desprenden una gran variedad de substancias naturales y facticias. Después de diversos experimentos, el 1 de agosto de este año me propuse extraer aire del *mercurius calcinatum per se*. Encontré que con la ayuda del lente muy fácilmente se desprendía aire.

En ese momento María Ana se dio cuenta de que la respiración de su marido se alteraba aunque su exterior permanecía inmutable.²¹ 

—Comprobé —siguió diciendo Priestley— que no se embebe en el agua. No me sorprendió, desde Hales sabemos que muchísimas substancias sólidas despiden aire al ser fuertemente calentadas. Pero lo que me sorprendió más allá de lo que pueda expresar es que una vela arde en ese aire con vigor; brillantez y tamaño aumentados. Fue un movimiento instintivo, tenía la vela encendida a un lado y miles de veces he introducido velas para descubrir la presencia de aire fijo o de aire flogisado, o de aire nitroso o aire muriático... y cuando esperaba que se apagaría, ¡oh sorpresa, oh destello! Estaba, estoy emocionado. Inmediatamente me dispuse a preparar más y más aire a partir del calx de mercurio; esa noche no dormí. Inserté una brasa en otro frasco del gas, y vi que echaba chispas y crepitaba exactamente como el papel impregnado de solución de salitre cuando se quema. La brasa se consumió rapidísimamente. En otro frasco con el gas, introduje un alambre de fierro al rojo, destelló y se puso al rojo-blanco como poseído de un espíritu.

Priestley calló y apoyó la cabeza en las manos. Todos aguardaban en expectante silencio.

—Han de saber —continuó— que entonces me puse a preparar varias jaulas para atrapar ratones. Hasta el momento he podido hacer una sola prueba preliminar con uno de ellos. Para mi sorpresa, el ratón pareció animarse y permaneció activo más del doble de tiempo de lo que suelen permanecer en el mismo volumen de aire común. Entonces, me arriesgué e inhalé un poco yo mismo y me sorprendí porque me sentí muy bien. ¡Qué pueda estar ocurriendo, no lo sé!

—Entonces —intervino Maréchal con sorna imperceptible—, usted parece haber obtenido a partir de un calx ¡el pábulo de la vida!

—¿Y ha continuado con sus experimentaciones? —preguntó María Ana lanzando un mirada enojada en dirección de Maréchal—.



Figura 20. Ampolla de vidrio en la que hacía saltar chispas eléctricas Cavendish.

—No, desgraciadamente se ha agotado el lote que tenía de *mercurium calcinatum per se*, y no deseo fabricarlo yo mismo con el poco mercurio que tengo y que utilizo para sello en las cubas neumáticas. Pensamos comprar aquí en París una buen cantidad para continuar; sobre todo para comprobar el efecto de este aire en los ratones, y verificar más allá de toda duda si viven más en el gas que en el aire común.

—¿Está usted seguro, reverendo Priestley, de que el calx empleado era puro? —preguntó Lavoisier—.

—Lo estoy, razonablemente. Esa es una de las razones de haber venido a París a comprarlo. Tener la certidumbre de que utilizo el compuesto puro. Por otra parte, he repetido el experimento con litargo y obtenido el mismo resultado, desprendimiento de un gas que aviva las llamas, pero el experimento es más difícil por más lento.

Además, tengo el escrúpulo de que pudiera tratarse del mismo aire nitroso²²  que he descubierto hace tiempo y que también aviva la llama, aunque... de un modo distinto.

Las últimas palabras de Priestley desencadenaron un recuerdo en Lavoisier. Hacía cosa de un mes había recibido una carta de un tal Scheele, de Suecia, con el extraño requerimiento de que tratara de calentar álcali suave de plata²³  con ayuda de una lente. El remitente decía no haber podido hacerse de una, por lo que le rogaba que realizara el experimento, absorbiera el aire fijo resultante en agua de cal y viera si en el aire que aún quedaba ardía o no una vela.

En ese momento, un ligero roce de la mano de María Ana sobre su manga de seda hizo volver a Lavoisier a la realidad circundante.

—¿Y tiene usted en mente una teoría que explique lo ocurrido? —preguntó con una voz en la que sólo María Ana percibió tensión y expectación—.

—Bueno, no soy teórico —dijo el ministro con una sonrisa de modestia—, pero de acuerdo con Stahl —replicó inocente—, una vela al arder da flogisto y se apaga cuando el ámbito que la rodea se satura de él. Entonces, he pensado que el aire ordinario soporta la combustión porque sólo está parcialmente saturado de flogisto y está por así decir en posición de absorber más. Las substancias combustibles arden en el aire común con flama moderada. En este nuevo aire, la flama es vívida, mucho más, oh sí, mucho más. Uno podría concluir que este aire es un aire *deflogisticado*, ¿no les parece? ¿Y que la porción de aire que queda de una combustión en aire común es aire flogisticado?

Hizo además Priestley de buscar dónde anotar y con qué, y María Ana, siempre preparada, pensó que tenía enfrente un sabio despistado, por lo que hizo una seña discreta al mesero, quien como por encanto produjo un tintero con su pluma de ganso y un pliego de papel, salvando así la blancura amenazada del mantel. Priestley escribió:

Aire flogisticado = aire + ϕ

Aire deflogisticado = aire - ϕ

Lavoisier; sereno asintió con la cabeza. Maréchal intervino comentando.

—¿Qué cosas de la ciencia! ¿Cuál espíritu angélico le hizo tomar la vela e introducirla en el frasco?

—Le digo, yo no tenía una finalidad concreta al hacer este experimento y realmente no esperaba mucho de él. Si no hubiera ocurrido que tenía enfrente la vela, quizá jamás hubiera hecho la prueba. Más se debe a lo que llamamos el azar que a cualquier designio o teoría anticipada.

Lavoisier volvió a asentir con gravedad y la conversación se generalizó hacia las políticas científicas de los reinos; al poco rato, el secretario de la Academia se levantó anunciando que ya era muy tarde, que se retiraba, con lo que desencadenó la desbandada de los invitados. Al despedirse, Lavoisier recordó al ministro y al marqués que los esperaba al día siguiente para que visitaran su laboratorio.

En los primeros meses de 1775, Lavoisier colectó el aire producido por la reducción sin carbón del calx rojo de mercurio y lo probó para determinar si era o no aire fijo. Halló que no opacaba el agua de cal cuando se burbujeaba en ella y registró en su bitácora que "lejos de extinguir una flama, ésta se avivaba más que en el aire". Concluyó que este gas era no sólo no aire común "sino más puro que el aire en el que vivimos". Una vez confirmado el resultado experimental de Priestley, hizo notar que calcinando mercurio se podría analizar el aire atmosférico en sus componentes. En abril de 1776, estudió el aire residual de una calcinación prolongada de mercurio y verificó que si bien no sostenía la combustión, no era aire fijo sino aire mefítico.

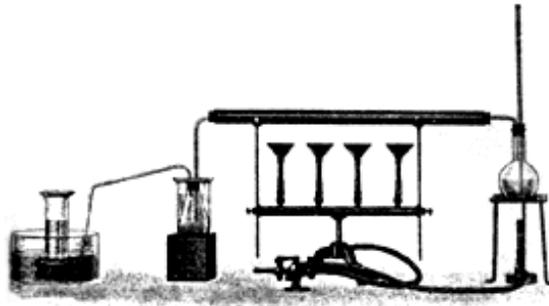


Figura 21. Aparato para generar hidrógeno a partir de agua, de Lavoisier.

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
	Lumière.....	Lumière. Chaleur.
	Calorique.....	Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu.
<i>Substances simples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.</i>	Oxygène.....	Matière du feu & de la chaleur. Air déphlogistiqué. Air empiréal. Air vital. Base de l'air vital.
	Azote.....	Gaz phlogistiqué. Mofete. Base de la mofete.
	Hydrogène.....	Gaz inflammable. Base du gaz inflammable.
	Soufre.....	Soufre.
<i>Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Phosphore.....	Phosphore.
	Carbone.....	Charbon pur.
	Radical muriatique.	Inconnu.
	Radical fluorique.	Inconnu.
	Radical boracique..	Inconnu.
	Antimoine.....	Antimoine.
	Argent.....	Argent.
	Arsenic.....	Arsenic.
	Bismuth.....	Bismuth.
	Cobolt.....	Cobolt.
<i>Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Cuivre.....	Cuivre.
	Etain.....	Etain.
	Fer.....	Fer.
	Manganèse.....	Manganèse.
	Mercuré.....	Mercuré.
	Molybdène.....	Molybdène.
	Nickel.....	Nickel.
	Or.....	Or.
	Platine.....	Platine.
	Plomb.....	Plomb.
<i>Substances simples fusibles terreuses.</i>	Tungstène.....	Tungstène.
	Zinc.....	Zinc.
	Chaux.....	Terre calcaire, chaux.
	Magnésie.....	Magnésie, base du sel d'Epsom.
	Baryte.....	Barote, terre pesante.
	Alumine.....	Argile, terre de l'alun, base de l'alun.
	Silice.....	Terre siliceuse, terre vitrifiable.

Figura 22. Tabla de los elementos químicos propuesta por Lavoisier.

Fue finalmente el 5 de septiembre de 1777 cuando en una memoria leída ante la Academia hizo pública su teoría de la calcinación y de la combustión:

i) El aire es una mezcla de dos fluidos elásticos, uno de ellos es la parte eminentemente respirable, la otra es el aire mefítico que llamo ázoe.

ii) Los calces son compuestos de metal con la parte eminentemente respirable del aire que llamo oxígeno. Son óxidos del metal.

iii) El aire fijo es un compuesto de carbón con oxígeno.²⁴ 

iv) Todos los ácidos son compuestos formados por sustancias no metálicas y oxígeno.²⁵ 

v) Los metales, el oxígeno, el ázoe, son elementos químicos en el sentido que usó Boyle para la palabra elemento, porque hasta ahora no se han podido reducir en sustancias más simples, ni se han podido transformar unos en los otros. Concomitantemente, no son elementos químicos ni el aire, ni la Tierra, ni el fuego. Este último es el proceso, que ocurre en el lugar donde vemos la flama, de combinación de oxígeno con el combustible durante el cual se desprenden calórico,²⁶  luz y aire fijo.

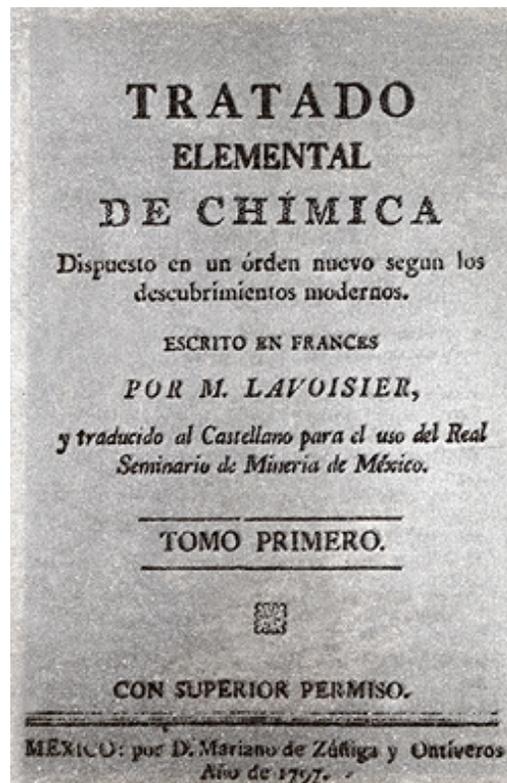
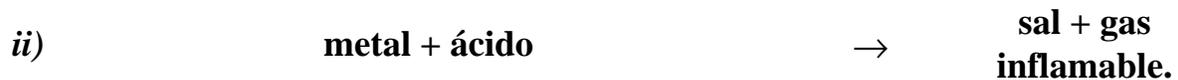


Figura 24. Algunos elementos. Comenzando por la esquina inferior izquierda y siguiendo en el sentido de las manecillas del reloj, cristales de yodo en un vidrio de reloj, cristales de azufre, cobre nativo; en la redoma (Erlenmeyer) y bromo al frente en otro vidrio de reloj.

vi) En la combustión de las sustancias orgánicas, leña, alcohol, etc., más gases se desprenden de los que se absorben en la oxidación, y en estos casos las cenizas resultantes pesan menos que el material original. Se desprende vapor de agua, aire fijo y monóxido de carbono... Muchos químicos y físicos encontraron la teoría de Lavoisier inaceptable. Quedaba un obstáculo serio por vencer y era el siguiente. Al disolverse un calx de metal en ácido diluido en agua y evaporar el agua se obtiene una sal. Este hecho innegable, se escribía:²⁷ 



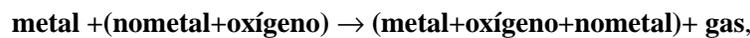
Ahora bien, cuando se disuelven virutas de metal en una solución acuosa de ácido, se desprende el gas inflamable y al evaporar el agua se encuentra la misma sal:



Preguntas. ¿Por qué hay desprendimiento gaseoso en (ii) y no en (i)? ¿De dónde proviene el gas inflamable? ¡A ver; que conteste Monsieur Lavoisier! —decían los flogistonistas—. ¡No puede contestar! —decían regocijados—, porque, según él, el calx es compuesto de metal con aire deflogisticado, así que tiene que interpretar; la reacción (i) como:



pero entonces, para la reacción (ii) tendría que escribir:

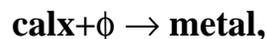


con lo que estaría diciendo que el gas salió de la nada. En cambio, nosotros tenemos una respuesta: los metales no son elementos, el gas inflamable proviene del metal y es el flogisto. Nuestro razonamiento es el siguiente.

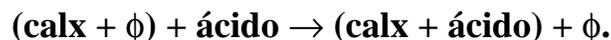
Ya desde 1766 Cavendish, y recientemente en 1782, el señor Priestley, han demostrado que los calces calentados en ambiente de gas inflamable se reducen al metal:



y como en nuestra teoría:



la conclusión es irrefutable, el gas inflamable es ϕ . Así como el aire fijo se obtiene por calentamiento de los álcalis suaves, hecho demostrado irrefutablemente por Black, así se obtiene el gas inflamable del metal por acción de los ácidos. Como por (i) la sal es (calx + ácido), al disolverse las virutas metálicas en (ii), se intercambia el ácido con el flogisto y este último se libera:



Si fuésemos fatalistas, diríamos que el destino escogió a Cavendish y a Monge para el magno hallazgo con el cual Lavoisier respondería a la objeción de los flogistonistas y emprendería su campaña abierta en contra del flogisto. Pero no hay destino preordenado en ciencia. Lo que hay o no, desde luego contando con ganas e inteligencia, es el factor imponderable consistente en estar en el lugar adecuado, a saber; con el equipo experimental adecuado y con la información adecuada. Por ello, los científicos para producir viajan no sólo a presentar sus resultados ante la crítica implacable de sus colegas, sino sobre todo a oír y a intercambiar la información más reciente, como quien dice a comer y a que no les coman el mandado. Así, nos trasladamos ahora a Londres a principios de 1783...

La campanilla seguía repiqueteando en la cocina y Cordelia hubo de secarse las manos artríticas para ir a abrir.

—¡Carlos! —murmuró—. ¡Este muchacho nunca está cuando se le necesita! ¡Ayudante, mucho que ayuda! ¡Señorito, eso es lo que es!

Al abrir la puerta, un viejo, atildado como un príncipe, y envuelto en neblina helada, sin saludarla, le ordenó:

—¡Anuncie al señor Cavendish que el representante del banco Lloyds & Peabody desea hablar con él!

—Eso es imposible, caballero, el señor ha ordenado que por ningún motivo se le interrumpa.

—¡No me diga! Haga el favor de anunciarme. —En ese momento apareció Carlos en la puerta, el representante en forma igualmente cortante repitió su solicitud—.

—Creo que lo mejor es que el caballero pase. Yo lo acompañaré hasta la puerta del laboratorio.

A medida que fueron subiendo las escaleras, se hicieron perceptibles varias explosiones cuyo estrépito de vidrios la pesada puerta de roble no alcanzaba a atenuar. Con una ligera inclinación y una sonrisa irónica, Carlos señaló la puerta diciendo:

—Sírvase tocar usted mismo.

—¿Y por qué he de ser yo el que toque? —replicó el representante—.

—Porque si lo hago yo, perderé el empleo.

—¡Pero qué servidumbre tan fresca tiene este Cavendish; un millón de libras en el banco, el hombre más rico de Inglaterra y no tiene un mayordomo digno de ese nombre! —pensó el representante y moviendo la cabeza, llamó a la puerta. Después de unos segundos, se oyó otra explosión. Carlos y el representante se miraron, pero este último no iba a darse por vencido e insistió.

La puerta se abrió con violencia y un hombre vestido con ropas viejas del siglo pasado, fulminó con la mirada a los impertinentes que lo interrumpían.

—Le advertí al señor representante del banco —se adelantó a aclarar Carlos— que su señoría ha dado órdenes de que no se le interrumpa por ningún motivo, pero insistió en llamar él mismo.

Antes de que el representante pudiera abrir la boca, Enrique Cavendish le dijo mientras lo recorría con una mirada helada:

—He depositado mi fortuna con ustedes porque los creí capaces de tomar las decisiones necesarias sin que me estén molestando. En vista de que no es éste el caso, retiraré mi dinero para depositarlo en otra parte.

Al ver que la puerta se cerraba, el representante bancario metió el pie al tiempo que exclamaba contrito:

—¡Le aseguro, señor Cavendish, que esto no volverá a repetirse! —El científico lo miró, miró el pie y, cuando el representante lo retiró, cerró la puerta. Regresó al lado de la enorme mesa de su laboratorio y enroscándose el pelo con la mano derecha, empezó a mascullar sus pensamientos—.

—Parece que no cabe duda, este gas de Boyle, gas inflamable, es el mejor candidato para ser el tan buscado flogisto. El hecho más importante para esta afirmación es la reducción de los calces metálicos con él.

—Es 11 veces menos pesado que el aire, los animales no pueden respirar en él, su flama es azul, no deja huella de carbón y explota cuando se encuentra mezclado con aire atmosférico, aunque sólo en mezclas de determinadas proporciones. No es soluble en agua, no es soluble en soluciones de álcalis.

—En cuanto a su obtención, se obtiene tanto por acción de vitriólico diluido, como por acción del ácido muriático sobre hierro, estaño o zinc. Este hecho y el más importante, a saber; que a iguales cantidades de metal disuelto en el ácido, se obtienen iguales cantidades del gas, me hace sospechar que proviene de los metales y que si bien la calcinación es combinación del metal con oxígeno como descubrió Lavoisier, el flogisto de todos modos está fijo en el metal.

—Lo que interesa ahora es aclarar dos cosas sobre la explosión del gas inflamable con el gas deflogisticado. Una es averiguar si la explosión da lugar a una disminución de peso como afirma Warltire, cosa que dudo mucho y la otra es examinar el rocío que Priestley me advirtió se forma y que ya he observado... Hmph... sí.

Cavendish se inclinó a recoger un trozo de vidrio y acariciándolo se dio cuenta de que estaba húmedo.

—Sí, no cabe duda —siguió pensando—, además es verdad lo que Maquer afirma... al colocar una pared fría sobre la llama del gas inflamable, se colecta rocío que parece ser agua... aunque un poco ácida al gusto... Se combinan los

gases y más que una explosión lo que ocurre es una implosión, las paredes de vidrio no han aguantado la presión atmosférica cuando los gases se fijan en forma de líquido. ¿Tendrá esto que ver con lo que informó Beccaria de que al pasar descargas eléctricas en agua parece desprenderse un gas? ¿Cuál gas podrá ser? Hmmf... El aparato para producir chispas eléctricas da lugar a una fuerza tremenda... ahí está lo de los 100 monjes, que en fila y cogidos de la mano pegaron tremendo salto al descargarse el aparato a través de ellos... una fuerza tremenda...

En ese momento se deslizó al laboratorio el ayudante.

—¡Carlos! ¿Están ya listos los globos de vidrio reforzado?

—Sí señor; están perfectamente limpios, en este instante los conecto a la bomba para hacerles el vacío.

—¡Cuidado, ponte los guantes de tela para manejar los globos ya limpios! La mezcla que introduciremos en ellos será de dos partes de gas inflamable por una de gas deflogisticado, con esta proporción la implosión es óptima. ¿Están ya listos los tubos para secar la mezcla antes de introducirla en los globos?

—Sí, sí señor; los sacaré de la estufa en el último momento para estar seguros de que no tienen ninguna humedad y de que chuparán cualquiera que pueda haber en los gases. ¿Preparo ya la mezcla? Los globos ya están vacíos.

—No, ya la tengo lista y medida en este matraz. Ahora conectemos el matraz de la mezcla gaseosa al tubo secante. Eso es. ¿Con qué dices que lo rellenaste?

—Con padecería limpia de papel filtro.

—Ahora, conectemos el globo vacío en el otro extremo del tubo secante, así, abre las dos válvulas de conexión... ¡Eso es!... ya pasó parte de la mezcla gaseosa al globo. Ahora, sube el nivel de mercurio en el matraz para que toda ella pase al globo. Muy bien, ya está. Ahora desconecta y pesa el globo.

En ese momento Cordelia llamó a la puerta del laboratorio y en voz alta dijo:

—En la nota que el señor me dejó en la mesa del *hall*, dice que compre una pierna de borrego para la cena.

—¡Maldita sea! —murmuró para sí el investigador y alzando la voz dijo:—

—Sí, ¿y...?

—Es que hoy vendrán sus amigos de la Sociedad Real.

—Sí, ¿y...?

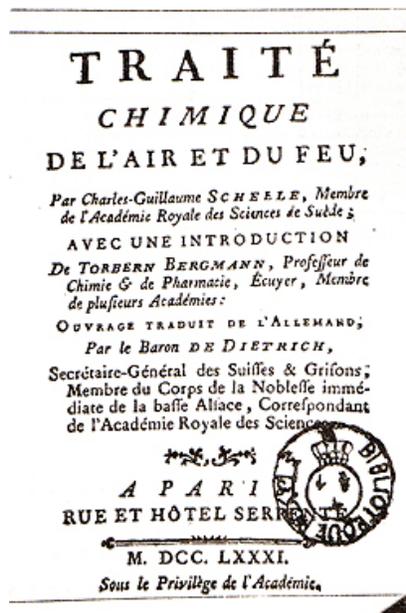


Figura 25. Portada del libro de Sheele *Tratado químico del aire y de fuego*.

—¡Es que, señor; no va a alcanzar una pierna para cinco!

—¡Pues compre dos! —contestó enojado Cavendish— ¡Mujeres! —murmuró para sí—.

—El peso del globo es de 400 g —declaró Carlos—. ¿Conecto ya los electrodos?

—No, retírate lejos, no estamos seguros de que estos nuevos globos aguanten—. Y diciendo y haciendo, Cavendish hizo la conexión, un relámpago destelló en el globo, se opacó su interior y un copioso rocío bañó sus paredes.

—¡Bravo! ¡Aguantó! —exclamó Carlos entusiasmado y ni tardo ni perezoso procedió a desconectar los electrodos y a pesar el globo bajo la mirada intensa de su maestro—.

—¡400 g! Ya me lo imaginaba, la masa permanece constante, Walrtire debió cometer un error. Ahora pesemos el líquido que se ha formado y midamos su densidad... 1.00 g/ml. —Tomó Cavendish la pluma y anotó en la bitácora de laboratorio los datos. Procedieron luego a calentar el líquido hasta evaporación total y comprobaron que no dejaba residuo ninguno. Un sinnúmero de veces se repitió este rito con las operaciones auxiliares de limpieza del equipo y preparación de mezclas medidas de aire inflamable con oxígeno, durante varias semanas. En una de tantas, no pudo resistir ya más Carlos y dijo:

—Maestro, ¿me permite probarlo? ¡Creo que se trata del agua más pura que haya visto jamás!

—Si quieres... ¡Desde luego que es agua!

Cavendish se sentó ante su escritorio y escribió en la bitácora:

"Pienso que debo conceder que el aire deflogisticado no es otra cosa sino agua deflogisticada; o en otras palabras, que el agua consiste de aire deflogisticado unido a flogisto; y que el aire inflamable es o puro flogisto; como supone el doctor Priestley, o agua unida a flogisto. Esto último es lo que creo más probable, en resumidas cuentas:

aire deflogisticado → agua - ϕ

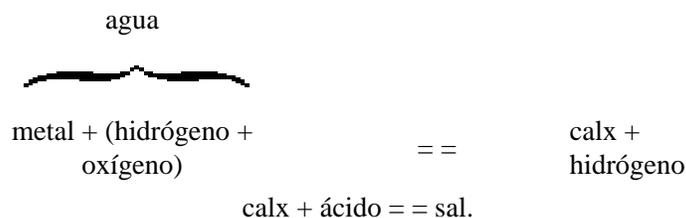
aire inflamable → agua + ϕ

Carlos, después de leer lo escrito por el maestro comentó:

—Entonces, el agua, un elemento en el sentido de Boyle, preexiste en los gases, y la causa de la deflagración es una redistribución de flogisto. —Cavendish no contestó, simplemente asintió, era hombre de pocas palabras—.

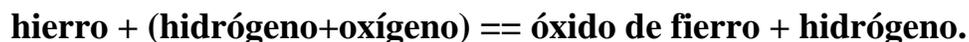
En mayo o junio de 1783, sir Carlos Blagden, ayudante de Cavendish y recientemente nombrado secretario de la Sociedad Real, visitó a Lavoisier en su nuevo laboratorio del arsenal. En esa reunión le comentó sobre los experimentos de obtención del agua que había estado haciendo Cavendish. Lavoisier; por su parte, había estado muy intrigado por el producto de la combustión del hidrógeno en oxígeno, pensando que no siendo el hidrógeno un metal, debía al igual que el azufre y el fósforo dar lugar a un ácido al combinarse con el oxígeno. En 1783, ya había determinado hacer el experimento en gran escala para atrapar el producto cualquiera que éste fuese. Así que todo fue abrir la boca Blagden que Lavoisier se precipitó delante del mismo Blagden a repetir el experimento de Cavendish. Quizá por la prisa hubo algunas fugas de gas, los datos cuantitativos no coincidieron muy bien. Sin embargo, el 25 de junio, después de discutir con su amigo el gran matemático Pedro Simón Laplace, presentó una comunicación ante la Academia de Ciencias de París que comenzaba diciendo: "Los señores Lavoisier y Laplace anuncian que han repetido últimamente, en presencia de varios miembros de la Academia, la combustión del aire inflamable con el aire deflogisticado..." Mas adelante se afirmaba, "... El agua no es un elemento, con lo que se quiere decir no es una substancia simple, sino que es el compuesto constituido por aire inflamable y oxígeno".

Al año siguiente, Lavoisier y el ingeniero Meusnier después de largas discusiones con Laplace, a quien tampoco le hacía mucha gracia el flogisto, llegaron a la conclusión de que el gas inflamable provenía del agua. Propusieron como respuesta a la objeción de los flogistonistas la siguiente interpretación de la reacción (ii) en dos pasos:



es decir; proponían que el hidrógeno provenía del agua.²⁸  Pero no sólo eso, sino que habiendo sido convocado un concurso para producir hidrógeno en grandes cantidades, destinado al globo dirigible de los hermanos Montgolfier, Lavoisier y Meusnier ganaron el concurso mediante la obtención de hidrógeno a partir de agua. Hicieron pasar vapor de agua sobre limaduras de fierro al rojo, encerradas en un tubo de escopeta.

La reacción que tiene lugar en este caso es:



Ni qué decir que las virutas de fierro se cubrieron de óxido de fierro, un polvo negro, mientras que por uno de los extremos del tubo se hacía burbujear alegremente al hidrógeno, es decir; al "generador de agua".

La celebración del buen éxito de este experimento, que representó el tiro de gracia para el flogisto, consistió en la ceremonia fúnebre de su entierro, a los 100 años de la muerte de Joaquín Becher. *Madame* Lavoisier; vestida como sacerdotisa de la ciencia y rodeada de las celebridades científicas de París, puso fuego a los escritos de Becher y de Stahl sobre un altar improvisado, mientras la concurrencia entonaba un réquiem.

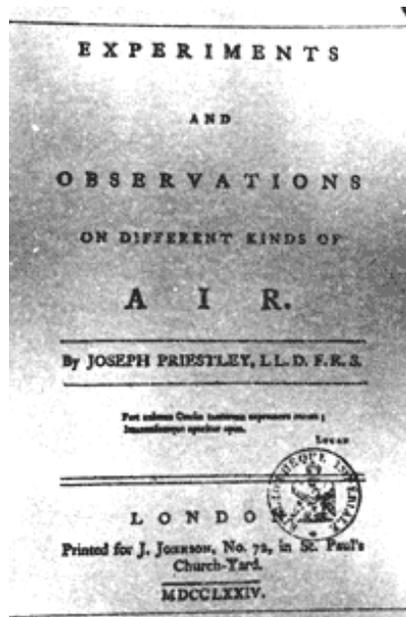
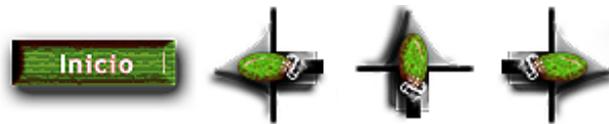


Figura 26. Portada de libro de Priestley *Experimentos y observaciones sobre diferentes clases de aire.*>/center>



[Nota 1] 

1 Se trata del nitrato de plata que por calentamiento se descompone en plata metálica, oxígeno y óxidos de nitrógeno.

Inicio

[Nota 2] 

2 La reacción que tuvo lugar bajo la nariz de Scheele fue la de la síntesis del agua, la combustión del hidrógeno en oxígeno, pero Sheele no pudo darse cuenta de que el producto de la reacción es el agua, porque tenía confinados a los gases con agua caliente y cualquier rocío formado se perdía en el vapor condensado en las paredes del matraz proveniente del agua caliente.



[Nota 3] 

3 En este momento crucial Sheele tiene ante sí el otro experimento central en la historia del desarrollo de la química, pero, por aceptar el flogisto, ¿no se le ocurre buscar otra explicación!

 Inició

4 Puede decirse sin temor a equivocarse que Scheele ha sido el experimental que más sustancias ha descubierto. Baste con mencionar el ácido fluorhídrico, la glicerina, el manganeso, el cloro, que le costó la salud, pues le destruyó los pulmones. Sin embargo, su mayor descubrimiento, desde el punto de vista del surgimiento de la química, fue haberse dado cuenta de que el aire es una mezcla de nitrógeno (el aire-mefítico) y oxígeno (el aire-empíreo) y haber descubierto a este último obteniéndolo de diversas maneras. Estos descubrimientos, que fueron presentados para su publicación en la Actas de la Real Academia de Ciencias sueca en 1775, fueron hechos antes de 1773 y quizá antes de 1770, según diversas opiniones de especialistas. Sin embargo, la publicación no apareció sino hasta 1777, cuando el descubrimiento del oxígeno por Priestley y la teoría de Lavoisier sobre la combustión y la calcinación (véanse más adelante en el capítulo) ya habían sido publicados.

[Inicio](#)

5 Madame Lavoisier se refiere a los experimentos que se llevaron a cabo por cuenta de la Academia de Ciencias, bajo la dirección de Lavoisier, con el objeto de determinar si los diamantes, el material más duro conocido entonces y que se sabía era destruido por el fuego, ardían o se evaporaban. Para lograr temperaturas suficientemente altas se utilizaron las lentes de la Academia. El experimento mostró a la larga que los diamantes ardían, no se evaporaban, y sorprendentemente para Lavoisier, no contenían agua. Lavoisier, debido a sus estudios geológicos y a sus estudios sobre el análisis del yeso, estaba muy familiarizado con el hecho de que muchos minerales cristalinos contienen agua de cristalización; que los diamantes ardieran, como un vil carbón, que es lo que son, debe haber sido sorprendentísimo para él.



[Nota 6] 

6 El 20 de mayo de 1768 Lavoisier había sido nombrado adjunto de la Academia de Ciencias en la clase de química.

[Inicio](#)

7 Desde que Lavoisier, habiendo terminado sus estudios de leyes, se interesó por la ciencia, decidió tomar un cargo estable que le garantizara los medios de realizar investigaciones, lo eximiera de entrar en la docencia universitaria y le garantizara la independencia necesaria para atacar prejuicios que habían adquirido categoría de dogmas. Entró a la Compañía Recaudadora General (*La Ferme Générale*) en 1768. Era ésta una asociación de financieros que obtenían o compraban del gobierno francés el derecho a cobrar los impuestos. A cambio de este derecho, la compañía pagaba a la Corona una suma fija que se negociaba cada año. Para poder pertenecer a ella era preciso contar no sólo con dinero, sino con lo que ahora y entonces llamamos "relaciones". Muchos recaudadores habían adquirido su posición por ser amigos del rey, lo que significaba que sin hacer ningún trabajo cosechaban enormes beneficios de los impuestos extraídos a los campesinos, hacendados, comerciantes y artesanos. Aunque Lavoisier trabajaba eficientemente y no tomaba para sí un provecho irrazonable, sus colegas no eran tan escrupulosos.

[Inicio](#)

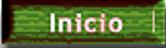
8 Lavoisier era un espíritu infatigable. Era un organizador incansable, organizador y promotor de sus propias ideas y esquemas. En la Academia de Ciencias participaba en toda clase de comités y comisiones, encargados desde la investigación de la condiciones en las prisiones y en los hospitales, hasta el mesmerismo (hipnotismo) y el valor nutritivo de las verduras. A él se debe principalmente la superioridad de la pólvora francesa, superioridad decisiva durante la Revolución y las guerras napoleónicas. Fue también el líder del esfuerzo por reformar el sistema de pesas y medidas. En su granja en Fréchines, llevó a cabo experimentos agrícolas y propuso diversas reformas económicas y fiscales. Es quizá por esta multiplicidad de intereses, además de su famoso rigor experimental, por lo que Lavoisier tardaba en presentar sus informes a la Academia.

[Inicio](#)

9 A. R. J. Turgot (1721-1781) fue un famoso servidor público. Llegó a ser director general de finanzas de Francia. Presentó sus ideas en el artículo *Expansibilité* en la *Encyclopédie*, en forma anónima. Turgot acuñó esta palabra para referirse a la cualidad de los gases que Boyle había denominado "el resorte del aire", de expandirse sin límite. De los experimentos del reverendo Nollet y de Wallerius sobre la evaporación (otro neologismo acuñado por él) en el vacío, Turgot concluyó que la expansibilidad era una propiedad no sólo del aire sino de todas las substancias en el estado vaporoso. Esta vaporización ocurriría con todas las substancias siempre y cuando la temperatura se elevara suficientemente.

[Inicio](#)

10 El médico escocés J. Black (1728-1799) fue el primero en identificar un gas diferente del aire atmosférico. El objetivo, lejano, de su tesis de médico, era hallar un medicamento que disolviera los cálculos renales. Al calentar carbonato de magnesio (magnesia alba), notó que el producto de la calcinación, óxido de magnesio (magnesia usta) era notablemente más ligero. Llevó a cabo una serie de experimentos cuantitativos muy cuidadosos para saber cual sustancia se había perdido y a dónde había ido a parar la magnesia usta formada, no efervecía al entrar en contacto con ácidos como lo hacía la magnesia alba. La efervescencia parecía ser el desprendimiento de aire atmosférico. Black notó que la misma pérdida de peso ocurría en la magnesia alba cuando se calentaba que cuando se trataba con ácido directamente. Concluyó que la pérdida de peso se debía al escape del aire que se hallaba fijo en la magnesia alba y lo llamó "aire frío" (no era otro que el bióxido de carbono). Repitió sus experimentos con el carbonato de calcio (en sus formas de yeso y de mármol). Comentó en una carta a un amigo en 1754 que el aire que había descubierto tenía propiedades desusadas: apagaba las flamas, era más denso que el aire común, opacificaba el agua de cal, no servía para la respiración y era él mismo producto de la respiración. Descubrió también que se desprendía en la fermentación alcohólica y en la combustión del carbón. ¡Y le hubiera dado un infarto de haber sabido que los diamantes al arder se convierten en bióxido de carbono, su "aire fijo"!



11 Uno de los primeros trabajos del famosísimo físico experimental Enrique Cavendish (1731-1810) fue su caracterización de los que llamó "aires facticios", para indicar los diversos gases que hasta entonces se habían descubierto por descomposición de sustancias no "expandibles". Publicó su trabajo en 1766 en las *Philosophical Transactions* p. 141. Puede decirse de los intereses científicos de Cavendish que eran universales. No sólo se ocupó de los gases, también de los fenómenos eléctricos y la teoría atómica del calor. Su mayor gloria la debe a la síntesis del agua y a su evaluación experimental de la constante de la gravitación universal.

[Inicio](#)

12 El vicario Esteban Hales, inglés, dividió su vida entre el interés científico y los deberes pastorales de su parroquia. Su interés principal fue determinar la cantidad de "aire" que podía ser extraído de las diversas sustancias por calentamiento. Fue él quien ideó la cuba neumática, esto es, un tina llena de agua en donde se encuentran sumergidos el tubo que viene del horno donde se calcinan las sustancias y la boca del recipiente invertido lleno de agua donde se colecta el gas. Los materiales que calcinó fueron carbón (que despidió bióxido y monóxido de carbono), plomo rojo, óxido de plomo, y salitre, (nitrato de potasio), que despidieron oxígeno. De limaduras de hierro en ácido nítrico obtuvo óxido nítrico. Pero todos estos diversos gases eran para él "aire"; una vez medidos eran descartados sin haberlos sometido a ninguna caracterización química. Su obra principal, *Vegetable Staticks*, fue publicada en 1727 (véase la figura 27).

[Inicio](#)

13 El lector debe darse cuenta de que no había nacido todavía Gay-Lussac y que María Ana está citando la afirmación de Priestley de que la bondad o salubridad del aire cambiaban con la localidad, la época del año y el estado del tiempo. Tal afirmación aún no había sido desmentida por los experimentos cuidadosísimos de Cavendish en los que se controlaba la repetición de *todas las circunstancias* de cada medición de la composición de un gas, inclusive y principalmente de la temperatura. El hecho que está detrás de la idea de "salubridad" del aire, es su contenido de oxígeno.

[Inicio](#)

14 Los experimentos y la hipótesis de Boyle fueron por primera vez criticados en 1745 por el poeta, gramático y científico ruso Miguel Vasilievich Lomonosov, profesor en San Petersburgo cuyas intuiciones fueron geniales. Explicó el aumento de peso de los calces como causado por absorción del aire y en 1750, en experimentos no publicados, encontró que en la calcinación llevada a cabo en recipiente cerrado el peso total era invariable. En una carta al matemático Leonardo Euler fechada el 5 de julio de 1748, Lomonosov enunció la ley de conservación de la masa: todos los cambios que encontramos en la Naturaleza proceden de manera que por mucha materia que se añade a un cuerpo, tanta se tuvo que haber quitado a otro. Puesto que esto es una ley general de la Naturaleza, también se encuentra en las reglas del movimiento[...]" la mentalidad de Lomonosov era plenamente la de un científico moderno y atomista, totalmente boyleyano en el sentido de estar convencido de la teoría corpuscular de la materia. En su *Intento sobre la teoría de la elasticidad del aire*, predijo una desviación de la ley de Boyle del estado gaseoso a altas presiones, debida al volumen ocupado por los átomos. En sus notas de física de 1741, rechazó la teoría del calórico; en ellas escribió: "No debemos pensar en muchas razones cuando una es suficiente; así, el movimiento corpuscular basta para explicar el calor, no hay necesidad de buscar otras razones." Regresando a la conversación de los Lavoisier, vale la pena comentar que, unos años después de los experimentos en recipiente cerrado hechos por Lomonosov, en 1759, en la Universidad de Turín, Juan Bautista Beccaria había hallado que la cantidad de estaño o de plomo calcinado en retorta cerrada, con aire adentro, era proporcional al volumen de la retorta.

[Inicio](#)

15 En efecto, durante mucho tiempo, comenzando con Van Helmont, muchos químicos habían mostrado que gran cantidad, varios litros de agua destilada, al evaporarse siempre dejaba un residuo terroso. Se suponía que este hecho era una prueba de que el agua, después de una prolongada ebullición se transformaba en tierra. Fiel a su axioma de que "debemos siempre suponer una igualdad exacta o ecuación entre los principios del cuerpo examinado y aquellos de los productos de su análisis, Lavoisier emprendió la tarea de averiguar la verdad sobre la pretendida transformación del agua en tierra. Pesó un recipiente de vidrio especialmente diseñado por él para este fin llamado pelícano. Puso en él una cantidad pesada de agua que había sido destilada ocho veces y lo selló. Lo calentó hasta una temperatura de 100 grados centígrados y en ella lo mantuvo. Al transcurrir de los días, fue apareciendo en cantidad creciente un sólido blanco que enturbiaba el agua. Al cabo de 101 días suspendió el calentamiento y pesó el pelícano sin abrir, y claro, el peso total fue el mismo. Escurrió el agua, y secó el pelícano, había perdido 1.13 g, el residuo blanco, una vez seco, pesó sólo 0.32 g. Entonces el agua fue evaporada en otro recipiente, dejando un residuo de 1.004 g. Pero $1.004 + 0.32 = 1.324$ g que es superior en 0.194 g a la pérdida de peso del pelícano, exceso que se atribuyó al agua que había participado en la formación del residuo al disolverse el vidrio del pelícano y a una disolución del vidrio del matraz en donde se evaporó el agua.

Inicio

[Nota 16] 

16 No es tanto que Lavoisier dude de lo informado por otros autores cuanto que intuye la importancia de la conservación de la masa y quiere mantener un control del peso de todas las sustancias partícipes en una reacción.

 Inició

[Nota 17] 

17 Otra criatura mítica hija de la imaginación de los investigadores del siglo XVIII. Fue sólo hasta 1777 cuando Lavoisier empezó a hacer públicos sus ataques a la teoría del flogisto. Y fue sólo hasta el 29 de junio de 1785 cuando en la memoria presentada a la Academia de Ciencias, *Consideraciones sobre el flogisto*, publicó sus demostraciones y teoría final. Para mayor información sobre el calórico véase la nota 26 de este capítulo.

 Inicio

18 José Priestley nació en el seno de una familia calvinista de seria piedad el 13 de marzo de 1733. Desde joven se dedicó a los estudios propios de un ministro protestante, dominaba el latín, el griego, el hebreo y el siríaco. Sus interpretaciones poco ortodoxas de las Escrituras lo llevaron a ordenarse no en la Iglesia calvinista ni en la Iglesia de Inglaterra sino en la Iglesia disidente. Se le considera uno de los teólogos más importantes del unitarianismo moderno. Fue un escritor prolífico de gran influencia en política, religión y ciencias, de carácter liberal y republicano. Durante su vida fue siempre reconocido como defensor de los principios de la Revolución francesa, de los derechos humanos y de la libertad de las colonias inglesas en Norteamérica. Su interés por la ciencia se debió a su amistad con Benjamín Franklin y su interés por los gases se despertó cuando ya era un hombre de 38 años. Descubrió el ácido clorhídrico gaseoso, diversos óxidos de nitrógeno gaseosos, el monóxido de carbono y que los famosos calces, es decir los óxidos metálicos, se reducían con hidrógeno dando lugar al metal; sin embargo, no advirtió la formación del agua que acompaña a esta reducción. Era hombre de gran valor civil y honestidad, aunque un tanto inflexible en sus opiniones, lo que lo llevó a ser el último científico en defender la teoría del flogisto hasta el día de su muerte el 6 de febrero de 1804. Dio a todas sus experiencias, que no eran marcadamente cuantitativas, una explicación en términos de flogisto.



Inicio

19 Para conocimiento del ambiente de la Ilustración que antecedió a la Revolución francesa y durante ella, el lector podrá consultar *La ciencia en la Revolución francesa* doctor Jesús Kumate, coordinador. El Colegio Nacional, México, 1991.

[Inicio](#)

20 En efecto, estos dos químicos franceses pretendían que la obtención del mercurio era posible sin el carbón, con sólo calentar a una temperatura más alta el óxido de mercurio. Este hecho era ya conocido por los alquimistas, pero se hallaba perdido en un maragallate de simbología. Se trata de uno de tantos casos de redescubrimiento. Sin embargo, en ese momento, Bayen y Gassincourt consideraban que el gas desprendido, al que no le dieron mucha importancia, era aire fijo. A principios de ese otoño, el asunto se había discutido en la Academia de Ciencias y Lavoisier fue elegido miembro del comité encargado de investigarlo.

[Inicio](#)

21No era para menos, en ese momento el relato de Priestley le entrega a Lavoisier la pieza clave que echaría abajo la teoría del flogisto, como se muestra más adelante, porque ya no trata sólo de la pretensión de unos químicos desconocidos, sino del reverendo Priestley que ya tenía en su haber hazañas experimentales.

[Inicio](#)

[Nota 22] 

22 Se trata del óxido nítrico, NO.

Inicio

[Nota 23] 

23 Se trata del carbonato de plata, la reacción que tiene lugar es $2\text{Ag}_2\text{CO}_3 \rightarrow 4\text{Ag} + 2\text{CO}_2 + \text{O}_2$.

Inicio

[Nota 24] 

24 oxígeno = aire deflogisticado de Priestley = aire empíreo de Scheele = aire vital. Nitrógeno = ázoe = aire flogisticado de Priestley = aire mefítico de Scheele y de Cavendish.



25 Hay que señalar aquí que lo que Lavoisier llama ácidos son los compuestos de un no metal, como azufre S, por ejemplo, con oxígeno, SO_3 ; son los que llamamos ahora anhídridos. Modernamente, llamamos ácido al anhídrido hidratado, H_2SO_4 . Por otra parte, la afirmación tan tajante de Lavoisier fue un error, hay ácidos que no contienen oxígeno. De esto último se dio cuenta C. L. Berthollet en 1796 después de descubrir el ácido prúsico, y el sulfhídrico que no contienen oxígeno. Véase la nota 11 del capítulo III sobre la acidez.

[Inicio](#)

26. Lavoisier señala que en las reacciones de combustión y calcinación es el oxígeno y no el flogisto el que interviene. Supone que el calor o calórico es una sustancia fluida especial. con la propiedad de que sus partículas se repelen entre sí pero son atraídas por la materia ordinaria. Así, si se aplica calor a un objeto, el calórico se imaginaba difundándose entre las partículas de materia ordinaria y formando una suerte de envoltura en torno a ellas. Se razonaba en consecuencia que, si las partículas de materia ordinaria se encuentran en libertad de moverse, se alejaran entre sí por la repulsión entre sus envolturas. Cuando una sustancia permanecía sólida o líquida a pesar de haber sido calentada, se consideraba que era porque la atracción entre sus partículas materiales vencía a la repulsión entre sus envolturas. La pregunta inevitable seguía siendo ¿tiene peso, o no? La respuesta experimental era difícil, en cuanto al equipo necesario para manipular y pesar objetos calientes. Pero además estaba el hecho de que si en un recipiente cerrado y aislado del exterior se mezclaban dos sustancias con temperaturas diferentes inicialmente, el resultado de uniformización de la temperatura se podía explicar diciendo que el calor de una pasaba a la otra y que no había creación ni destrucción de calor, en pocas palabras, que *el calor se conservaba*. Es quizá por esta razón por lo que no le pareció tan horrible a Lavoisier pensar que el calor era sustancia capaz de atravesar algunas paredes, de metal por ejemplo, pero no de asbesto. Debemos darnos cuenta de que cuando él verificaba la conservación de la masa, lo hacía pesando los recipientes a la temperatura ambiente. Es difícil de creer que ignorara la afirmación del canciller Bacon de que el calor no era otra cosa que la manifestación de la agitación molecular. Para una información moderna de la teoría del calor, véase *Desde la máquina de vapor al cero absoluto*, del doctor Leopoldo García Colín, núm. 5 en esta colección.

 Inicio

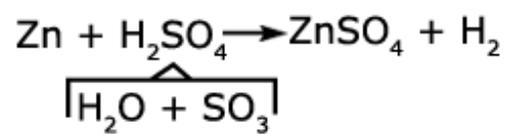
[Nota 27] 

27 ¡Aguas! recordar lo dicho en el núm. 25.

Inicio

[Nota 28] 

28 Tomando en cuenta lo aclarado en el núm. 25, un ejemplo de la reacción (ii) se escribe modernamente como:



de modo que el hidrógeno realmente viene del ácido, del H_2SO_4 .

Inicio

EVALUACIÓN DE LA TEORÍA DEL FLOGISTO. LA GRANDEZA DE LAVOISIER VA MÁS ALLÁ DE SU EXPLICACIÓN DE LA COMBUSTIÓN.

SE HACEN PREGUNTAS LATOSAS.

LA TEORÍA del flogisto ocupó las mentes de los científicos por más de 150 años y fue en la historia del desarrollo del concepto de elemento la barrera por vencer para el establecimiento definitivo de la química como ciencia. Es uno de los casos en que lo aparentemente razonable es estéril, como el concepto de movimiento de Aristóteles en mecánica o el geocentrismo en astronomía.

Diversos autores han tratado con benevolencia la teoría del flogisto con el argumento de que "fue la primera generalización en la química que correlacionó de una manera sencilla y comprensiva gran número de fenómenos químicos y algunas relaciones existentes entre una variedad enorme de sustancias". Sin embargo, es difícil ver cómo el ficticio flogisto pudo haber facilitado nada fungiendo como factor unificador o fundamento. Otros han señalado también que, dentro del marco de la teoría flogística, muchos experimentos se llevaron a cabo que difícilmente se les hubiera ocurrido hacer a los investigadores de haber imperado un marco teórico diferente. Pero también se puede argüir que se llevaron a cabo muchos experimentos importantes bajo los sistemas teóricos precedentes, y se puede sostener que el surgimiento de la química como ciencia fue notablemente tardío y que el retraso fue debido a la intrusión de la teoría del flogisto, que hizo la transición de la química de Boyle y Mayow a la de Lavoisier más difícil en vez de más fácil. Se forzó esta teoría a una finalidad de explicación total, hasta convertirla en un verdadero camaleón. Así, por ejemplo, el hecho de que los cuerpos cambien de color con diferentes grados de calentamiento, se explicaba como debido a que contenían diferentes cantidades de flogisto, pero no se daban *números* que representaran la cantidad de esa sustancia, números que todo el mundo pudiera en principio calcular o medir. La historia del flogisto ejemplifica que, en ciencia, si bien una teoría es mejor mientras mayor sea el número de fenómenos que explica, será ociosa, inútil y hasta contraproducente, mientras no lo haga de manera cuantitativa y auto consistente.

Ha sido más provechoso, incomparablemente, para el progreso de nuestro conocimiento de la Naturaleza, el enunciar la ley de la conservación de la masa en las reacciones químicas, aunque no explique muchas cosas de las reacciones mismas, que enunciar la hipótesis del flogisto, y esto a pesar de que la ley de conservación de la masa en las reacciones químicas no es exacta *en principio*, como lo establece la física moderna, que requiere que sea la masa-energía la magnitud física que se conserve en un sistema aislado. Pero ocurre que el calor absorbido o cedido, aun en la más violenta de las reacciones químicas, una explosión de dinamita, por ejemplo, no representa en variación de masa total, ni siquiera un milésimo de miligramo por tonelada de reactantes, por lo que en las operaciones del laboratorio de química, en las operaciones industriales y en los procesos biológicos, la pérdida o ganancia de masa asociable a la energía cedida al entorno o ganada de él por el sistema químico, es experimentalmente indetectable. Así, en química clásica se consideran las leyes de conservación de la masa y de la energía como leyes que se cumplen separadamente.

El trabajo de Lavoisier había traído un orden y una sistematización a la química que nunca antes había conocido, sin embargo la nomenclatura de las sustancias seguía en la mayor confusión. Se continuaban usando los términos alquímicos, y era para los aprendices de química un esfuerzo brutal de memoria aprender los nombres de un número cada vez mayor de sustancias con las cuales tenían que tratar. En 1782, Guyton de Morveau publicó un trabajo sobre formas de sistematizar la nomenclatura química. Lavoisier; naturalmente, se interesó y se unió a Morveau en este objetivo; a ellos se unieron Berthollet y Fourcroy. Sus resultados aparecieron en el libro titulado *Méthode de nomenclature chimique*, en 1787. Este volumen contiene las reglas para nombrar a los compuestos químicos que prácticamente son las mismas que se usan hasta nuestros días. La teoría de Lavoisier estaba completa, con un lenguaje adecuado a ella, aunque haya sido en los años siguientes cuando se dedicó al estudio de la respiración de los animales. Sin embargo, la mayoría del mundo científico, alejado del grupo de sus más allegados, todavía perdía el tiempo luchando con las discrepancias de la teoría del flogisto. En vista de ello, Lavoisier se determinó a preparar un texto de química basado en las nuevas ideas, que rompiera bruscamente con los textos tradicionales de química y tal que las futuras generaciones de químicos encontraran en él un buen cimiento para construir. En 1789, publicó su *Traité élémentaire de chimie*, que junto con los *Principia* constituye el punto de partida de la ciencia moderna. En este libro, Lavoisier describe con considerable detalle la base experimental de su rechazo del flogisto y de su nueva teoría de la combustión. Su punto de vista es esencialmente el de un científico moderno. En él enuncia con toda claridad su idea de la conservación de la masa e ilustra abundantemente la manera de aplicarla en química; presenta "una tabla de sustancias simples, que pueden ser consideradas los elementos de los cuerpos". Admitió que ésta era una lista empírica, sujeta a revisión a medida que se descubrieran nuevos hechos. Constituye la primera tabla de los verdaderos elementos químicos. La traducción del *Traité* a las lenguas más usadas siguió rápidamente a su publicación. En nuestro país se realizó la primera traducción al español, en el mundo, del primer tomo, que apareció a finales de 1797. La importancia del *Traité* no puede exagerarse; con la

notable excepción de Priestley, todos los químicos importantes se convirtieron a la nueva teoría y la química entró a un siglo de progreso asombroso.

Pero ¿y la constitución de la materia? Me dirá el lector, ¿qué pasó con los átomos? ¡Ah, para allá vamos, no se me ha olvidado!

Una vez que se captaron dos ideas, la de conservación de la masa y la de elemento químico, el investigador francés José Luis Proust (1754-1826) pudo por experimentación propia, nueva, y por verificación de resultados de otros investigadores, hallar un hecho que expresó de la siguiente manera, "un compuesto es un ente privilegiado al cual la Naturaleza asigna una proporción fija de sus elementos constituyentes; es en resumen una substancia que la Naturaleza nunca crea, aun cuando sea por mediación del hombre, más que con la balanza en la mano [...] Reconozcamos que las propiedades de los verdaderos compuestos son invariables como lo es la proporción de sus constituyentes. De polo Norte a polo Sur, los compuestos se encuentran idénticos en estos dos respectos. Su apariencia podrá variar; debido a la manera de agregación, pero sus propiedades químicas, nunca. Hasta ahora no se han observado diferencias entre los óxidos de hierro del Sur y los del Norte. El cinabrio de Japón está constituido en la misma proporción que el de España. La plata no se oxida o muriatiza en forma diferente, en el muriático del Perú que en el de Siberia [...] Si encontramos imposible hacer una onza de ácido nítrico, de un óxido, de un sulfuro, o una gota de agua, con proporciones diferentes entre sus constituyentes, de aquellas que la Naturaleza les ha asignado desde la eternidad, debemos reconocer que existe una balanza, la cual regula incluso en nuestros laboratorios las proporciones de los constituyentes en los compuestos".

En resumidas cuentas, cada vez que dos o más elementos se combinan para formar un compuesto, lo hacen en una proporción en peso, definida, fija.

Imaginemos que hacemos el siguiente experimento: pesamos varias muestras de 10 g de plomo cada una, el plomo es un metal lustroso, gris plateado; mezclamos cada una de ellas con una cantidad diferente de azufre, un polvo vítreo amarillo, digamos desde medio gramo, a tres gramos. Con calor llevamos las distintas muestras a que reaccionen en crisol de platino. Cuando la reacción ha terminado, notamos la aparición de un polvo negro, el sulfuro de plomo. En algunas de las muestras notamos que ha sobrado azufre y en otras que ha sobrado plomo.

Procedemos a separar el azufre en aquellas muestras que presentan un sobrante de azufre, agitando la muestra en disulfuro de carbono, un líquido en el que se disuelve el azufre pero no el plomo ni el sulfuro de plomo. Una vez separado el azufre, se seca el sulfuro de plomo y se pesa. El resultado será de 11.56 g. Si a esto restamos los 10 g de plomo que empleamos, obtenemos que se combinaron sólo 1.56 g de azufre, en *todos los casos* en los que sobró azufre. Y en todos ellos el porcentaje en peso es 86.5% de plomo y 13.5% de azufre. El cociente del peso de plomo al de azufre resulta ser 6.41.

En las muestras donde vemos que sobró plomo, con un pincel separamos el metal del polvo negro, pesamos el metal sobrante, restamos de 10 g, con lo que conocemos el peso de plomo que se combinó. Conocemos también el peso de azufre empleado en cada una de estas muestras y hallamos que el porcentaje de plomo es 86.5% y el de azufre es 3.5%, *en todas*. De modo que en el sulfuro de plomo, el porcentaje en peso de plomo es al de azufre como 6.41 es a 1.0 siempre, independientemente de cómo se halla preparado. 6.41/1.0 es la proporción fija en el sulfuro de plomo.

Si calentamos 45 g de óxido de mercurio, un polvo rojo (el calx de mercurio, el *mercurium calcinatum per se*) en un matraz de cuello largo, vemos que se forman 41.5 g de mercurio, un líquido plateado, y se escapa el oxígeno. De la resta 45.0-41.5 obtenemos que se hallaban combinados 3.5 g de oxígeno en el óxido de mercurio. El porcentaje en peso de mercurio es de 92.2% y el de oxígeno 7.8%, y la proporción fija de mercurio a oxígeno es de 11.82/1.0. Supóngase ahora que se calientan 15 g de mercurio con 1.0 g de aire, mezcla que supondremos consta de 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno. Cuando la reacción se haya completado, ¿qué substancias y qué masas de cada una estarán presentes?¹ 

Vale la pena subrayar la diferencia clave entre mezcla homogénea o solución y un compuesto. Una mezcla, por ejemplo, de oxígeno con hidrógeno se puede preparar con la proporción en peso de hidrógeno a oxígeno que nos plazca. Puedo fabricar bronce con una variación casi continua de proporciones en peso de cobre a estaño. Las mezclas son pues de composición variable. No así los compuestos químicos. La proporción en peso de los elementos que los constituyen es fija. Si quiero preparar agua como lo hizo Cavendish, sin que sobre ni hidrógeno ni oxígeno, debo partir de una mezcla cuya proporción en peso de oxígeno a hidrógeno sea de 8/1. Ahora bien, ¿por qué? ¿Cuál es la razón física?

Es verdad que existen dos clases de agua, cada una con su proporción fija en peso de oxígeno a hidrógeno, que la hace ser ella misma, con su densidad, su punto de congelación, su índice de refracción, etc., peculiares, el agua común, 8/1 y la llamada agua oxigenada, 16/1. El asunto es que no existen ni pueden existir aguas con proporciones intermedias arbitrarias entre estas dos. ¿Por qué?

Dados dos elementos, ocurre que se pueden combinar de maneras diferentes para dar lugar a *diferentes* compuestos, pero cada vez que se obtiene uno cualquiera de ellos, identificado mediante sus propiedades, se encuentra que cumple siempre con la misma proporción constante. Por ejemplo, la combinación de carbono con oxígeno puede dar monóxido de carbono, gas muy tóxico que no enturbia el agua de cal, o bióxido de carbono que sí la enturbia, no es venenoso y es más denso. El primero tiene

una proporción fija en peso de oxígeno a carbono de 4/3, y el segundo, de 8/3. Otra vez, no existen ni pueden existir óxidos de carbono con proporciones arbitrarias entre esas dos. ¿Por qué?

Que en un compuesto sus elementos componentes se encontraran siempre en una proporción constante, no fue fácil de aceptar. Los experimentales, debido por una parte a los errores inherentes a toda medición, entonces grandes, y por otra, debido a que cuando dos elementos pueden dar lugar a varios compuestos no lo hacen en forma excluyente, sino simultánea (por ejemplo, cuando arde carbón, se forman los dos gases mencionados al mismo tiempo), creían en la posibilidad de que, dentro de límites moderados, la composición podía variar; esto dio lugar a hablar, por ejemplo durante todo el siglo XIX, de aguas mejores unas que otras, o ya a finales del siglo XX, hay personas en el Tercer Mundo que piensan que una aspirina (ácido acetilsalicílico) norteamericana es mejor que una nacional.

La ley de la conservación de la masa y la ley de las proporciones constantes de Proust, son leyes macroscópicas, empíricas.

¿Cuál es su explicación en términos de la constitución de la materia? ¿Cuál es su razón física de ser? La respuesta, elegantísima, la dio Juan Dalton en 1808.

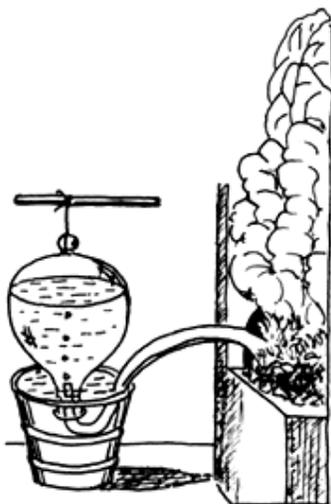


Figura 27. Cuba de Hales.

Inicio



[Nota 1] 

1 Según los datos que nos dan, en 11.0 g de aire, hay 2.31 g de oxígeno y 8.69 g de nitrógeno. Tenemos pues 15.0 g de mercurio y 2.31 g de oxígeno para formar el óxido cuya proporción fija es 11.82. ¿Sobrarán mercurio u oxígeno? Veamos cuánto oxígeno requieren los 15 g que tenemos. Debe cumplirse que $15.0/\text{poxígeno} = 11.82$, o $\text{poxígeno} = 1.041$ g; por lo tanto sobran 1.269 g. de oxígeno y se podrá consumir todo el mercurio. Al final de la reacción quedarán 8.69 g del nitrógeno que no participa, 1.041 g de oxígeno sobrante y 16.269 g de óxido mercurioso.

Inicio

V. EN DONDE SE COMPARAN BORLAS ANTIGUAS Y QUIETAS CUANDO SE ASISTE A UNA CONFERENCIA Y SE TOMA EL TÉ CON UN SOLTERO ELEGIBLE. EN DONDE EL DÍA ÚLTIMO DEL AÑO SE COMPARAN VOLÚMENES Y SE DISCREPA, PERO UN ERUDITO RESUELVE LA DISCREPANCIA.

DESPUÉS de haber invertido un buen rato en su arreglo personal, nerviosa, la señorita Clara tomó su paraguas, le dio un último toque a su peinado ante el espejo de la entrada y advirtió a su madre:

—Tardaremos dos horas, una de la conferencia y la otra es posible que se pase en atender a las preguntas de los asistentes, además regresaremos por la orilla del río y como te lo imaginarás caminaremos despacio. Ya dejé las galletas en la mesa de la cocina.

Cuando Clara hubo salido, doña Margarita tomó el anuncio de la conferencia, y leyó:

La Sociedad de los Amigos, capítulo de Lancaster

anuncia lo charla

"Los pesos relativos de los átomos"

por el señor

JUAN DALTON

del Instituto Real de Manchester.

15 de junio de 1807

—!Esta hija mía! —murmuró para sí preocupada doña Margarita—.

—No sé que le ve a este hijo de mi difunta prima. Parece que es listo, eso dicen, muy buena persona, seguidor muy fiel de las ideas de nuestro fundador Jorge Fox; dicen que jamás falla al servicio religioso los domingos, pero es muy rústico y la franca verdad no es nada apuesto. Sí, sí, soy frívola, no debiera pensar así, pero de todas maneras no creo que a base de clases particulares de química y física y menos con sus ideas de átomos pueda sostener una familia. ¡átomos, bah! Dios me perdone, pero preferiría que fuese menos listo y más realista.

El salón de actos estaba atestado de gente; en aquellos años, todos se sentían científicos, esto es, se interesaban por la Naturaleza en forma racional y se sentían con derecho a emitir toda clase de opiniones al respecto. Un anuncio de una conferencia científica era garantía de un lleno completo. Cuando el conferencista avanzó al estrado y empezó a hablar, la decepción del público fue palpable. Ciertamente, Juan Dalton no era un brillante expositor, su voz era baja y monótona, y sus pantalones a la rodilla, con botones, sus medias grises y sus zapatos de hebilla, en el más puro estilo cuáquero, no eran para entusiasmar. Pero Clara era simplemente ciega y sorda a todo aburrimiento y en su persona sólo había lugar para una profunda atención a lo que Dalton decía y para una suprema admiración por su inteligencia.

—...se ha establecido pues más allá de toda duda razonable, la verdad de las proporciones constantes, pero todos sabemos que la materia, aunque divisible en grado extremo, sin embargo no es infinitamente divisible. Es decir, debe haber cierto punto más allá del cual no es dado al hombre subdividirla.

Un joven levantó la mano y dijo:

—¿Tiene usted un argumento químico a favor de la hipótesis de partículas indestructibles o únicamente este argumento de imposibilidad o de sentido común?

—Permítame que le conteste con una pregunta. Si la materia fuese infinitamente divisible y en vista de la fuerte afinidad a reaccionar que presentan el hidrógeno y el oxígeno, tanta que hasta lo hacen explosivamente, ¿por qué no se combinan entre sí en todas proporciones?

El preguntón levantó las manos en gesto de impotencia en medio de murmullos de regocijo y Dalton continuó:

—Así pues, tenemos dos datos, ley de proporciones constantes que ya he elaborado bastante y teoría de partículas últimas. Ahora elaboraré ésta de la manera más sencilla posible.

—Consideren sus mercedes los siguientes postulados:

a) La materia consiste de partículas últimas, formadas por un centro duro muy pequeño rodeado de una envoltura de calórico, como lo supuso el gran Lavoisier que en paz descansa. —Y Dalton mostró una borla de estambre que en su centro tenía un botón—. Más o menos así.

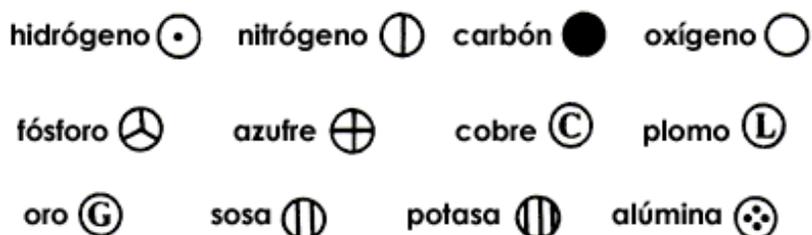
b) Cuando las substancias son simples, es decir elementos, sus partículas últimas son *todas iguales entre sí*, mismo tamaño incluyendo su envoltura calórica y mismo peso. No se puede distinguir una de otra en un elemento puro. Llamaré —continuó— átomos a estas partículas últimas. El diámetro y el peso de los átomos de cada substancia elemental son diferentes de los de cualquier otra substancia elemental y no hay dos elementos que tengan sus átomos iguales, pero en todos los elementos, los átomos son globulares borlas redondas un tanto tiesas. Ningún poder que podamos controlar nos permite cambiar átomos de un elemento en los de otro; así que la transmutación alquímica es imposible, como lo ha probado la historia de su fracaso.

c) Los átomos de las substancias compuestas son átomos *compuestos* que están constituidos de los átomos sencillos de los elementos. Para que no haya confusión, llamaré a los átomos compuestos *moléculas*. Las moléculas se pueden armar y desarmar. Cuando esto último ocurre, la substancia en cuestión deja de ser lo que es. Todas las moléculas de una substancia pura son idénticas en tamaño y peso. Las moléculas son redondas, o si prefieren, globulares, los centros de los átomos que se combinan se mantienen en contacto por una fuerte afinidad rodeados de una envoltura común de calórico.—Al llegar a este punto, Dalton mostró al auditorio un par de borlas unidas por sus botones centrales, y continuó:

d) En las reacciones químicas, los átomos únicamente se rearreglan, no se crean ni se destruyen. El análisis y síntesis químicas no van más allá de la separación de partículas unas de otras y de su reunión. *No hay creación ni destrucción de materia al alcance de los agentes químicos.*

—Tanto valdría como querer introducir un nuevo planeta en el Sistema Solar; o como querer aniquilar uno ya existente, querer crear o destruir un átomo de hidrógeno. Todos los cambios químicos que podemos producir; consisten en separar partículas que están en estado de cohesión o combinación, y unir aquellas que estaban previamente a distancia. Como sus mercedes pueden apreciar, esta simpleza explica la conservación de la masa que Lavoisier postuló y demostró experimentalmente, hace décadas.

—Es muy latoso dibujar la envoltura de calórico y para podernos entender con facilidad, propongo que usemos los siguientes esquemas, meros símbolos —al llegar aquí, Dalton procedió a mostrar de uno en uno, distintos discos de madera que fue sacando de una caja. Tenían el siguiente aspecto:¹

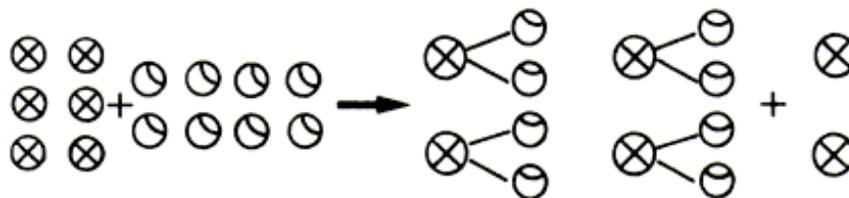


Los discos circularon entre los presentes, algunos los tomaban en sus manos con tal reverencia como si estuvieran recibiendo los mismísimos átomos; otros, menos imaginativos y quizá por lo mismo menos inteligentes, simplemente los pasaban a sus vecinos con perezoso desdén.

—Ahora, apreciables oyentes —continuó Dalton—, se impone una primera conclusión, a saber, *una proporción fija en peso implica una proporción fija en número de átomos constituyentes*. Esto, creo, es de la mayor importancia.

Al ver que la mayoría de sus oyentes se le quedaba mirando con ojos vacíos de toda comprensión, precisó: —Al formarse moléculas en una reacción química, *los números de los átomos que se combinan de los diferentes elementos lo hacen en proporciones fijas*.

Quizá convenga poner ahora un ejemplo. Sean la substancia *A* que tienen tendencia a combinarse con la substancia *B* para formar un compuesto cuya molécula de alguna manera sabemos está formada por un átomo de *A* de masa m_a y dos de *B*, cada uno de masa m_b . Supongamos que ponemos seis átomos de *A* a reaccionar con ocho de *B*:



vemos que la masa de cada una de las moléculas será de m_a+2m_b y que sobran dos átomos de *A*.

Pero ¿cómo deducir el peso *relativo* de los átomos? Hay un pequeño detalle y es que a diferencia del ejemplo, *no tenemos* manera de saber cuántos átomos de cada elemento participante intervienen en una molécula. Pongamos un ejemplo, el agua, sabemos que es una combinación de hidrógeno con oxígeno en proporción de 1/8 en peso; esto es, denotando el peso por *P*,

$$P_H/P_O = 1/8$$

—Ahora bien, en una molécula de agua, ¿entra un átomo de hidrógeno por uno de oxígeno, o dos por uno, o al revés? Si suponemos lo más sencillo, que es uno a uno, entonces, si denotamos el número de átomos por *N*, $N_H/N_O = 1/1$ y como $P_H = N_H \times w_H$ y $P_O = N_O \times w_O$, en donde he designado el peso de un átomo de hidrógeno por w_H y el peso de un átomo de oxígeno por w_O , se tiene que

$$1/8 = (N_H \times w_H)/(N_O \times w_O) = (N_H/N_O) \times (w_H/w_O),$$

$$\text{o} \quad 1/8 = w_H/w_O,$$

en palabras, un átomo de oxígeno pesaría, relativamente a uno de hidrógeno, ocho tantos.

—Pero si suponemos que entran dos de hidrógeno por uno de oxígeno, entonces, $N_H/N_O = 2/1$ y tendríamos que,

$$1/8 = (2/1) \times (w_H/w_O), \text{ o } 1/16 = w_H/w_O,$$

en palabras, concluiríamos que un átomo de oxígeno es 16 veces más pesado que uno de hidrógeno. Así, proporción fija en peso implica proporción entre los pesos de los átomos participantes. La fórmula de la mayor utilidad que emplearé es

$$P_x/P_z = (N_x/N_z) \times [(w_x/w_z)] \quad (f)$$

Vemos que para pasar del dato de laboratorio, P_x/P_z , a la incógnita w_x/w_z , se necesita decir algo sobre N_x/N_z .

Ante esta situación, tomemos la regla de la mayor simplicidad:

—Cuando sólo una combinación de dos elementos A y B se puede obtener, deberá suponerse, a menos de tener indicaciones de lo contrario, que ésta es una molécula binaria. Así, escribimos las siguientes combinaciones, agua, gas nitroso etc. Pero la combinación de dos elementos no siempre produce un solo compuesto;² cuando dos combinaciones se observan, deberá presumirse una de ellas una molécula binaria y la otra molécula ternaria, por ejemplo óxido carbónico y ácido carbónico, etcétera.³

En ese momento el joven H. Davy levantó la mano pidiendo la palabra.

—Me parece —dijo levantándose—, que hasta este momento su hipótesis atómica da una fundamentación física a la ley de las proporciones fijas muy atractiva y probablemente correcta, pero de ninguna manera es una prueba de la existencia de los átomos.

—Y no lo pretendo yo. Sin embargo, el caso a favor de la hipótesis atómica cuenta con un argumento más fuerte a su favor del hasta ahora expuesto si me permite continuar...

—¡Adelante, desde luego! —apresuró a contestar.

Dalton prosiguió.

—Cuando dos elementos A y B , se combinan para formar dos compuestos diferentes, los pesos de B en los dos compuestos, combinados con un peso dado de A , están en una proporción de números *enteros*. Llamo a esta regla que deben obedecer las varias proporciones fijas cuando se dan, regla de las proporciones múltiples. Por ejemplo, los últimos datos informados sobre los dos gases compuestos de carbón y oxígeno son los siguientes:

óxido carbónico: 1.00 g de	se combinan con 1.34 g. de
ácido carbónico: 1.00 g	de se combinan con 2.67g. de

—De aquí vemos que las cantidades de oxígeno combinado con una cantidad fija de carbón dan la proporción 2.67/1.34 o 1.9925/1, redondeando por el error experimental, 2/1 es la relación de números enteros más cercana. En esta tabla 1, les muestro algunos ejemplos:

—Espero que sea claro, estimados oyentes, que la regla de proporciones múltiples que exhibe esta tabla, obtenida experimentalmente, se explica, casi trivialmente, con la hipótesis atómica, pues que nos dice la última columna es que el cociente entre el número de átomos de oxígeno en el compuesto del primer renglón al número de átomos de oxígeno en el compuesto del segundo renglón, en cada caso es un cociente de números enteros, como debe de ser dado que los átomos son indivisibles.⁴ Creo que si bien no he presentado una demostración directa de la existencia de los átomos, sí he explicado un resultado experimental y universal con la hipótesis atómica y he hecho a ésta plausible. Muchas gracias.

Elementos	Compuesto	Composición	Proporción	Razón
Ⓛ y ○	{ óxido pulga litargirio	100 g/15.6 g 100 g/7.8 g	2.00/1	2/1
⊕ y ○	{ anhídrido óxido	100 g/146.43 g 100 g/97.83 g	1.4968/1	3/2
Ⓒ y ○	{ óxido negro óxido rojo	100 g/25 g 100 g/12.5 g	2.00/1	2/1
Ⓛ y ○	{ óxido férrico óxido ferroso	100 g/44.25 g 100 g/29.6 g	1.495/1	3/2

Los aplausos fueron nutridos. El presidente de la Sociedad de los Amigos se levantó para iniciar las preguntas.

—¿Podría mostrarnos un ejemplo práctico de aplicación del conocimiento de los pesos atómicos relativos?
—preguntó—.

— Sí, desde luego —contesto Dalton—. ¡Ya se me olvidaba! Primero vean esta tabla de pesos atómicos que he compilado tomando el peso de un átomo de hidrógeno como 1.⁵ 

Elemento	Peso	Elemento	Peso	Elemento	Peso
⦿	1	Ⓛ	14.0	⊖	30.97
●	12.0	○	16.0	⊕	32.06
Ⓛ	55.85	Ⓒ	63.54	Ⓛ	65.37
Ⓐ	107.87	Ⓖ	196.97	⊗	200.60

Supónganse que se encuentran con un óxido de hierro de fórmula desconocida pero cuya composición en peso es 70.0% de hierro y 30.0% de oxígeno. Como ya dije,

$$70/30 = (N_{\text{FE}}/N_{\text{O}}) \times (w_{\text{FE}}/w_{\text{O}}),$$

de la tabla anterior obtengo cuánto vale $w_{\text{FE}}/w_{\text{O}}$, vale 56/16. Substituyendo ahora este valor arriba obtengo que:

$$(70 \times 16 / 30 \times 56) = N_{\text{FE}}/N_{\text{O}}$$

que no es sino 0.6667, o 2/3, es decir; el compuesto en cuestión contiene dos átomos de hierro por cada tres de oxígeno y por lo tanto su fórmula será I_2O_3 .

Cuando ya habían salido la mayoría de los asistentes, varios jóvenes se acercaron a Dalton a pedirle que les aclarara la afirmación sobre el significado de la última columna de la tabla 1.

—Sí, miren. Para el óxido pulga, $P_{\text{P}}/P_{\text{O}} = 6.4103$ y

$$6.4103 = (N_{\text{P}}/N_{\text{O}}) \times (w_{\text{P}}/w_{\text{O}}).$$

Ahora despejo de aquí el cociente de pesos atómicos

$$w_P/w_O=6.4103x(N_O/N_P),$$

En donde N_O representa el número de átomos de oxígeno en el óxido pulga. Noten que para el litargirio, el peso del plomo es el mismo, $P_p/p_O=12.8205$ y

$$(w_P/w_O)=12.8205 \times (N_O/N_P),$$

En donde n_o representa el número de átomos de oxígeno en el litargirio. Sustituyo ahora el cociente de pesos atómicos de esta segunda relación en la anterior y obtengo:

$$12.8205 \times n_o = 6.4103 * N_o$$

o lo que es lo mismo:

$$2.000/1 = N_o/n_o$$

—Pero existen casos más complicados, por ejemplo, los diversos compuestos entre oxígeno y nitrógeno...

—Sí, mira esta tabla, construida con la regla de la mayor simplicidad.

<i>Substancia</i>	<i>Apariencia</i>	<i>Densidad</i> ⁶ 	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>Razón</i>
gas nitroso	inoloro	1.03	46.7	53.2	1/1
óxido nitroso	inoloro	1.52	63.6	36.4	2/1
anh. nítrico	café rojizo	1.59	30.4	69.6	1/2
anh. nitroso	café rojizo	2.62	36.9	63.1	2/3

A partir de ella pueden comprobar que el cociente entre las razones cualesquiera dos de estos compuestos es un número entero.

—Sí, pero en realidad las razones de la última columna no son exactas...

—¡No importa! Resultan aproximadas por el error experimental inevitable pero de hecho son exactas.

Tomados del brazo, Dalton y Clara caminaron en silencio por la orilla del río, bajo la sombra de los árboles. Clara le comentó,

—Oyéndote me acordé de los átomos de Demócrito...

—¡No, Clara! Los átomos son muy diferentes a como los imaginó Demócrito. Él los supuso en perpetuo movimiento, con amplio espacio vacío entre ellos. La verdad es que están en quietud y contiguos unos con los otros.

—¿Y cómo sabes que están estáticos?

—¡Ah! Porque el gran Newton dedujo la ley de Boyle, la que dice que la presión a la que está confinado un gas es proporcional a su densidad. La deducción la hizo suponiéndolos estáticos y repeliéndose entre sí, de acuerdo con una fuerza que va como el inverso del cuadrado de la distancia entre sus centros.⁷  Esto, me parece, es más que suficiente; sin embargo, añadiré que tu humilde servidor ha podido comprender cómo es que la mezcla que llamamos aire no se separa en capas de nitrógeno y de oxígeno, que tienen densidad diferente, como ocurre en una mezcla de aceite y agua, y que lo ha comprendido gracias a las hipótesis de que los átomos de uno y otro gas tienen tamaño diferente, de que están contiguos, de que se repelen los de una misma clase como Newton estableció, pero como si los de la otra clase no estuvieran presentes y de que están estáticos.

—Entonces dijo Clara con voz soñadora—, el aire es una mezcla homogénea porque es un apilamiento de borlas de dos clases, revueltas, ¿cómo puede ser esto?

—Es algo complicado, nos tomaría mucho tiempo discutirlo, es asunto de la estabilidad de la mezcla y mira, ya llegamos a tu casa y mi tía ya nos divisó por la ventana.

Ya sentados ante el servicio de té, cuando doña Margarita vio que Dalton había hecho los honores a las galletas y mientras le servía una segunda taza de té, le comentó:

—Así que la conferencia fue todo un éxito.

—No crea tía, pienso que la mitad del auditorio se aburrió.

—¿Pues que no es muy interesante el asunto de los átomos?

—¡Oh, sí! —Al decir esto, el rostro de Dalton se iluminó y por extraño que parezca, por unos instantes se vio hermoso—.

—Pues entonces, ¿qué sucedió? —preguntó Margarita, que no conocía la discreción y menos tratándose de un probable yerno. Clara, sin levantar la vista, simplemente se alisó el vestido—.

—Es que mi idea es demasiado sencilla, no es espectacular.

—¡Cómo puedes decir que es sencilla, Juan! —intervino Clara—.

—Sí, mira. En química ocurre como cada vez que se pelan chícharos, el peso de los chícharos es al peso de las vainas un número constante. Concluyes que hay un número de chícharos por vaina, ¿no? Aunque no sepas cuántos.

Como Clara se sonriera, Dalton continuó animado.

—Ahora imagínate que hay varias especies de chícharos, de modo que en una especie encuentras una proporción fija de chícharos a vaina y en las otras, otras proporciones. Como sólo puede haber un número entero de chícharos por vaina, el cociente del número de chícharos por vaina en una especie al número de chícharos por vaina en otra, tendrá que ser un cociente de números enteros...

—Y luego —continuó Clara—, para una especie, habiendo supuesto un número de chícharos por vaina, puedo saber cuál es el peso relativo de un chícharo respecto de una vaina.

—¡Amén!

—Que tú lo expliques en términos sencillos no quiere decir que no sea genial, a nadie de los grandes profesores se le había ocurrido, y todos han tenido los datos del caso enfrente.

Dalton se ruborizó y doña Margarita sintió ganas de matar a Clara. ¡Que encima de todo lo alentara en sus locuras...! Así que intervino un tanto agriamente.

—Supongo que con tus clases y con tus brillantes ideas, te estarás labrando una posición y pronto nos darás la noticia de tu matrimonio.

—¡Oh no, tía, como le he escrito a mi hermano, el matrimonio es un lujo para mí que nunca me daré!

Regresemos ahora a París, a la *Societé Philomathic* el día último del año de 1808. En el vestíbulo del salón de actos numerosos investigadores se preparan a escuchar la memoria titulada "Sobre la combinación de substancias gaseosas unas con otras" por José Luis Gay-Lussac, de la Sorbona. Por tratarse de la última conferencia del año, se ha servido vino y bocadillos antes de dar comienzo a la sesión; hay un ambiente festivo porque a todos aguarda después una buena cena con amigos, para despedir el año.

Entre el rumor de los brindis y las manifestaciones de buenos deseos, se oyen comentarios:

—Tengo entendido que Gay-Lussac es un colaborador del maestro Berthollet.

—Más que un colaborador; es uno de sus alumnos más distinguidos y bastante independiente. El trabajo que hoy nos va a presentar lo inició hace cuatro años en colaboración con el barón Alexander von Humboldt.

—Sí, y me parece —terció otro— que lo inició porque se fascinó con lo que llama la "bellísima simplicidad" de los resultados de Cavendish con la síntesis del agua. Ha aplicado el método de hacer reaccionar gases, mediante el expediente de hacer saltar chispas eléctricas, a toda suerte de mezclas.

—Una medida del aprecio que le tiene Berthollet es que lo deja seguir su propia línea en su laboratorio.

—Sobre todo porque estas investigaciones sobre gases las ha llevado a cabo por "el puro amor al arte"; no pertenecen directamente a ningún proyecto relacionado con la industria, ni a ningún fin práctico inmediato.

—Sorprendente sabiendo que es miembro del Comité Consultor de Artes y Manufacturas.

—¿Saben que Gay-Lussac está recién casado?

—Sí, y las circunstancias de su elección de esposa han dado la vuelta por todo París...

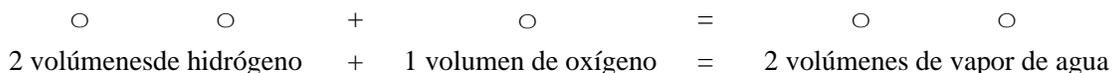
—Pues yo no he oído nada.

—Al entrar a una tienda de blancos vio a una de las empleadas leyendo un libro... ¡De química! Inmediatamente la cortejó, se casó y está reforzando su educación... ¡La tiene aprendiendo inglés e italiano!

En ese momento, el organizador de los seminarios comenzó a dar fuertes palmadas para congregarse al auditorio.

Comenzó explicando lo esencial de sus experimentos: hacer reaccionar volúmenes iguales de diversos gases, previamente medidos bajo las mismas condiciones de presión y temperatura. Determinar los volúmenes tanto de los productos como de los reactivos no consumidos, desde luego a la misma temperatura y presión, restar los volúmenes de los reactivos sobrantes de los volúmenes iniciales empleados para obtener el volumen de cada uno que en verdad reaccionó. Después de describir el equipo, exhibir los pasos de sus cálculos y subrayar que en todos los casos investigados se había mantenido la temperatura lo suficientemente alta para garantizar que tanto los reactivos como los productos de la reacción permanecieran en fase gaseosa, Gay-Lussac hizo un resumen de sus hallazgos.

—Después de redondear las cifras de los cálculos con un error en la determinación de los volúmenes de 0.1%, podemos establecer lo siguiente. En el caso del agua ocurre para los volúmenes combinantes que:



en el caso de los óxidos de carbono, otro tanto:

—Hmmm, ya veo. Para uno el error experimental inevitable es la manifestación de una importante verdad, y para el otro, un dato despreciable. O sea, esencialmente cuestión de interpretación...

— Así es; pero Dalton es "parte interesada". Él querrá a toda costa sostener que el tamaño atómico es diferente en cada elemento químico, porque ha fundamentado su explicación de la homogeneidad de la atmósfera en varias hipótesis, entre las cuales la de que el tamaño es importante, y no ha de querer renunciar al modelo que le sirvió.

—Bueno, pero el asunto del tamaño de los átomos no interviene para nada en la validez de su interpretación atómica de la ley de las proporciones múltiples.

—¡Claro! Ésa es la belleza de la ciencia, en su progreso como en la vida, van juntos "el trigo con la cizaña" y nunca nada es totalmente la última palabra. También podemos decir que para Dalton, la ecuación del experimento, a saber, un volumen de nitrógeno más un volumen de oxígeno igual a dos volúmenes de gas nitroso significa: un átomo se une con un átomo para dar una molécula del doble de grande, aproximadamente.

—Bueno, y ¿qué hay respecto del otro modelo de los gases? ¿Te acuerdas? Ya desde mediados del siglo pasado, Daniel Bernoulli sugirió que a presión y temperatura constantes, *volúmenes iguales de gases pudieran contener igual número de partículas* porque simplemente aunque tuvieran tamaños diferentes son tan pequeñísimas con respecto al volumen que "invaden" que sus diferencias de tamaño no importarían. En este caso se podría interpretar el resultado de Gay-Lussac en forma análoga a como interpretó las proporciones fijas en peso Dalton; es decir; así como él dijo en esencia, que el peso es proporcional al número de átomos, así, tomar los resultados de Gay-Lussac como proporciones fijas en volumen y decir que el volumen es proporcional al número de partículas; a igualdad de presión y temperatura, ¡claro!

—¡Ah, sí! Pero en el modelo de Bernoulli los átomos están en movimiento, por eso a pesar de ser pequeñísimos invaden un volumen muy grande, y eso Dalton no lo acepta, porque se le viene abajo su demostración de la homogeneidad de la atmósfera basada en átomos quietos.

—No se vale. ¿Cómo es entonces un científico tan grande?

—Te voy a decir cómo. Frente al hecho experimental,

Dalton te preguntaría si volúmenes iguales contienen iguales números de partículas, entonces el doble de volumen contiene el doble de partículas. ¿De acuerdo? ¿Cómo puede un átomo de nitrógeno combinarse con uno de oxígeno para formar dos moléculas de gas nitroso? ¡A ver! Y no sólo esto. Dalton te diría, toma el caso del agua, supón te por simplicidad dos átomos de hidrógeno **OO** en el volumen doble de hidrógeno y un átomo de oxígeno **O** en el volumen sencillo de oxígeno, ¿cómo es posible obtener dos moléculas **OO** sin dividir al átomo de oxígeno? ¡Ah! En cambio yo, te diría Dalton, pienso que en los dos volúmenes de hidrógeno hay el mismo número de átomos que en el volumen de oxígeno.

—¿Quién tiene razón? —preguntó abrumado Félix sujetándose la cabeza con los codos sobre la mesa—. ¿Dalton, quien dice que no se vale redondear el resultado experimental, o los que dicen que sí se vale? ¿Dalton, o los que afirman que a igualdad de presión y temperatura, volúmenes iguales de gases diferentes contienen igual número de partículas?

—Primero habría que pulir el experimento hasta convencerse si el error experimental disminuye o permanece. Después, si disminuye, que es lo que yo *creo*, habrá que encontrar la respuesta a las objeciones de Dalton.

—En cuanto regrese a Turín le preguntaré a mi maestro Avogadro...

En ese momento regresó el conserje.

—Lo siento muchachos, pero no se pueden quedar ya más aquí, tengo que cerrar.

— Está bien. Gracias abuelo y ¡feliz Año Nuevo 1809.

El profesor turinense Lorenzo Romano Amadeo Carlo Avogadro di Quaregna e di Cerreto, aceptó los datos de Gay-Lussac y su redondeo, el tiempo le dio la razón, y propuso en 1811 un modelo para los gases que empató uno con

otro los trabajos de Dalton y de Gay-Lussac. Su modelo incorpora ideas que habían estado flotando en el ambiente, con contribuciones propias. Se puede expresar en los tres enunciados siguientes.

i) Las partículas últimas no están en contacto permanente, tienen capas muy sutiles de calórico y sus dimensiones son despreciables comparadas con las distancias que las separan.

En consecuencia, volúmenes iguales de todos los gases, ya sean elementos, compuestos o mezclas, en igualdad de temperatura y presión, contienen igual número de partículas.

ii) Las partículas últimas de los elementos químicos no tienen por qué consistir de un solo átomo. Se puede concebir perfectamente que las partículas últimas de un elemento químico gaseoso sean moléculas de varios átomos iguales.

El incremento de tamaño que esto implica es de todos modos despreciable frente a las distancias entre las partículas.

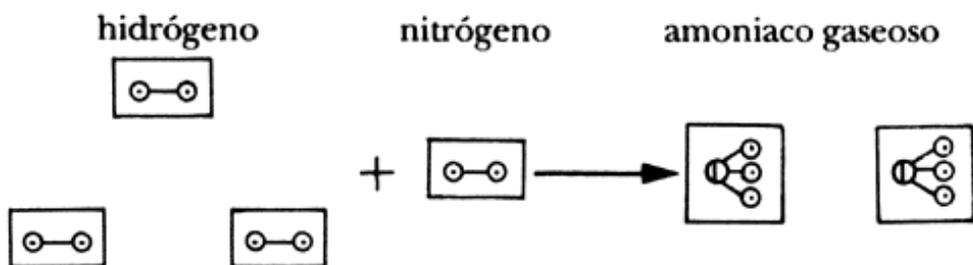
iii) No tenemos por qué suponer que cuando las moléculas de los elementos se unen para formar un compuesto, hayan de permanecer en un agregado mayor. Es posible concebir que agregados voluminosos se fragmenten inmediatamente en moléculas iguales del compuesto.

Para apreciar la belleza y el ingenio de la teoría de Avogadro, considérense los siguientes casos particulares.

El agua, de acuerdo con los enunciados (*i*) y (*ii*) puede formarse por las siguientes posibilidades:⁸ 

- | | | | | | | | |
|----|-----------------|---|----------------|---|----------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1) | H | + | O | → | HO | | la propuesta por Dalton. |
| 2) | 2H | + | O | → | H ₂ O | | la admitiría Dalton. |
| 3) | H ₂ | + | O | → | H ₂ O | | hidrógeno diatómico. |
| 4) | 2H | + | O ₂ | → | [H ₂ O ₂] | → | 2H ₂ O, oxígeno diatómico |
| 5) | H ₂ | + | O ₂ | → | [H ₂ O ₂] | → | 2HO, |
| 6) | 2H ₂ | + | O ₂ | → | [H ₄ O ₂] | → | 2H ₂ O, |
| 7) | 2H ₃ | + | O ₂ | → | [H ₆ O ₂] | → | 2H ₃ O, etcétera |

De acuerdo con el enunciado *i*), debemos dibujar el mismo número de moléculas en todos los cuadrados de Gay-Lussac que simbolizan el volumen. Un instante de reflexión nos muestra que es imposible hacerlo suponiendo las situaciones (1), (2) y (3) sin dividir átomos. La posibilidad (5) es imposible también porque el experimento requiere que se combinen dos volúmenes de hidrógeno. En cambio es perfectamente posible satisfacer (*i*) suponiendo (4), o (6) o (7) u otras posibilidades. ¿Cómo reducir el número de posibilidades? Pues viendo cuáles se permiten en otras reacciones en las que intervenga uno de los dos gases. Considérese ahora el caso del amoníaco: tres vols. hidrógeno + un vol. nitrógeno = 2 vols. amoníaco. Reflexión y ensayo y error no hace ver que este resultado experimental exige que el hidrógeno sea diatómico porque entonces:



Así pues, queda descartada la posibilidad de que el hidrógeno sea monatómico, lo que descarta, para el vapor de agua, la posibilidad (4). Al llegar aquí, Avogadro utiliza una regla de simplicidad para escoger la alternativa (6) como la correcta. Pero esta regla, a diferencia de la de Dalton, no conduce a conflictos, porque se invoca para elegir entre posibilidades que ya satisfacen al experimento y al modelo. Hemos podido por lo tanto establecer la fórmula del agua común.

Notamos que de acuerdo con el primer postulado de Avogadro el número de moléculas de agua que se forma es igual al número de moléculas de hidrógeno que se consume porque los volúmenes de vapor y de hidrógeno son iguales. Notamos también que se forman como máximo tantas moléculas de agua como átomos hay en la molécula del oxígeno, que es el gas que entra con el volumen unitario. Esto último nos ayuda a establecer la fórmula del fósforo gaseoso, y de la fosfina. Leyendo la expresión del experimento concluimos que la molécula de fósforo gaseoso debe contener cuatro átomos de fósforo. La fórmula de la fosfina se puede establecer ahora de inmediato, tiene un átomo de fósforo, y ya sabemos de los anteriores experimentos que el hidrógeno es diatómico. Puesto que seis volúmenes de hidrógeno se requieren para producir cuatro de fosfina, entonces se requieren seis moléculas de hidrógeno para producir cuatro de fosfina o lo que es lo mismo se requieren 12 átomos de hidrógeno para producir cuatro moléculas de fosfina. Por lo tanto, en cada una hay $12/4 = 3$ átomos de hidrógeno. Y la fórmula de la fosfina es PH_3 .

Los experimentos de Gay-Lussac y la aceptación de los postulados de Avogadro nos proporcionan un método para determinar la fórmula molecular de cualquier elemento o compuesto que pueda ser obtenido en el estado gaseoso a temperaturas accesibles en el laboratorio. Con esto se hace totalmente innecesaria la regla de la mayor simplicidad que Dalton tenía que invocar. En la expresión (f) empleada por Dalton, ahora el cociente N_x/N_z puede ser conocido y la expresión usada, junto con las proporciones, fijas en peso experimentales, para establecer una tabla de pesos atómicos relativos. En la actualidad, las tablas de pesos atómicos están referidas ya no al átomo de hidrógeno sino al de carbono, fijado por acuerdo internacional con el peso 12.

El modelo de los gases de Avogadro no fue aceptado de inmediato por diversas razones, entre otras porque era poco conocido su trabajo y pasó inadvertido por casi 50 años, baste decir que en 1814 Ampère propuso un modelo semejante y fue mucho después cuando salió a relucir el de Avogadro. Más tarde, el comportamiento del mercurio y del azufre gaseosos, cuyas moléculas no son binarias (en su modelo original, Avogadro sólo consideraba este caso) pareció echarlo por tierra. Actualmente, su modelo se considera correcto.

Nos encontramos en el primer cuarto del siglo XIX, en plena infancia de la química clásica; no juventud todavía, pues aún anda desfilando con bandera de substancia el calor. Niña, pero ya es una ciencia y previsiblemente, más que agotarse las preguntas, ahora se multiplican. Ya la meta de este viaje ha sido alcanzada: la tecnicolorida alquimia, con honor (nunca hay que despreciar los esfuerzos) ocupa su vitrina en el museo de los trofeos de guerra intelectual y los átomos son casi palpables; pero sólo para nosotros, los que estamos río abajo en el tiempo. No se engañe el lector; para muchos científicos a lo largo del siglo XIX, los átomos y las moléculas no pasaron de ser un figmento de la imaginación, al cual prestaban acaso, condescendentemente, un valor de ayuda pictórica, propia de mentes con debilidades de geometría. A esto contribuyó no poco la falla grave en el modelo de Dalton de la contigüidad de los átomos, que llevaba a contradicciones con los experimentos, permaneciendo la contribución de Avogadro en la oscuridad. La aceptación final de la existencia de las moléculas y de los átomos no se obtendrá sino hasta la interpretación de Einstein del movimiento browniano, en 1905.

Hablando de preguntas, son innumerables. Algunas pocas inmediatas se han quedado esperando, las que estoy segura, a más de un lector le bullen en la cabeza. Es apropiado mencionarlas porque con este viaje se quería "vivir" la ciencia, y ésta es un asunto de nunca acabar. ¿Si pueden existir fuerzas de atracción entre átomos iguales para formar moléculas de los elementos, por qué no causan que todo el gas se condense en una molécula gigante? ¿Por qué es estable una molécula de agua, o de nitrógeno? ¿Por qué no todas son binarias y hay moléculas como P_4 , S_2 , S_6 , S_8 ? ¿Por qué están los átomos en las moléculas de los compuestos en esas proporciones particulares y no en otras? Las respuestas a estas preguntas han sido dadas sólo en las últimas décadas de este siglo gracias a la mecánica cuántica, teoría moderna que se ocupa de la estructura de los átomos y las moléculas y de la matematización de las cualidades de las substancias.

Inicio



[Nota 1] 

1 El lector notará que aparecen como elementos sustancias que ahora sabemos que no lo son, sosa o hidróxido de sodio, potasa o hidróxido de potasio y alúmina u óxido de aluminio. En la época de Dalton todavía no se les había podido descomponer en sus elementos.

 Inició

[Nota 2] 

2 El agua aparece clasificada entre los compuestos de dos elementos que sólo forman uno porque todavía no había sido descubierta el agua oxigenada.

 Inició

3 La regla de la simplicidad no tiene ninguna base y se ha demostrado errónea. Dalton la supuso a falta de otra cosa. Con la información disponible en su época pudo hacer afortunadamente varias predicciones correctas como las de la tabla de los compuestos gaseosos de nitrógeno y oxígeno que aparece más adelante y la de los dos óxidos de carbón. Sin ir más lejos, en el caso del agua la regla falla, pues ahora sabemos que la combinación es ternaria, H_2O , y que para el agua oxigenada es cuaternaria, H_2O_2 . Hay otros casos, como el único compuesto de iodo y hierro, que no es binario, sino ternario, FeI_2 . El cloruro más simple de hierro no es $FeCl$ sino $FeCl_2$. Los óxidos comunes de hierro ahora se sabe que tienen las fórmulas FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , y muchos ejemplos más que ya no tiene caso mencionar. Pero ¡cuidado! la regla de la máxima simplicidad fallará más no la regla de la proporciones múltiples que a continuación explica Dalton.

[Inicio](#)

[Nota 4] 

4 En 1812, escribió Juan Jacobo Berzelius, "la ley de las proporciones múltiples es un misterio, excepto por la hipótesis atómica y hasta donde yo he sido capaz de juzgar, todos los resultados hasta ahora obtenidos han contribuido a justificar la hipótesis".



[Nota 5] 

5 En esta tabla se presentan los números modernos, no los que presentó Dalton, algunos de ellos erróneos por su hipótesis de la máxima simplicidad. Sin embargo, la idea de utilizarlos para establecer una fórmula desconocida como se muestra en el problema a continuación es exactamente la suya y es correcta.



[Nota 6] 

6 Densidad relativa al aire, a misma temperatura y presión.

Inicio

[Nota 7] 

7 Véase la nota núm. 3 del capítulo III.

Inicio

8 Se ha empleado la notación moderna inventada por Berzelius para mayor comodidad.



REFERENCIAS GENERALES

Arnold B. Arons, *Evolución de los conceptos de la física*, Ed. Trillas, 1970, cap.28.

Robert Boyle, *Física, química y filosofía mecánica*, Introducción, notas y traducción de Carlos Solís Santos, Alianza Editorial, SEP, México, 1985.

Henry A. Boorse, Lloyd Motz, comps., *The World of the Atom*, Basic Books, Inc., Publishers. Nueva York, 1966, Vol. 1.

H. Butterfield, *The Origins of Modern Science*, caps. V, VI, IX y XI. Maurice P. Crosland, Estudios históricos en el lenguaje de la química, UNAM, México, 1988, Parte I.

Charles C. Gillispie, (compilador) *Dictionary of Scientific Biography*, The American Council of Learned Societies, Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1973.

Frank Greenaway, *John Dalton and the Atom*, Cornell University Press, Ithaca, 1967.

Thomas L. Hankins, *Science and the Enlightenment*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988, cap.4.

Gerald Holton, "Introduction" a *Concepts and Theories in Physical Science*, Addison-Wesley Publishing Company, Menlo Park, California, 1973, 2a ed. caps. 15, 19 y 20.

Bernard Jaffe, *Crucibles: The Story of Chemistry*, Dover Publications, Inc., Nueva York, 1976, 4a ed. caps. 1-VII.

Russel H., Johnsen, Ernest Grunwald, *Atoms Molecules and the Chemical Change*, Prentice-Hall, Inc., Nueva York, 1971.

Laurent A. Lavoisier; *Tratado elemental de química*, t. I, ed. facsimilar; estudio preliminar de Patricia Aceves, UAM-Xochimilco, 1990.

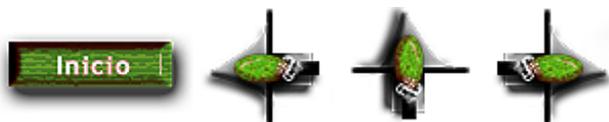
Henry M. Leicester; *The Historical Background of Chemistry*, Dover Publications, Inc., Nueva York, 1971, caps. a XVI.

Stephen F. Mason, *Historia de las ciencias*, Alianza Editorial, SEP, México, 1988, vols. I, II, III.

Donald A. McQuarrie, P. A. Rock, *General Chemistry*, W. H. Freeman & Co., Nueva York, 1987.

J. R. Partington, *A Text of Inorganic Chemistry*, Macmillan & Co., Londres, 1950.

J. R Partington, *A Short History of Chemistry*, Dover Publications, Inc. Nueva York, 1989, caps. 1 a VII.



CONTRAPORTADA

En este libro la autora nos conduce a través de los momentos más significativos que marcaron la historia de lo que llegaría a ser la química y nos muestra a las principales figuras que, con sus aportaciones, determinaron el rumbo de este camino. El viaje lo iniciamos en las postrimerías de la Edad Media, época en que prevalecían los conceptos complejos y herméticos de la alquimia, y lo finalizamos en los albores del siglo XIX, cuando empieza a dominar la escena la claridad de la teoría atómica de Dalton y de Avogadro.

Nos encontramos primero con Zenón, un fraile que se atreve a cuestionar las hasta entonces consideradas "verdades incontrovertibles" y que no acepta el hecho fundamental que plantea la alquimia acerca de la posibilidad de la transmutación de los metales ordinarios en oro y plata, por lo que es considerado por su maestro como "pretencioso y rebuscado". Este aprendiz deja un manuscrito en donde expone sus dudas acerca de que la materia esté constituida por átomos iguales, como planteaba Anaxágoras.

Aparece a continuación la figura de Paracelso, quien se caracterizó por su irreverencia hacia el pasado, porque realizaba curaciones con sales y minerales y aseguraba que las enfermedades eran causadas por agentes externos al hombre. Vivimos la gran expectación que existe en Basilea ante su llegada: por sus ideas innovadoras provoca indignación entre los maestros y entusiasmo entre los estudiantes.

Lo siguen George E. Stahl, el creador de la teoría del flogisto; Lavoisier, célebre por su rigor experimental, quien publica el *Tratado elemental de química*, punto de partida de la ciencia moderna; Enrique Cavendish, enfrascado en su afán por demostrar su idea de los "aires facticios"; Juan Dalton, quien afirma que la materia no es infinitamente divisible, y otros químicos o notables.

Aparte de lo interesante que resulta la presentación de quienes no se conformaron con lo establecido y buscaron nuevos caminos, un atractivo muy especial de este libro lo constituye la forma en que la autora presenta a estos sabios, mezclándolos con personajes ficticios, y los convierte en seres de "carne y hueso". El lector se entera de la historia de la química en una forma amena, donde las teorías científicas están animadas con anécdotas, chismes de la época, charla coloquial, episodios chuscos, etcétera. Teresa de la Selva hizo su licenciatura en ciencias en la Universidad Iberoamericana, su maestría en la Facultad de Ciencias de la UNAM, donde también se doctoró en física. Es profesora titular C de la UAM y ha publicado numerosos trabajos en revistas científicas.

