

# ¿Hubo alguna vez una revolución en la química?

Antonio León Sánchez  
Curso de Doctorado 1996-97  
Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia  
U.N.E.D. Madrid

# ¿Hubo alguna vez una revolución en la Química?

## 1. Introducción

La constitución de la química científica tuvo lugar entre el final del siglo XVII y principios del XIX. Algo después, por tanto, de la llamada Revolución Científica. Algunos autores conocen esta transformación de la química como la segunda revolución científica, dada la amplitud de sus consecuencias [1]. El estudio de esta etapa de la historia de la química y la naturaleza de la transformación sufrida, son los objetivos de este trabajo, que se inicia con una breve exposición de los cambios socio-culturales, económicos y científicos que supuso la mencionada Revolución Científica. Estos cambios configuraron las relaciones mutuas entre la ciencia y la sociedad, creando el ambiente propicio para el progreso científico que desde entonces se ha venido manteniendo y mejorando.

Tras esta primera consideración sobre la Revolución Científica, se resume la historia de la química anterior al siglo XVI, imprescindible para comprender de una forma coherente el desarrollo posterior del conocimiento químico. De esta etapa, se han destacado la filosofía griega de la materia y la alquimia hasta el siglo XIII. La siguiente etapa analizada corresponde a la química industrial e iatroquímica del siglo XVI, en la que sobresalen las figuras de Paracelso y van Helmont.

La siguiente parte del trabajo se ocupa de la revolución de la química propiamente dicha. Se inicia esta parte con una reflexión sobre la filosofía mecánica y la química del siglo XVII, bien representada por Robert Boyle. A continuación se aborda el debate central que aglutinó los esfuerzos e inició la andadura de la nueva química: el debate sobre la combustión y la teoría del flogisto, que al menos tuvo la virtud de unir a los químicos de la época en dos grupos: el de sus partidarios y el de sus detractores. A continuación se consideran la química de los gases y la enorme contribución de Lavoisier al nacimiento de la química científica, para terminar con la controversia sobre la afinidad química y las proporciones definidas, que terminaron definitivamente con esta etapa constitutiva de química como ciencia independiente y moderna.

## **2. Materiales y Métodos**

Las páginas que siguen recogen los resultados de un trabajo de investigación bibliográfica sobre la Revolución Científica en la química. Se han utilizado documentos de historia de la ciencia y de historia de la química hasta mediados del siglo XIX, muy especialmente los relativos al siglo XVIII. Como documento original de la química del XVIII se ha utilizado el Tratado Elemental de Química de Lavoisier. Los resultados se han obtenido contrastando las opiniones de los autores utilizados y utilizando los datos historiográficos suministrados en sus trabajos. Primero se perfiló y luego se completó un esquema que intenta representar los principales hitos en la constitución de la química científica. A partir de él se establecen las conclusiones finales.

## **3. Consideraciones generales y antecedentes**

### **3.1 La Revolución Científica en la química.**

La llamada Revolución Científica no afectó por igual ni al mismo tiempo a todas las ciencias, aunque sobre todas ellas tuvo sus consecuencias. En la química la revolución fue más tardía que, por ejemplo, en la física. Pero sin duda se benefició de los cambios en las relaciones de la ciencia con la sociedad y con la economía que supuso la Revolución Científica. Por esta razón parece justificado iniciar este trabajo con una breve semblanza de esta importante época de cambios.

Por Revolución Científica suele entenderse la profunda transformación de los métodos, los contenidos y la organización social del conocimiento y de la actividad científica que tuvo lugar en Europa durante los siglos XVI y XVII. Cambios que, naturalmente, implicaban otros cambios externos a la propia ciencia: cambios políticos, económicos y sociales. Fue el auge de los nuevos idearios de la burguesía urbana junto con el descubrimiento del valor práctico de la ciencia los que impulsaron el cambio representado por la Revolución Científica. El auge del comercio y de la navegación, de la minería, de los procesos metalúrgicos, de la industria armamentista, entre otros, impulsó definitivamente el avance y la posición social de la ciencia [11].

La Revolución Científica supuso dos tipos de cambios profundos. Uno de ellos relacionado con los supuestos, los métodos y los contenidos del conocimiento. El otro relacionado con la organización de la actividad científica y con su posición en la sociedad. Respecto al primero, cabe destacar la contestación al aristotelismo dominante, con el desarrollo de las interpretaciones mecanicistas, no teleológicas de la naturaleza, y la consolidación del método científico como vía de preferente acceso al conocimiento de la naturaleza. Respecto al segundo, tendrían que destacarse por una parte el cambio del papel social del científico, con el consiguiente aumento de sus posibilidades de trabajo, y por otra, la creación de instituciones -las academias y sociedades científicas- que promovían el desarrollo y la defensa de la actividad científica [7, 12]. Dentro de este grupo de cambios también es destacable el aumento de las publicaciones científicas y su disponibilidad pública, frente al hermetismo más o menos sectario de los antiguos alquimistas y metalúrgicos [7].

### **3.2 La química anterior al siglo XVI**

En el siglo XVI se inicia la revolución científica y se dan los primeros pasos hacia el nacimiento de la química moderna. Hasta entonces, no puede hablarse de una ciencia química independiente, sino de un conjunto de conocimientos relacionados con la materia y sus transformaciones. Como se verá a continuación, estos conocimientos químicos iniciales tuvieron un triple origen, por una parte la manipulación artesanal de los materiales, por otra la especulación filosófica sobre la estructura de la materia y de sus cambios, y finalmente, una curiosa actividad mezcla de experimentación, magia y misticismo: la alquimia. Todos estos conocimientos resultan imprescindibles para entender de una forma coherente el origen y la evolución del pensamiento químico científico.

#### **3.2.1 Los primeros conocimientos químicos**

El conocimiento de la materia y de sus transformaciones se inició en cuanto el hombre comenzó a transformar los objetos de la naturaleza con algún propósito definido. Aunque la elaboración de utensilios de piedra exigía ya un cierto conocimiento de las propiedades de la materia, fue el uso de los metales la actividad que más contribuyó a este conocimiento químico inicial, sobre todo las técnicas de extracción a partir de los minerales y el desarrollo de las aleaciones. Junto a esta primitiva metalurgia, también contribuyeron otras actividades transformadoras de la materia que poco a poco se fueron desarrollando como la alfarería, la preparación de materiales vidriados, de tintes, de jabones o de licores. Entre todas estas actividades cabe destacar, por su mayor significado químico, las relacionadas con la imitación y falsificación de materiales valiosos (oro, piedras preciosas, etc.). Las falsificaciones alcanzaron muy pronto un nivel tan alto que tuvieron que ser prohibidas.

El conocimiento artesano de la materia y de sus transformaciones suponía un instrumento de poder, tanto de las personas que lo poseían como de las estructuras gubernamentales que lo utilizaban y administraban. Esta situación explica los modos de transmisión de dicho conocimiento. Mientras el poder establecido utilizaba la transmisión oral y escrita para asegurar su mantenimiento, los artesanos independientes utilizaban un lenguaje críptico y confuso, repleto de abreviaturas, alegorías, pistas falsas..., necesario para la defensa de sus intereses personales. Fue también la vía que más tarde adoptaron los alquimistas.

Ya desde el principio quedó clara la complejidad de los hechos químicos. Frente a la regularidad de los movimientos celestes, la práctica imposibilidad de repetir experiencias químicas en las mismas condiciones ambientales y con la misma composición de los objetos manipulados. Hasta tal punto que los sumerios, por ejemplo, ofrecían junto con sus recetas invocaciones a los dioses para el buen término de las mismas. Esta complejidad será una de las causas importantes del retraso en la constitución científica de la química como ciencia moderna.

#### **3.2.2 La filosofía griega de la materia**

Las culturas egipcia y mesopotámica ya aceptaban la existencia de una materia primordial que se organizaba de distintos modos bajo el gobierno de ciertos factores o cualidades opuestas: húmedo-seco, caliente-frío, oscuro-luminoso, masculino-femenino..., todos ellos reflejos de la lucha moral entre el bien y el mal. Estas concepciones de la materia influyeron en el mundo griego, donde la filosofía de la materia dio un salto

espectacular que se inició hacia el año 600 a. de C. Si una sustancia puede transformarse en otra ¿cuál es en realidad la naturaleza de la sustancia? ¿puede una sustancia transformarse en cualquier otra mediante los procedimientos adecuados? ¿son las diferentes sustancias distintas versiones o aspectos de una sustancia primordial básica?... Este tipo de preguntas fueron las que debieron de plantearse los primeros filósofos de la materia. Para ellos existía una sustancia primordial que originaba todos los materiales. Aunque dicha sustancia primordial no fue la misma para todos los filósofos: para Tales de Mileto era el agua, para Anaxímenes era el aire, y para Heráclito el fuego.

Fue un discípulo de Pitágoras, Empédocles, el primero en considerar varias sustancias primordiales en lugar de una. Para este filósofo la materia estaba formada por combinaciones de cuatro elementos básicos: el agua, el aire, el fuego y la tierra. Esta doctrina de los cuatro elementos fue recogida por Aristóteles, el filósofo de la naturaleza más influyente de toda la historia del pensamiento. La concepción aristotélica de la materia mantuvo su hegemonía hasta la Revolución Científica de los siglos XVI-XVII. Aristóteles concibió los elementos básicos no como los materiales naturales que llevan su nombre, sino como combinaciones de pares de propiedades antagónicas: calor+sequedad para el fuego, calor+humedad para el aire, frío+sequedad para la tierra, y frío+humedad para el agua. A su vez estos elementos se combinaban dando lugar a las homeomerías que, finalmente, integraban las sustancias reales.

En la concepción aristotélica de la materia, los componentes que se combinaban para formar una nueva sustancia perdían su identidad, transmitiendo en todo caso alguna cualidad residual. Aristóteles consideraba también la existencia de exhalaciones procedentes del interior de la Tierra, unas húmedas que daban lugar a los metales, y otras secas que originaban las minerales y las rocas. Consideró también la existencia de un quinto elemento, inmutable, perfecto y eterno: el éter (quintaesencia), que se encontraba rellenando los cielos.

Otra cuestión ampliamente discutida en la época griega fue la divisibilidad de la materia. ¿Podía la materia dividirse y subdividirse hasta el infinito? Para Leucipo (450 a. de C.) las sucesivas divisiones darían finalmente lugar a partículas indivisibles. Su discípulo Demócrito las llamó átomos, y las dotó de diferentes formas y tamaños. Estas diferencias serían la causa de sus diferentes propiedades. Las sustancias reales estarían formadas por distintas mezclas de estos átomos. Como Aristóteles no aceptó la idea de átomo, la teoría de Demócrito no llegó a tener demasiada popularidad. Sin embargo, fue recogida por Epicuro, cuyos seguidores acabarían teniendo cierta influencia. Uno de estos seguidores fue el poeta romano Lucrecio, que expuso la teoría atomista en su poema *De Rerum Natura*, de donde, finalmente, fue tomada por los mecanicistas de los siglos XVI y XVII (Descartes, Boyle, Gassendi, etc.) que la incorporarían a la naciente y pujante ciencia occidental.

### **3.2.3 La alquimia**

Probablemente la alquimia se inició en China, aunque es posible que ocurriera un desarrollo paralelo e independiente en Mesopotamia y Egipto [7, 9]. Las actividades químicas chinas alcanzaron un notable desarrollo en la metalurgia y en la preparación de porcelanas. Consideraban que la materia estaba constituida por cinco elementos (fuego, agua, madera, metal y tierra) con un carácter más químico que los griegos. Usaron también la doctrina de los contrarios -el ying y el yang- para explicar las combinaciones y

propiedades de las sustancias. De esta forma, también aquí se produjo la mezcla de los conocimientos químicos prácticos con los místicos.

La alquimia helenística inició su desarrollo en Alejandría a partir del siglo III a. de C. Se alcanzó un buen nivel en la técnica de los tintes, en la metalurgia y, sobre todo, en la imitación y falsificación de materiales valiosos. Al principio no había pretensiones filosóficas en las actividades alquímicas, pero pronto -hacia el inicio de nuestra era- el encuentro de los conocimientos químicos prácticos con la filosofía griega de la materia dio lugar a una época de esplendor en la alquimia occidental. Los alquimistas creían en la transmutación de la materia que, según ellos, se producía de forma natural en la Tierra, dando como producto final el oro. Perseguían conseguir lo mismo en el laboratorio.

Durante la dominación romana se inició la decadencia de la alquimia griega, de tal modo que hacia el siglo III ya es prácticamente imposible encontrar aportaciones nuevas. Hacia el siglo V, el cisma nestoriano desplazó hacia Siria y Persia el núcleo practicante más activo, los árabes se familiarizaron con la alquimia, que con ellos alcanzó un nuevo periodo de esplendor [7]. Los árabes introdujeron el concepto de elixir como material causante de la transmutación que, además, tendría importantes propiedades terapéuticas. En realidad era tomado como un remedio para todas las enfermedades que también confería la inmortalidad (elixir de la vida). Es destacable que algunos de los más importantes alquimistas árabes, como al-Razi (850-925), no se interesaron por la transmutación, y otros como Avicena (979-1037) parece que ni siquiera creyeron en ella. Se concentraron en su trabajo de laboratorio y lograron identificar numerosas sustancias naturales.

Después de Avicena, la ciencia árabe declinó con rapidez. Unos tres siglos después, el liderato científico pasó al oeste de Europa para no volver más al mundo islámico. Durante los siglos XII y XIII la alquimia europea conocería su época de esplendor. Las cruzadas y la civilización morisca desarrollada en España, pusieron a los europeos en contacto con la brillante cultura árabe, nutrida tanto de aportaciones propias como de traducciones de las obras clásicas griegas. Alberto Magno (aproximadamente 1200-1280) y Roger Bacon (1214-1292) desarrollaron actividades relacionadas con la alquimia, el primero describió el arsénico y el segundo la pólvora negra. Con una orientación más mística cabe destacar los trabajos de Arnaldo de Vilanova (1235-1311) y Raimundo Lulio (1235-1315). Aunque el alquimista medieval más importante fue (el falso) Geber, probablemente un español que escribió alrededor del 1300. Describió el ácido sulfúrico y la formación del ácido nítrico, ambos obtenidos a partir de sustancias minerales. Estos ácidos minerales eran capaces de disolver muchas más sustancias que los ácidos orgánicos conocidos hasta entonces (vinagre y ácido acético).

A finales del siglo XIII la alquimia científica había alcanzado el tope que sus bases teóricas le permitían [7]. Cada vez más contaminada de misticismo y esoterismo, se convirtió en cobijo de charlatanes y tramposos, perdiendo rápidamente su prestigio y credibilidad. Aunque se mantuvo durante un tiempo un cierto respeto hacia la alquimia verdadera. Sólo la alquimia médica continuaría en vigor, incluso con ciertos éxitos como se verá a continuación. En cualquier caso, la actividad de los alquimistas produjo resultados interesantes para el desarrollo de la química: avances en la creación y en el diseño de utensilios de laboratorio, descubrimiento de reactivos importantes como el alcohol etílico o los ácidos inorgánicos, perfeccionamiento de las técnicas de sublimación y destilación, el profundo conocimiento del azufre y del mercurio, etc.

### **3.3 Primeros pasos hacia la nueva química: iatroquímica y química industrial**

Durante los siglos XIV y XV tuvieron lugar importantes exploraciones y descubrimientos geográficos que acabarían modificando la situación social y cultural de Europa. El desarrollo del comercio y la navegación por un lado, y el descubrimiento de la imprenta por otro, fueron factores decisivos en este sentido. Las nuevas condiciones sociopolíticas y económicas propiciaron el inicio de la Revolución Científica en el siglo XVI que, aunque no penetró mucho en el mundo de la química, infundió cierto vigor en algunas de sus facetas, especialmente en la metalurgia y en la iatroquímica.

La nueva situación económica exigía un elevado consumo de productos industriales, lo que químicamente trajo consigo el desarrollo de nuevos procesos de extracción y tratamiento de metales. La explotación económica de los procesos químicos espoleó el desarrollo de técnicas químicas cuantitativas, mucho más de lo que hasta ahora había hecho la especulación filosófica. Como consecuencia de las nuevas exigencias, también cambió la valoración social de la técnica y de los técnicos. Luis Vives (1492-1540) llegó a afirmar que el conocimiento directo de la Naturaleza a través de la técnica era de rango superior al conocimiento especulativo.

Otro cambio notable que contribuyó de forma muy destacada al desarrollo científico fue el descubrimiento de la imprenta y la consiguiente popularización del libro, que facilitó enormemente la comunicación científica y técnica. Los primeros libros de química recogían colecciones de recetas para la preparación de una gran variedad de productos, técnicas de análisis (ensayos químicos) en los que se aprecia el interés por la cuantificación de los procesos, y técnicas de explotación, tratamiento y beneficio de minerales. Escritas con un lenguaje sencillo, estos primeros libros de química no tenían ninguna pretensión teórica. Destacan las obras de Biriguncio, Agricola y Ercker. En las obras dedicadas a los ensayos es donde mejor se aprecia tanto el interés por la cuantificación, como los progresos realizados en la fabricación de balanzas. Estos instrumentos alcanzaron una gran precisión, en buena parte debido a las necesidades derivadas de la acuñación de monedas con metales preciosos.

Otros procesos industriales en los que estaba comprometida la química del siglo XVI eran la preparación de bebidas alcohólicas, de cosméticos y de perfumes. Pero, además, se desarrollaron técnicas de destilación para la preparación de productos puros con fines terapéuticos. Se conoce como iatroquímica a esta confluencia de intereses químicos y médicos, una confluencia muy productiva que acabaría contribuyendo de forma muy notable a la consolidación científica de la química. Entre los iatroquímicos del siglo XVI destaca Paracelso, que se ocupó en la preparación de nuevos productos terapéuticos a partir de sustancias naturales (minerales y plantas). Aceptó los cuatro elementos griegos y los principios de los alquimistas. No mostró demasiado interés por la transmutación y buscó la piedra filosofal por su función de elixir de la vida. Rechazó la doctrina de que la salud estaba dominada por los cuatro humores constitucionales, proponiendo que el cuerpo humano estaba formado por los dos principios de los alquimistas, mercurio y azufre, a los que añadió un tercer principio, la sal.

Una de las aportaciones más útiles de Paracelso fue la idea de que las enfermedades eran diferentes y específicas en su acción, y, por tanto, que requerían tratamientos diferentes, en contra de los viejos curalo-todo. Anticipó también la idea de gérmenes en el origen de las enfermedades contagiosas. Paracelso y el resto de los iatroquímicos consideraban que el conocimiento había de obtenerse por exploración empírica de intuiciones y analogías místicas, o bien directamente de las Escrituras. Las obras de los seguidores de Paracelso fueron las de mayor contenido químico de la época. Entre ellas

destaca la Alchemia (1597) de Andreas Libavius, uno de los textos químicos más importantes escritos hasta la fecha, que sirvió durante mucho años como libro de texto.

Entre los seguidores de Paracelso destaca el suizo Johannes Baptista van Helmont (1579-1644). Este autor rechazó los elementos aristotélicos y centró su actividad en la experimentación, tal como hoy la concebimos. Empleó sistemáticamente la balanza, pesando los reactivos iniciales y los productos de la reacción, reconociendo de forma implícita el principio de la conservación de la materia que más tarde formulará Lavoisier. Otra importante contribución de van Helmont fue iniciar el estudio de los gases -nombre que también propuso. Reconoció su variedad y contribuyó a que perdieran el misterio del que siempre estuvieron rodeados. El desarrollo de la química neumática, iniciada por van Helmont, será decisivo en la constitución de la química moderna.

## **4. Constitución de la química científica**

### **4.1 Química y filosofía mecánica**

El mecanicismo estricto de Descartes (1596-1650) y el atomismo de Gassendi (1592-1655) se hicieron públicos durante la primera mitad del siglo XVII. Su influencia sobre la Revolución Científica fue decisiva. Inauguraron una nueva concepción mecanicista de la naturaleza que se dejó sentir en todas las áreas del conocimiento. Uno de los primeros químicos que planteó una interpretación mecánica del cambio fue Jean Rey. Para este metalúrgico francés, el aumento de peso producido en la calcinación de los metales era debido a la formación de mezclas mecánicas de la cal con el aire. El máximo impulsor de la filosofía mecánica y del experimentalismo en química fue el inglés Robert Boyle (1626-1691). Para Boyle la materia constaba de partículas o corpúsculos en movimiento y no esperaba que se encontrasen explicaciones mejores. Estudió una propiedad de los gases relativamente fácil de medir, los cambios de volumen ocasionados por los cambios de presión. Los experimentos realizados le llevaron a descubrir la ley que lleva su nombre. La compresibilidad de los gases le llevó a pensar que éstos debían de estar formados por partículas individuales y por huecos, lo que permitiría los cambios de volumen. Y si los gases están formados por partículas también lo deberían de estar los líquidos y los sólidos de donde proceden.

Boyle explicaba la enorme variedad de cualidades de la materia natural mediante ciertos principios de variación de los cuerpos basados en su constitución íntima. Los cuerpos estarían formados por partículas de diferentes tamaños y formas que se podrían unir de diferentes maneras y órdenes, reteniendo, tal vez, ciertos efluvios entre sus poros. Cada posible combinación de estos principios de variación representaría un tipo de materia con un conjunto característico de propiedades. A parte de estas especulaciones, Boyle, como buen discípulo de Bacon, exigía para la química una base experimental y la necesidad de realizar estudios cuantitativos de los cambios químicos.

Por otra parte, Boyle se inclinaba a considerar al aire, al agua y al fuego como elementos materiales. Al contrario que Rey, explicaba el aumento de peso de los metales calcinados mediante la fijación del fuego (material) a la cal. Señaló la importancia de trabajar con sustancias homogéneas puras y dio una primera definición de elemento

químico

“Entiendo por elemento químico ciertos cuerpos primitivos y simples o preferentemente sin mezcla que, al no estar hechos de cualesquiera otros cuerpos... son los ingredientes a partir de los cuales están inmediatamente compuestos todos aquellos denominados perfectamente mixtos, y en los cuales se resuelven en última instancia”<sup>1</sup>

Boyle contribuyó, sobre todo en su obra *The Sceptical Chymist* (1661), a terminar con las creencias aún vigentes en el sistemas de los elementos aristotélicos y en el de los principios de Paracelso, así como a rechazar el uso de fuerzas ocultas en la explicación de los fenómenos físicos. Esa fue una de sus grandes contribuciones a la constitución de la química moderna. Sin olvidar su rigurosa metodología experimental.

#### 4.2 La revolución del flogisto

Aunque a comienzos del siglo XVIII se aceptaba la implantación de la química como ciencia experimental independiente, faltaba aún un sistema globalizador o teoría unitaria que diera cuenta de los fenómenos químicos en su conjunto. Por la misma época, seguía creciendo el número de nuevas sustancias y reacciones, y la atención se fue centrando sobre un de proceso y sobre una clase de materiales que resultarían decisivos en las nuevas concepciones químicas: la combustión y los gases. En el año 1669, el químico alemán Joachim Becher (1632-82) propuso que la materia estaba formada por dos componentes, el agua y la tierra. Pero distinguía tres tipos de tierra: tierra vitrificable, tierra material y tierra inflamable [13]. Esta última fue llamada flogisto por el médico y químico alemán Georg Ernst Stahl (1660-1734), quien desarrolló la primera exposición sobre este nuevo elemento en su obra *Experimenta, observationes, animadvertiones chymicae et physicae* (1697). El flogisto era un principio ígneo, imponderable e inasible, parecido al azufre de los alquimistas y al fuego de Aristóteles, que existía en todos los cuerpos inflamables y era emitido al arder. Stahl no llegó a decir que el flogisto puro fuera el negro del humo, pero permitió que otros los sugirieran.

La emisión de flogisto en las combustiones explicaba porqué se extinguían las llamas en el interior de recipientes cerrados. En efecto, dicha emisión se produciría hasta que el aire estuviese saturado de flogisto, momento en el que ya no admitiría más y la llama se extinguiría. Durante la respiración de los seres vivos también se utilizaba el aire como vertedero del flogisto producido en sus procesos internos. El problema de la posible saturación flogística del aire quedó solucionado con la suposición de que las plantas lo asimilaban, cerrando un ciclo parecido al del oxígeno actual, aunque operando al revés [7]. Así pues, el flogisto explicaba un buen número de reacciones, aunque exigía algunas hipótesis adicionales. Por ejemplo que tenía un peso negativo, para explicar el aumento de peso de las cales resultantes de la calcinación de los metales.

Aunque no todos los químicos aceptaron la teoría del flogisto, su aceptación fue bastante amplia. En cualquier caso constituyó un buen estímulo para el desarrollo de la química, sirviendo de hilo conductor en la planificación de experiencias tanto para confirmar su existencia como para lo contrario.

---

<sup>1</sup> En S. F. Mason, Historia de las Ciencias, vol. 2, p. 49.

### 4.3 Química de los gases

Como se ha visto, fue van Helmont en el siglo XVI el primero en considerar ciertas sustancias gaseosas como distintas del aire. Los químicos que le siguieron las consideraron, sin embargo, como meras formas del aire elemental (aires artificiales según Boyle). A mediados del siglo XVIII, el químico inglés Joseph Black (1728-99) demostró la existencia de una sustancia gaseosa a la que denominó aire fijado (dióxido de carbono) que tenía propiedades diferentes a las del aire. Demostró que el carbonato de magnesio, y los carbonatos en general, estaban formados por un óxido metálico y por aire fijado. Este nuevo gas no permitía ni la llama ni la respiración.

En 1776, el científico autónomo inglés Henry Cavendish descubrió otro gas, el aire inflamable (Hidrógeno), mejorando la cubeta neumática de Hales para separar gases. En la misma década de 1770, el químico inglés Joseph Priestley descubrió varios gases: amoníaco, ácido hidrocórico, óxido nitroso, óxido nítrico, dióxido de nitrógeno, nitrógeno, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y oxígeno [4]. Aunque éste último fue también descubierto simultánea e independientemente por el sueco Carl Scheele (1742-86). Priestley llamó aire desflogisticado al oxígeno por su mayor capacidad de absorber el flogisto, lo obtuvo calentando fuertemente las cenizas rojas del mercurio. Pero esto representaba un nuevo, y decisivo, problema: de acuerdo con la teoría del flogisto el mercurio debía de estar formado por cal de mercurio y flogisto, por tanto, no había forma de justificar la aparición de un gas al calentar las cenizas del mercurio. Aunque el ensayo era crucial, Priestley no acabó de comprender lo que ocurría. Afortunadamente, relató su experimento a Lavoisier que si captó la trascendencia del mismo.

### 4.4 Lavoisier y el triunfo de la medida

Prácticamente todos los historiadores de la ciencia coinciden en que Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) fue el científico más implicado en la constitución de la moderna química científica [1]. Una constitución que presenta los síntomas propios de lo que hoy entendemos por revolución científica: estado de crisis, creación de un nuevo paradigma, conflictos en la comunidad científica. Algunos autores hablan incluso de una segunda revolución científica cuando califican los trabajos de Lavoisier y sus contemporáneos. El propio Lavoisier se planteó, hacia 1772, el reto de transformar -revolucionar- la química de su época. El éxito de su trabajo tiene mucho que ver con su rigurosa metodología experimental y con la precisión y exhaustividad de sus medidas.

Entre 1766 y 1768 asestó un duro golpe a la teoría de la transmutación de los elementos, demostrando, tras un experimento de más de 100 días, que la tierra que aparecía en el fondo de los recipientes donde se había estado calentado agua no era tierra procedente de la transmutación de aquella, sino simplemente partículas del recipiente desprendidas durante el proceso. Para ello le bastó con realizar las correspondientes medidas antes y después de todos los elementos de la experiencia, incluyendo al propio recipiente.

Hacia 1772 empezó a interesarse por la combustión, el gran problema de la química del XVIII. Calcinó metales como el plomo y el estaño en recipientes cerrados y, por tanto, con una cantidad fija de aire. Como ha quedado dicho, uno de los problemas de la

teoría del flogisto era explicar el aumento de peso de la cal metálica obtenida con la calcinación. Lavoisier, tras pesar todos los elementos participantes en el proceso, incluyendo el aire, demostró que el peso conjunto de todos los elementos se mantenía constante. Así que el aumento de peso de la cal tenía que ser contrarrestada por la pérdida de peso de algún otro elemento. Demostró que ese elemento era el aire, porque creaba un cierto vacío en el interior del recipiente. De esta forma, fue capaz de explicar la combustión como un proceso de combinación del metal con el aire, en lugar de la descomposición de aquel en su cal y en el flogisto como era comúnmente aceptado.

Pero la explicación no era completamente satisfactoria. En efecto, no todo el aire se combinaba con los metales para formar el calcinado, sólo lo hacía una quinta parte aproximadamente. ¿Cómo explicar este hecho? Como se ha señalado más arriba, en 1774 Lavoisier recibió en París la visita de J. Priestley, quien le explicó sus experimentos con la cal de mercurio y la consiguiente obtención de su aire desflogisticado. Lavoisier comprendió enseguida lo que ocurría. Repitió personalmente el experimento con su rigor característico, e interpretó los resultados con su nueva teoría de la combustión. Comprendió que el aire desflogisticado era un nuevo gas -al que él mismo denominó oxígeno- componente del aire, que, por tanto, dejaba de ser una sustancia simple para convertirse en una mezcla de gases. El oxígeno era precisamente esa quinta parte del aire que se combinaba con los metales durante la combustión, y que podía de nuevo abandonarlos cuando se calentaban intensamente los correspondientes calcinados u óxidos. El flogisto tenía, por entonces, los días contados.

En 1783 recibió la visita del ayudante de Cavendish, quien le informó de un experimento de su jefe en el que había obtenido agua a partir de hidrógeno y oxígeno. Lavoisier realizó entonces un experimento parecido con el que pudo confirmar que el agua tampoco era una sustancia simple, sino un compuesto de hidrógeno y oxígeno. Este

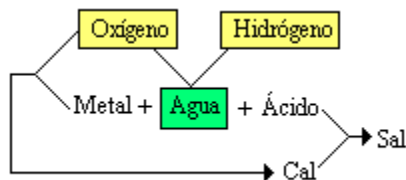


Figura 1. El agua no es un elemento simple.

hecho le sirvió para explicar una de las objeciones que se le hacía a su teoría. En efecto, los metales se disolvían en los ácidos produciendo hidrógeno y una sal; la misma sal que se producía al disolver la cal del metal en el ácido, aunque ahora sin liberar hidrógeno.

La teoría del flogisto explicaba los hechos sin más que considerar que el hidrógeno era el propio flogisto. La teoría de Lavoisier no podía explicar estos hechos si el agua era, como se suponía, un

elemento simple. Sin embargo, en cuanto Lavoisier supo que el agua era un compuesto de hidrógeno y oxígeno encontró la explicación apropiada: el metal toma oxígeno del agua para formar la cal que después reacciona con el ácido y produce la sal, mientras que el hidrógeno queda liberado (Figura 1).

En este momento la teoría de Lavoisier cubría prácticamente todos los hechos químicos conocidos de una forma más satisfactoria que la teoría del flogisto. La tierra, el agua, el aire y el fuego no eran los elementos simples que se suponía. La combustión era en realidad una reacción de combinación, no de descomposición. La precisión de sus medidas le llevó a establecer de una forma explícita la ley de la conservación de la masa. Propuso una concepción operativa de elemento químico al considerarlos como las entidades materiales, sencillas e indivisibles, que forman los cuerpos. Quedaba, sin embargo, establecer un sistema de nomenclatura universal y unificador con el que dotar a la química con la necesaria cohesión interna.

A partir de 1784 acometió la tarea de establecer esa nomenclatura química universal, basada en principios lógicos y derivados de los hechos químicos. Ya lo habían intentado

sin éxito T. Bergman y G. de Morveau. Lavoisier, influido por las lecturas de E. de Condillac, era consciente de la importancia del lenguaje en la formación de las ideas, y nada mejor que un nuevo lenguaje para romper con el pasado e instaurar la nueva época de la química. En pocos meses la colaboración de G. de Morveau, Lavoisier, Berthollet y Furcroy dio como resultado el *Método de Nomenclatura Química*. Básicamente una forma de nombrar las sustancias basada en la lógica de su composición: palabras sencillas para designar las sustancias simples y palabras compuestas (yuxtaposición de palabras simples) para designar sustancias compuestas; los sufijos eran usados para referirse a la proporción de los componentes. Finalmente, en 1789 Lavoisier con su Tratado Elemental de Química hizo asequible la nueva química a todos los públicos. Ignorando todo lo anterior, este tratado parte de las nuevas ideas e inaugura una nueva etapa en la historia de la química.

#### **4.5 Afinidad química, proporciones definidas y teoría atómica**

La superación de la controversia sobre la afinidad química, hacia 1832, supone el último y definitivo paso hacia la constitución de la química moderna.. El problema de la afinidad surge de los aspectos físicos de las reacciones químicas. Tiene que ver con las “preferencias” o “simpatías” de unas sustancias por otras y con las proporciones en que se unen los componentes sencillos en las sustancias compuestas. Era bien conocido que una tercera sustancia podía desplazar a otra de un compuesto. Incluso se elaboraron tablas de preferencias (afinidades) relativas [12]. Pero había que explicar las causas de estas uniones diferenciales. Lavoisier no trató este aspecto de las reacciones químicas, lo dejó en manos de sus colaboradores y seguidores. Entre ellos el químico Claude Louis Berthollet (1748-1822) representante destacado de una de las posiciones en la disputa. Interesado como estuvo en ciertos problemas de química industrial (producción de salitre) abordó problemas cuantitativos de las reacciones químicas. En realidad se interesó mas por el proceso que por los productos. Era de la opinión de que la composición de los compuestos químicos era infinitamente variable, dependiendo el resultado final de lo que él llamó medio reactivo: concentraciones de los reactivos, temperatura, solubilidades relativas, etc.

La otra posición era liderada por Joseph Louis Proust (1754-1826), otro químico francés, aunque en este caso trabajó en Madrid. Hacia 1799 Proust demostró mediante experimentos muy cuidadosos que todos los compuestos estaban formados por las mismas proporciones de sus constituyentes sencillos, con independencia de la forma de obtenerlas y del origen natural de los materiales empleados. Pero la pureza de los reactivos y la precisión experimental de la época permitía que los resultados obtenidos por unos y otros pudieran ser interpretados de acuerdo con las pretensiones de sus autores.

Finalmente, en 1832 L. J. Thénard y J. L. Gay-Lussac propusieron una interpretación de los equilibrios químicos de Berthollet que al mismo tiempo respetaba las proporciones definidas de Proust. Distinguieron, por una parte el enlace químico responsable de las proporciones definidas de los productos sencillos en las sustancias compuestas, y por otra la incompletitud de las reacciones que producen mezclas muy variables de reactivos y de productos de la reacción, variedad que depende, como demostró Berthollet, del medio reactivo. Esta solución abrió, a su vez, las puertas de la química al atomismo bajo el impulso inicial del químico inglés John Dalton (1766-1844), iniciándose, ahora sí, la

nueva etapa científica de la química moderna.

### **5 Conclusiones: ¿Hubo alguna vez una revolución en la química?**

Desde que T. S. Kuhn transformara y precisara el término, por revolución científica se entiende un modelo de cambio científico en el que una concepción de la naturaleza (o parte de ella) se sustituye por otra [8]. Otra cuestión es la Revolución Científica, un periodo especialmente importante de la historia de la ciencia (siglos XVI-XVII) en el que, además de revoluciones “kuhnianas” en diferentes áreas del conocimiento científico, se produjo un cambio irreversible en las interacciones entre la ciencia y la sociedad. El pensamiento químico quedó inicialmente fuera de la Revolución Científica. El propio Newton fracasó en su búsqueda de una concepción de la materia que estuviese a la altura de su mecánica, tal como se refleja en sus famosos “Queries” de su Óptica [10].

Como se ha visto en las páginas precedentes, fue necesario encontrar una concepción adecuada de la materia que permitiera explicar los aspectos cualitativos y cuantitativos de sus transformaciones. La divisibilidad aparentemente sin fin de la materia la hacía el lugar ideal para esconder toda clase de fuerzas y espíritus ocultos. Las enormes dificultades para repetir experimentos bajo las mismas condiciones -cuestión imprescindible para la validez de las conclusiones- permitieron la interpretación arbitraria de los resultados. Así que el primer gran paso hacia la química científica fue el desarrollo de una rigurosa metodología experimental, basada en gran parte en la precisión de las medidas, responsable de una de las leyes básicas de la química, la ley de la conservación de la masa. El largo y costoso estudio de los procesos de combustión y otros relacionados, permitió por fin encontrar la referencia integradora de los hechos químicos, imprescindible para la constitución de la química como ciencia moderna e independiente. A ello ayudó de manera importante el establecimiento de una nomenclatura química sensata y universal, que puso el orden imprescindible en la expresión y transmisión del pensamiento químico.

La investigación química que culmina en la obra de Lavoisier, representa ese cambio en el que muchos autores [1] ven todos los síntomas de una revolución científica: crisis, cambio de paradigma, división en el seno de la comunidad científica [8]. Algunos historiadores [1] hablan incluso de una segunda revolución científica al referirse a los cambios experimentados en la química durante el siglo XVIII. El impulso final dado por la controversia de la afinidad y las proporciones definidas, reunió en el mismo cuerpo de doctrina la física de las interacciones mecánicas y la especificidad de las uniones químicas, abriendo las puertas del atomismo e inaugurando definitivamente la nueva era de la química moderna. Termina, pues, imponiéndose la concepción atómica de la materia frente a la concepción aristotélica, que había estado dominando durante más de 20 siglos. Aunque, como es sabido, las ideas atomistas fueron anteriores a las aristotélicas.

## **Bibliografía**

(utilizada y parcialmente referenciada)

- [1] Bensaude-Vincent, B. Lavoisier: una revolución científica. En Historia de las Ciencias, Ed. M. Serres (Cátedra, Madrid, 1991).
- [2] Harré, R. Grandes experimentos científicos (Labor, Barcelona, 1986).
- [3] Hirschberger, J. Historia de la Filosofía (Herder, Barcelona, 1975).
- [4] Kearney, H. Orígenes de la ciencia moderna (Guadarrama, Madrid 1970).
- [5] Lavoisier, A. L. Tratado elemental de química (Alfaguara, Madrid, 1982).
- [6] López Piñero, J. M. La ciencia en la historia hispánica (Salvat, Barcelona, 1982).
- [7] López Piñero, J.M., Navarro, V. Y Portela, E. La Revolución Científica (Historia 16, Madrid, 1989).
- [8] Losee, J. Introducción histórica a la filosofía de la ciencia (Alianza, Madrid, 1987).
- [9] Mason, S. F. Historia de las Ciencias, vol. 2, 3 y 4. (Alianza, Madrid, 1985).
- [10] Newton I. Opticks (Dover Publications Inc. New York, 1979).
- [11] Sellés, M. Y Solís, C. La Revolución Científica (Síntesis, Madrid, 1994).
- [12] Stengers, I. La afinidad ambigua: el sueño newtoniano de la química del siglo XVIII. En Historia de las Ciencias, Ed. M. Serres (Cátedra, Madrid, 1991).
- [13] Taton, R Historia General de las Ciencias, vol 5 y vol 6. (Orbis, Barcelona, 1988).