

Pablo Melogno
Pablo Rodríguez · Salomé Fernández
(compiladores)

Elementos de Historia de la Ciencia



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Pablo Melogno
Pablo Rodríguez · Salomé Fernández
(compiladores)

Elementos de Historia de la Ciencia

La publicación de este libro fue realizada con el apoyo de la Comisión Sectorial de Enseñanza (CSE) de la Universidad de la República.

© Los autores, 2011.

© Universidad de la República, 2011

Departamento de Publicaciones, Unidad de Comunicación de la Universidad de la República (UCUR)

José Enrique Rodó 1827 - Montevideo CP: 11200

Tels.: (+598) 2408 57 14 - (+598) 2408 29 06

Telefax: (+598) 2409 77 20

www.universidadur.edu.uy/bibliotecas/dpto_publicaciones.htm

infoed@edic.edu.uy

ISBN: 978-9974-0-0760-4

11. Antonie-Laurent Lavoisier (1743?-1794) y la química del siglo XVIII

I. Presentación

Hablar de Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) era, hasta hace poco tiempo, hablar del «padre de la química moderna», del «primer» formulador de la ley de la conservación de la materia, del «inventor» de la balanza, del «vencedor» de la teoría del flogisto, y del aguerrido combatiente que consiguió, luchando «en solitario» hasta el agotamiento contra viento y marea, cambiar la «oscura» tradición alquímica que mantenía en las más profundas tinieblas al resto del universo. Además, su trágica muerte lo convirtió en un mito, agrandado por la labor, casi hagiográfica, que muchos de sus sucesores realizaron de él. Pero la realidad no fue exactamente así. Es bien cierto que el trabajo de Lavoisier consistió, según sus propias palabras, en el inicio de «una revolución en física y en química» (frase anotada por Lavoisier en su cuaderno de laboratorio el 21 de febrero de 1773; Bensaude-Vincent, 1993: 127), pero su vida y su obra han sido revisadas últimamente desde un nuevo punto de vista, que ha mostrado su auténtica dimensión. En este trabajo se muestra la figura real de Lavoisier, explicando por qué mantuvo en secreto un descubrimiento importantísimo durante muchos meses en 1772, qué quiso decir en 1773 cuando habló de dicha revolución, cuál fue su papel en ella, y con qué poderosas ayudas contaba para convertirse en el científico brillante que realmente fue. Asimismo, se muestra su honda preocupación por mejorar los aspectos docentes de la química de su época, que, si bien era una ciencia reconocida y útil, mostraba algunas carencias que Lavoisier intentó —y consiguió— solucionar. Para elaborar este capítulo, se han consultado algunas de las obras originales de Lavoisier, así como los estudios que varios historiadores de la química han realizado sobre él a lo largo del tiempo. Parte de este trabajo está basado en otras publicaciones de la autora (Pellón, 2002a y 2002b), pero ahora, como novedad, se ha profundizado en algunos aspectos de la revolución pedagógica que Lavoisier buscaba, a la vez que reformaba la doctrina química establecida, y participaba en la revolución

política que acabó con su vida. Esperemos que a nosotros, docentes del siglo XXI, la vida y la obra de este genial químico ilustrado nos pueda servir de ayuda en nuestro quehacer diario.

II. Un triángulo singular: Lavoisier, ciencia y sociedad

Cuando nació Lavoisier, la estructura social francesa era una pirámide, en cuyo vértice se encontraba la familia real, sostenida por tres órdenes feudales: el Primer Estado (clero), el Segundo Estado (nobleza), y el Tercer Estado, formado por los comerciantes, banqueros, médicos, abogados, artesanos y campesinos, es decir, por el resto de la sociedad. Según este modelo, el clero instruiría a las personas en los aspectos espirituales y culturales, la nobleza defendería al país ante sus enemigos externos e internos, y el Tercer Estado, que tenía derecho a ser instruido por la Iglesia y a ser defendido por la nobleza, debía sostener a ambos grupos y a la realeza con su trabajo y con los impuestos.

El rey Luis XVI (1754-1793) heredó de su abuelo Luis XV (1710-1774) un país en el que imperaban el mal gobierno y las intrigas, y cuando en 1778 Francia entró en la guerra de la independencia americana al lado de los colonos sublevados, el coste económico del conflicto desgastó completamente al país. A finales del siglo, los dos primeros grupos sociales continuaban manteniendo sus privilegios, y el pueblo llano pagaba cada vez más impuestos, por lo que su situación económica empeoraba trágica y progresivamente. Esta desigualdad, unida a otros muchos factores, produjo de forma irreversible el conflicto denominado *Revolución Francesa*, que tuvo lugar paralelamente a la revolución química que protagonizaron los químicos galos.

Lavoisier nació el 26 de agosto de 1743 en París. Su padre, abogado, trabajaba como procurador en el Parlamento parisino, y su madre, Émilie Punctis, que pertenecía a una familia de juristas de posición acomodada, falleció cuando él tenía cinco años. El niño estudió como alumno externo en el prestigioso *Collège des Quatre Nations*, más conocido por el nombre de su protector, el cardenal Jules Mazarin (1602-1661), y durante los nueve años que permaneció en él, cursó, entre otras asignaturas, lengua, literatura, filosofía, matemáticas y física. Al finalizar el colegio en 1761 inició los estudios de derecho, en los que se licenció en 1764, y continuó con una formación multidisciplinar que incluía clases de física con el abate Nollet (1700-1770), de botánica con Bernard de Jussieu (1699-1777) en el *Jardin du Roy* (actual *Jardin des Plantes*), y de química con Guillaume François Rouelle (1703-1770). Además, aprendió mineralogía con Jean-Étienne Guettard (1715-1786), amigo de su padre, conservador del gabinete de Historia Natural del duque de Orleans, y miembro de la prestigiosa Real Academia de Ciencias de París.

En esta época, dicha Academia de Ciencias era el principal foco de luz que iluminaba al mundo, que ahora se analizaba a través de «las luces» que proporcionaba el razonamiento. Este fenómeno, denominado «Ilustración», tuvo su origen en el perfeccionamiento de las ciencias experimentales que generó la revolución científica producida en el siglo XVII, y suponía que el conocimiento profundo de los fenómenos sería el que eliminaría las supersticiones y la ignorancia, y ayudaría al progreso de la sociedad. Con este objetivo se investigaron las numerosas aplicaciones de la ciencia a la técnica y a los distintos modos de fabricación, entre otras razones, para obtener beneficios económicos. Todas las ramas de la ciencia crecieron; a la luz de las ideas de Isaac Newton (1642-1727) y de otros científicos, se pudo estudiar la naturaleza según un modelo mecánico muy sencillo, y sobre todo, fundamentado en la razón. La mejora de las ciencias físicas y matemáticas ayudó al auge del

cálculo astronómico, así como al perfeccionamiento de la óptica, la dinámica, la hidrodinámica, la electricidad y el magnetismo. Linneo transformó los estudios de botánica, y cada vez eran más numerosos los minerales que se descubrían y analizaban. Para potenciar todo esto, los distintos gobiernos, entre otras medidas, fundaron academias e instituciones docentes e investigadoras, en las que se impulsó el estudio de la ciencia. Los científicos adquirieron un gran prestigio, y «hacer ciencia» se puso de moda. También se generó la necesidad de intercomunicación entre ellos, así que, además de florecer como nunca la publicación de libros, nació el periodismo científico, vehículo perfecto con el que se favoreció la transmisión de las ideas y las teorías (Puerto, 2001).

Lavoisier no fue ajeno a este movimiento, y sobre todo admiraba el orden y el método de las matemáticas. Pero en 1767 realizó, junto con Guettard, un viaje científico de cuatro meses a la cordillera de los Vosgos, sistema montañoso situado en el nordeste de Francia. Sus objetivos eran medir alturas de montañas, espesores y direcciones de estratos, y trazar diferentes planos de la zona. Además, efectuaron numerosos análisis de aguas minerales, ayudados por un laboratorio químico portátil; para Guettard, la química sólo era una ciencia auxiliar al servicio de la mineralogía, pero consiguió deslumbrar al joven Lavoisier, quien pronto la convertiría en el centro de su universo científico. Los resultados de su trabajo fueron presentados ante la Academia de Ciencias en febrero de 1765, cuando Lavoisier tenía 21 años, y entre ellos se encontraban las dos primeras memorias de carácter químico que escribiría, que trataban sobre la composición y la solubilidad del yeso. La primera de ellas fue también su primera publicación impresa (Lavoisier, 1768).

Pero este no era el primer contacto de Lavoisier con la Academia, de la que deseaba formar parte desde su juventud. En 1764 ya había presentado un proyecto para alumbrar las calles de la capital francesa de forma eficaz y económica, al participar en un concurso auspiciado por ella. A pesar de no obtener el premio, el rey Luis XVI le concedió, en sesión pública de la Academia celebrada el 9 de abril de 1766, una distinción especial por ser la monografía que presentaba el mejor tratamiento teórico del tema. En 1768 fue admitido como «adjunto químico supernumerario», y en 1772, obtuvo la categoría de «asociado». A partir de este momento, utilizaría los numerosos y poderosos recursos que le proporcionaba su pertenencia a la Academia, para desarrollar una brillante carrera científica.

De acuerdo con la educación que recibió en su familia, Lavoisier fue un fiel servidor de la monarquía. En 1768, con una herencia familiar que había recibido dos años antes, compró una acción de la *Ferme Générale*, empresa privada contratada por el Estado francés para recaudar los impuestos indirectos (la sal, el tabaco, las bebidas...), y para combatir el contrabando. Su sistema de cobro de impuestos posibilitaba los abusos, por lo que los que trabajaban para ella, denominados «fermiers», no eran muy queridos. Sin embargo, gracias a ella, Lavoisier pudo realizar una fructífera actividad en la administración pública, porque poseía una inmensa capacidad de trabajo. Su jornada laboral comenzaba a las seis de la mañana en el laboratorio, en el que permanecía hasta las ocho; realizaba trabajo administrativo el resto del día, y volvía al laboratorio de 19 a 22 horas. También dedicaba el fin de semana completo a la investigación química, y con los ingresos que le producía la *Ferme*, Lavoisier pudo adquirir carísimos instrumentos para dotar sus magníficos laboratorios, así como adquirir costosos libros. En 1771 se casó con Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), única hija de uno de los directores generales de la *Ferme*, cuando él tenía 28 años, y ella casi catorce. Marie-Anne pronto se convirtió en su cómplice, secretaria y colaboradora, y gracias a su ayuda tuvo conocimiento de los escritos de Priestley, Cavendish y Kirwan, porque era ella

quien traducía al francés las obras científicas inglesas, lengua que Lavoisier no hablaba. Por ejemplo, Marie-Anne tradujo un texto de Richard Kirwan dedicado al estudio del flogisto y a la constitución de los ácidos, que fue publicado en francés en 1788, con anotaciones de Lavoisier y sus colaboradores (Kirwan, 1784). Marie-Anne participaba habitualmente en las reuniones semanales de su esposo con otros científicos, recibió clases del pintor Jacques-Louis David (1748-1825), y fue la autora de los dibujos que ilustran los grabados del famoso *Tratado elemental de Química*, (Lavoisier, 1789), así como los de los experimentos sobre la respiración que realizó su marido junto con Armand Séguin.

Pero la situación en la que se encontraba la ciencia química en la segunda mitad del siglo XVIII era un poco menos afortunada que la del resto de disciplinas científicas, a pesar de que en esta época se habían perfeccionado los procedimientos de síntesis de numerosos compuestos de uso comercial, había aumentado el número de sustancias con las que se trabajaba en el laboratorio, y se había conseguido identificar una gran cantidad de gases, así como simplificar su manipulación en el laboratorio. Era una ciencia fructífera, que se encontraba al servicio de otras disciplinas como la medicina, la farmacia o la geología, pero que, a pesar de todo, presentaba algunas deficiencias. Por ejemplo, no existía un modelo teórico que explicara de forma completa los hechos experimentales, ni un lenguaje sistemático y concreto que sirviera como herramienta de comunicación entre los químicos.

Esta situación quedó claramente expuesta en la *Encyclopédie* (Diderot; d'Alembert, 1751-1768), obra monumental de la Ilustración. Estaba estructurada de forma alfabética por temas, y se convirtió en el modo de expresión de las ideas ilustradas, reflejando la situación de la ciencia y la técnica de la época. Como interpretaba el mundo desde un punto de vista racional, su publicación produjo el rechazo del clero y de los gobiernos tradicionales, así como bastantes discusiones entre sus partidarios y sus detractores (Branchi, 1999). Para Gago (1982), la imagen de la química que mostraba la *Encyclopédie* era bastante inferior a la que mostraban el resto de las disciplinas, y según Gabriel-François Venel, artífice de la mayoría de los términos químicos en 1753, se hacía necesaria la llegada de un químico «hábil, entusiasta y atrevido», que elevara su nivel hasta el que tenían las demás materias. Es decir, desde 1753 se esperaba una revolución en el sistema teórico que estaba vigente en la química, así que la que se produjo fue, por lo tanto, una «revolución anunciada».

Desde hacía tiempo se intentaba encontrar una explicación al mecanismo de la acción del fuego sobre las sustancias, fenómeno por el que los materiales combustibles como el carbón o el azufre ardían desprendiendo llamas y calor, y los metales se transformaban en sustancias completamente diferentes, llamadas «cales» (nuestros actuales óxidos metálicos). Para ello, Johann Joachim Becher (1635-1682) imaginó en 1669 la existencia en el interior de las materias de una tierra inflamable (*terra pinguis*), que explicaba la combustibilidad. Esta idea se transformó en la *teoría del flogisto* gracias al médico Georg Ernst Stahl (1660-1734), quien supuso que todos los metales y los cuerpos combustibles contenían un principio común, el *flogisto* (del griego, «llama»), idéntico en todos, que se eliminaba durante la combustión o calcinación, y podía transmitirse de un cuerpo a otro, porque unas sustancias eran ricas en él, y otras, escasas. Así las «cales», pobres en flogisto, se transformaban en metales si captaban el flogisto proveniente de sustancias ricas en ese principio, como el carbón de leña, el aceite, etcétera, calentadas junto a ellas. De acuerdo con esta teoría, la reacción que se producía era:



El flogisto también explicaba la reacción inversa; los metales, ricos en flogisto, expulsaban este principio al aire cuando se calcinaban. El flogisto era invisible, se encontraba oculto, se podía transmitir de un cuerpo a otro, y no podía obtenerse en estado puro, porque siempre formaba combinaciones. Explicaba bien casi todas estas reacciones, aunque algunos detalles experimentales se ajustaban a esta concepción de una forma artificial. Por ejemplo, el hecho de que los metales aumentaran de peso durante la calcinación, a pesar de que durante ese proceso se perdía flogisto, se justificaba admitiendo para dicha sustancia un peso negativo. A pesar de que estaba claro de que algo fallaba en esta teoría, la mayoría de los químicos franceses la adoptaron aproximadamente a partir de 1750, y quedó reflejada en los textos de la época, como en las lecciones de Guillaume François Rouelle, profesor de química de los estudiantes de medicina y farmacia en el *Jardín du Roi* en París (Brock, 1998), o en el libro de texto del médico Pierre Joseph Macquer (1718-1784) (Macquer, 1749), del que se publicaron varias ediciones en 1751, 1753 y 1756, y se tradujo al inglés en 1756 y 1758. Hasta este momento, nadie imaginaba el papel fundamental que ejercía el oxígeno en las combustiones, porque no se tenía en consideración al estado gaseoso. Pero a lo largo del siglo XVIII se mejoraron las técnicas para estudiar las propiedades de estos compuestos, y comenzó su estudio en profundidad. Gracias al aparato inventado por Stephen Hales (1677-1761), denominado «cajón neumático» o cuba hidroneumática, se pudo recuperar el gas producido en una reacción química, e incluso realizar medidas cuantitativas de estos productos. En su obra *Vegetable Staticks* (Hales, 1727), Hales concluía que el «aire» (gas) podía existir «fijo» en algunas sustancias, y ser desprendido al reaccionar éstas entre sí. El funcionamiento de su invento era muy sencillo. Al calentar o quemar distintas sustancias, los gases desprendidos pasaban por un tubo acodado hasta un recipiente lleno de agua. Las burbujas de gas eran recuperadas en un balón de vidrio, que se encontraba medio sumergido de forma invertida en el recipiente con agua (Ihde, 1984). Así, en las décadas de 1760 y 1770 se desarrolló en toda Europa la denominada «química neumática», cuyo principal objetivo era recoger e identificar los gases producidos en las reacciones, tarea en la que destacaron los químicos ingleses, sobre todo el teólogo y químico Joseph Priestley (1733-1804). Ellos realizaron un excelente trabajo de química experimental y cuantitativa, y utilizaron diferentes aparatos de laboratorio de forma sistemática y exacta, como los eudiómetros. En este momento se pudo efectuar el análisis volumétrico de determinadas mezclas gaseosas, o la síntesis de ciertos compuestos gaseosos, a partir de mezclas de otros gases en cuyo seno se hacía saltar una chispa eléctrica. A pesar de la importancia de sus hallazgos, los ingleses mostraron su trabajo de una forma modesta, sin la intención de encabezar ninguna «revolución química» ni de formar una nueva teoría, ya que la teoría del flogisto, de momento, lo explicaba todo de forma más o menos satisfactoria.

En un principio, los químicos franceses no vieron la importancia del papel de los gases en las reacciones, porque todavía consideraban que el aire atmosférico era una materia inerte, «un simple receptáculo de las exhalaciones» (Poirier, 2006). Sin embargo, a principios de 1770, Jean Charles Philibert Trudaine de Montigny (1733-1777), director del *Bureau du Commerce* de París y miembro de la Academia, encargó a Joao Hyacintho de Magalhaens (o Magellan) (1722-1790), portugués afincado en Inglaterra y amigo de varios científicos como Franklin o Watt, que le comunicase cuáles eran las últimas novedades inglesas. Magalhaens informó a Macquer de los trabajos de Priestley en marzo de 1772, Macquer los expuso ante la Academia el 1 de abril de dicho año, y el 14 de julio, Trudaine encargó a Lavoisier que repitiera las experiencias de Priestley. Así se inició su interés por los gases, a la vez que abría

otras líneas de investigación, como los fenómenos de la combustión. El 20 de octubre de 1772 entregó al secretario de la Academia sus resultados sobre varios experimentos que había realizado al quemar fósforo, en los que mostraba que el producto de la reacción (anhídrido fosfórico) pesaba más que el fósforo inicial, conclusión que contradecía a la teoría del flogisto. El 1 de noviembre de 1772, Lavoisier confió al Secretario de la Academia un sobre lacrado, con la instrucción expresa de que no fuera abierto hasta que él se lo indicara. Este hecho ocurrió el 5 de mayo de 1773. Cuando el secretario abrió dicho sobre, se encontró en su interior una nota en la que el autor indicaba, por triplicado, que había realizado un importante descubrimiento, exponía una interpretación teórica del fenómeno que describía, lo confirmaba, e incluso generalizaba su teoría a todos los fenómenos similares, que eran las combustiones. Lavoisier resumía, en unas breves líneas, lo que se puede considerar el paradigma del método experimental (observación de unos hechos, enunciación de una hipótesis, verificación de la misma, elaboración de unas conclusiones...). Este pliego lacrado es un ejemplo perfecto del concepto de revolución científica, porque un único investigador, en una sola página, convulsionó las ideas formalmente establecidas a lo largo de toda una época (Brock, 1998; Gago, 1982). En el pliego ponía (Bensaude-Vincent, 1993: 117-8):

Hace ocho días que he descubierto que el azufre al arder, lejos de perder su peso, le ocurre lo contrario; es decir, que de una libra de azufre se puede obtener mucho más que una libra de ácido vitriólico [sulfúrico], abstracción hecha de la humedad del aire; al igual que con el fósforo: este aumento de peso proviene de una cantidad prodigiosa de aire que se fija durante la combustión y que se combina con los vapores.

Este descubrimiento, que he constatado con experimentos que me parecen decisivos, me hace pensar que lo que se observa en la combustión del azufre y del fósforo podía muy bien tener lugar en todos los cuerpos que adquieren peso por la combustión y la calcinación; y estoy persuadido de que el aumento de peso de las cales metálicas [óxidos metálicos] tiene la misma causa. La experiencia ha confirmado totalmente mis conjeturas; he hecho la reducción del litargirio [óxido de plomo (II)] en recipientes cerrados, con el aparato de Hales, y he observado que se desprendía, en el momento en que pasaba la cal a metal, una cantidad considerable de aire que formaba un volumen mil veces mayor que el de la cantidad de litargirio empleada. Este descubrimiento me ha parecido uno de los más importantes de los que se han hecho desde Stahl, [por lo que] he creído que debía asegurarme su propiedad, haciendo el presente depósito en la Academia, para que permanezca secreto hasta el momento en que publique mis experimentos.

En París, el 1^o de noviembre [de] 1772.

[Firmado:] Lavoisier

Lavoisier no fue quien descubrió que se producía un aumento de peso al calcinar un metal, porque este hecho se conocía desde el siglo XVII; su genialidad consistió en transformar un aspecto del fenómeno al que no se le había dado la menor importancia hasta entonces, en el centro del problema. Lavoisier supo ver que dicho aumento de peso no era una pérdida de flogisto, sino la ganancia de algo, que todavía se tenía que descubrir en qué consistía, pero que estaba relacionado de alguna manera con el aire atmosférico. En un principio, Lavoisier no pretendía desbancar la teoría del flogisto, sino completarla, y en la memoria depositada en la Academia el 20 de octubre de 1772, se puede apreciar que no estaba en realidad preocupado por la combustión en sí, sino por la formación del producto de la reacción. Pero a partir del 1 de noviembre cambió su perspectiva, y por eso quiso mantener en secreto sus investigaciones, porque se daba cuenta de la trascendencia de sus resultados.

En abril de 1773, Lavoisier propuso una nueva teoría de la calcinación, y su cambio de mentalidad puede apreciarse en el nuevo cuaderno de laboratorio que inició en febrero de dicho año (1773), donde expuso la serie de experimentos que se proponía realizar, y

afirmaba que éstos provocarían «una revolución en física y en química» (Bensaude-Vincent, 1993). A partir de este momento, el aumento de peso dejó de ser «un hecho maravilloso de la química», para convertirse en «un efecto singular que los físicos no han explicado todavía». Según el propio Lavoisier, «es probable que el estudio más profundo de los fenómenos del aire fijo [CO₂] conducirán a esta ciencia [la química] a la época de una revolución casi completa.» (Bensaude-Vincent, 1993: 136).

En febrero de 1773, Lavoisier diseñó un plan de trabajo para investigar la actuación de los gases en las reacciones químicas, y el fruto de su labor cristalizó en el libro *Opúsculos físicos y químicos* (Lavoisier, 1774). Su organización es muy parecida a la que presentan las publicaciones científicas actuales. En su introducción revisa el tema a tratar, planteando el estado de la cuestión y los objetivos que desea conseguir; continúa con la descripción de la metodología empleada y el material utilizado, y finaliza con la exposición de los resultados y su posterior discusión. También incluye una serie de láminas que reflejan los aparatos de laboratorio que había utilizado para realizar sus investigaciones, en las que se pueden apreciar las novedades que él mismo había ideado, para trabajar con un material tan escurridizo como los gases. La reseña de esta obra fue encargada por orden de la Academia a Trudaine, Macquer, Le Roy y Cadet, y en ella indicaban que «él ha sometido todos sus resultados a la medición, al cálculo y a la balanza: método riguroso que, felizmente para la química, comienza a ser indispensable en la práctica de esta ciencia.» (Gago, 1982).

A lo largo de 1774, la mayor parte de sus trabajos se enfocaron hacia el estudio de la calcinación de los metales, y a la reducción de sus óxidos con carbón. Repitió los experimentos que habían realizado Boyle y Priestley, quienes habían calcinado estaño en un recipiente hermético, y al abrirlo pesaba más que al inicio. Hasta entonces se suponía que el aumento de peso detectado se debía a las «partículas de fuego» que atravesaban la retorta y llegaban hasta el metal, pero Lavoisier, desechando esta hipótesis, pesó el conjunto antes y después de abrir la vasija, y descubrió que el aumento de peso era proporcional al volumen del recipiente. Estaba claro que la cal metálica formada dependía de algo que contenía el aire atmosférico, pero, ¿qué era esa sustancia? En octubre de 1774, Priestley viajó a París, y le comunicó que había realizado varios trabajos con óxido de mercurio, y había obtenido una «nueva clase de aire», que tenía la propiedad de facilitar la combustión mucho más que el aire atmosférico, y al que denominó «aire desflogisticado». Priestley no publicó sus resultados hasta 1777, y Scheele, quien también lo había descubierto, hasta 1778. Lavoisier inició sus experimentos con el óxido de mercurio en noviembre de 1774, y los expuso el 2 de abril de 1775 en el trabajo titulado «Memoria sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y los aumenta de peso». En ella denominó al gas que favorecía tanto la combustión «aire atmosférico muy puro», y más adelante, «la parte más salubre y más pura del aire», y «aire eminentemente respirable», y que era lo que más tarde llamaría oxígeno. Estas nuevas denominaciones estaban basadas en los descubrimientos que había realizado Priestley sobre dicho gas, pero fue Lavoisier quien supo interpretar correctamente su papel en la combustión y en la calcinación. Por ello se suele decir que Lavoisier lo «redescubrió», y que fue él quien se dio cuenta de que el aire no era una materia simple, sino que estaba formada de, al menos, dos partes, una respirable (el oxígeno), y otra que no lo era, a la que denominó «mofeta» (el nitrógeno), de la que dijo que, probablemente, tampoco era una sustancia simple, sino compuesta (Gago, 1982).

En esta época, y encargado por la *Ferme*, Lavoisier elaboró un informe sobre la situación de las salitrerías y de las fábricas de pólvora del país. En él mostraba las numerosas deficiencias

técnicas y la mala gestión que éstas presentaban, por lo que, en marzo de 1775, Lavoisier y otros tres directores fueron encargados de dirigir la *Régie des Poudres et Salpêtres* (*Compañía estatal de pólvoras y salitres*). Lavoisier ejerció una doble función administrativa a partir de este momento, y se trasladó a vivir al arsenal parisino, donde instaló un espléndido laboratorio. En su hogar se mezclaron vida privada, vida social y actividad científica, y con él trabajaron como auxiliares jóvenes promesas como Fourcroy y Hassenfratz, a los que ayudó en el desarrollo de sus carreras, que llegaron a ser muy brillantes (Bensaude-Vincent, 1993).

En el arsenal investigó sobre el salitre (nitrato de potasio) y la nitrificación artificial, sin olvidar su reciente descubrimiento del «aire atmosférico muy puro», que le llevaron a leer, el 20 de abril de 1776 en la Academia, la memoria titulada «Sobre la existencia del aire en el ácido nitroso [ácido nítrico] y sobre los medios de componer y recomponer este ácido». En los experimentos que realizó para elaborarla, pudo observar cómo el oxígeno formaba parte del ácido nítrico, y encadenó este hecho con las experiencias que había realizado con el fósforo y con el azufre, que le habían mostrado que el aire atmosférico era absorbido en la combustión de ambos elementos para formar sus respectivos ácidos. Con ellas pudo deducir que del aire era, sobre todo, «la parte más pura, [la que] entra en la composición de todos los ácidos sin excepción» (Lavoisier, 1774: 129-130). Lavoisier ya había hecho pública su teoría de la acidez a lo largo de los años 1776-1777, y su versión definitiva fue presentada el 23 de noviembre de 1779, en su memoria «Consideraciones generales sobre los ácidos y sobre los principios de que están compuestos», publicada en 1781. En ella demostraba cómo el oxígeno formaba parte de todos los ácidos conocidos hasta entonces, e incluso que podía crear ácidos por sí mismo. Debido a este carácter generador de ácidos, Lavoisier denominó a este gas «aire atmosférico muy puro» combinado, «principio acidificante», o «principio oxígeno» (engendrador de ácido) (Gago, 1982). Pero su teoría también tenía fallos, siendo el principal de ellos el que no se conocían ácidos de los metales, excepción hecha del arsénico. El mismo Lavoisier se dio cuenta de ello, pero confiaba que en algún momento se podría conseguir la generalización de su teoría a los metales, cuando se encontrara el mecanismo de reacción adecuado. Además, todavía no se había evidenciado la existencia de ningún ácido que no contuviera oxígeno, hecho que logró Davy en 1810, cuando descubrió que el ácido clorhídrico sólo se componía de cloro e hidrógeno. A pesar de ello, esta terminología equivocada no impidió que el término oxígeno (generador de ácidos), se extendiera entre toda la comunidad y la literatura científica, y que incluso haya perdurado hasta nuestros días.

Para terminar de ajustar todos los flecos de su teoría, Lavoisier también tenía que explicar qué papel jugaban en las reacciones químicas el calor y la luz desprendidos en ellas. Además de la memoria leída ante la Academia en 1777 titulada «De la combinación de la materia de fuego con los fluidos evaporables, y de la formación de los fluidos elásticos aeriformes», realizó varios experimentos con el matemático Laplace, en los que midieron la volatilidad del etanol y del éter. Para cuantificar el calor producido en las reacciones, Laplace ideó el calorímetro de hielo, con el que efectuaron varios experimentos durante los años 1781-1783. Plasmaron sus ideas y sus experiencias en la publicación *Memoria sobre el calor* (Lavoisier; Laplace, 1780), en la que mostraron que, al revés que el flogisto, que no era cuantificable, la intensidad del calor intercambiado se podía medir fácilmente con un simple termómetro. En la última parte de la *Memoria sobre el calor* había dedicado un capítulo a la respiración, fenómeno que ya había comenzado a estudiar en 1777. En 1783, Lavoisier y Laplace realizaron medidas cuantitativas sobre este proceso con un animalito llamado conejillo de Indias, experimento del que surgió la frase «hacer de conejillo de Indias». Con

sus ideas sobre el calor, Lavoisier presentó una explicación más clara de los fenómenos de la combustión que la que proporcionaba la teoría de Stahl, y comenzó a atacar a la teoría del flogisto, aunque de forma prudente, para no herir a sus respetados colegas académicos. Aún así, la mitad de la revolución de Lavoisier ya se había realizado en 1779 (Brock, 1998).

En septiembre de 1777, Lavoisier y Bucquet habían iniciado una serie de experimentos con un curioso gas al que no encontraba lugar en su estructura teórica. Era el denominado «gas inflamable» (gas hidrógeno), que se obtenía al hacer reaccionar un ácido diluido con algunos metales. Al quemar dicho gas en el interior de una botella con agua líquida, habían observado que el agua no había sufrido cambio alguno, cosa que le sorprendió, porque él esperaba obtener un ácido. En 1781, el científico inglés Blagden, ayudante de Henry Cavendish (1731-1810), le había comentado a Lavoisier los experimentos que éste había realizado sobre la síntesis del agua a partir de la combustión del «gas inflamable» en el aire. El 24 de junio de 1782 realizó, junto con Laplace y el propio Blagden, el primer experimento con un nuevo aparato, y obtuvo un agua tan pura como la destilada, a la vez que lo conseguía el científico Monge, quien además comprobó que el peso del agua obtenida era prácticamente el mismo que el de la suma de los dos gases reactivos (Gago, 1982).

Pero Lavoisier ya se había interesado por el agua anteriormente. En 1768 había demostrado que el agua no se podía transformar en tierra, al introducir una cierta cantidad de ésta en el interior de un recipiente herméticamente cerrado, y calentarlo hasta ebullición durante ciento un días sin interrupción. Poco a poco se iba formando un residuo sólido, y al finalizar los tres meses volvió a pesar el conjunto, observando que la masa no había variado prácticamente nada respecto de la cantidad inicial, por lo que estaba claro que el fuego no había originado ningún incremento de peso. A continuación pesó el residuo sólido y el recipiente por separado, y observó que la cantidad de materia sólida formada en el proceso coincidía casi exactamente con la disminución de masa que había sufrido el receptáculo, por lo que dedujo que el origen de dicho residuo era el propio recipiente de vidrio, que había sufrido un proceso de lixiviación, al disolverse en el agua los constituyentes solubles del sólido. Para Lavoisier estaba claro que no se había producido la transmutación del agua en tierra, y comunicó los resultados de su trabajo a la Academia en 1770. En su procedimiento se observa la utilización de la ley de conservación de la masa desde un punto de vista metodológico, aunque no llegó a formularla de forma explícita hasta 1789 en su *Traité* (Lavoisier, 1774: 129-130).

A partir de 1781, y ya convencido de la corrección de sus ideas, Lavoisier movilizó a sus aliados para crear las condiciones de una controversia, y convencer así al resto de la comunidad científica. Para ello utilizó la síntesis del agua, en un experimento realizado ante un público selecto (Cartwright, 2000). El 24 de junio de 1783, el rey Luis XVI, uno de sus ministros, Blagden, y algunos miembros de la Academia, se situaron delante de un aparato de combustión, para observar cómo Lavoisier y Laplace giraban los grifos de dos reservorios de gas que contenían hidrógeno y oxígeno. Después de aplicarle una descarga eléctrica, la mezcla generó varias gotas de agua líquida. El fruto de ese experimento fue una primera memoria leída ante la Academia el 21 de abril de 1784, que tuvo continuación en otro trabajo titulado «Memoria donde se prueba, por la descomposición del agua, que este fluido no es en absoluto una sustancia simple, y que existen numerosos medios de obtener en grande el aire inflamable que forma parte de ella como principio constituyente». Es decir, que una vez sintetizada el agua, ahora se trataba de descomponerla. Para ello utilizó hierro, obteniendo hidrógeno y óxido de hierro, y carbón, con el que recogió hidrógeno y dióxido de carbono.

Estos resultados incluso le permitieron rebatir la teoría de Kirwan de que el «gas inflamable» (hidrógeno) era el flogisto puro (Gago, 1982).

Lavoisier deseaba que la demostración de la composición del agua fuera un acontecimiento histórico, y preparó una experiencia espectacular durante todo un año. En febrero de 1785, todo estaba listo para mostrar al mundo que el agua era un cuerpo compuesto. De nuevo se formó un auditorio escogido, constituido por varios miembros de la Academia, el duque de Chaulnes, el Ministro Malesherbes y el intendente Villedeuil. La demostración duró dos días, y consistió en un doble experimento: la síntesis y la descomposición del agua. Históricamente, esta experiencia jugó un papel decisivo, porque el 6 de abril de 1785, Berthollet anunció públicamente que admitía la existencia de un «principio ácido» u «oxygène», de acuerdo con la teoría de Lavoisier. Su postura abrió una importante brecha en el seno de la Academia, entre un pequeño grupo formado por Lavoisier, Laplace, Monge y Berthollet, que se enfrentaron a los demás académicos (Bensaude-Vincent, 1993). La controversia se había iniciado, y a partir de 1785, se libró la batalla decisiva contra el flogisto en el seno de la Academia. El 22 de enero de ese año, Lavoisier leyó una memoria titulada «Sobre la disolución de los metales en los ácidos», en la que advirtió que, a partir de ella, presentaría en todos sus trabajos las pruebas necesarias para demostrar la inexistencia de esta sustancia. En el volumen de 1783 de las Memorias de la Academia, que fue publicado en 1786, Lavoisier incluyó su trabajo titulado «Reflexiones sobre el flogisto» (Gago, 1986: 34). En esta memoria, cuidadosamente elaborada y argumentada, hacía trizas aquella idea, a la que conceptuaba de «opinión», «error funesto», «ser imaginario», y «suposición gratuita». En ella, Lavoisier convenció a sus colegas más reaccionarios con una brillante argumentación, en la que demostró que el flogisto era simplemente un término atribuido a múltiples cosas diversas y contrapuestas, como entidades que se podían pesar e imponderables, sustancias capaces e incapaces de atravesar los recipientes, coloreadas o transparentes, cáusticas e inertes. El flogisto explicaba demasiado, se había convertido en «un verdadero Proteo que cambia de forma a cada instante» (Gago, 1986: 35). Haciendo gala de un cuidado exquisito, Lavoisier otorgaba a cada científico su parte de razón, y sólo criticó la coexistencia de sus razonamientos. Para fundamentar su argumentación utilizó su propia teoría del calor, así como sus experimentos sobre la combustión y la calcinación, retomando las líneas generales de la memoria que había publicado en 1777. Distinguió entre varios tipos de combustión (ignición, inflamación, detonación), y los explicó de forma coherente según su teoría. La batalla estaba ganada; sólo faltaba ganar la guerra, y para ello resultaba imprescindible construir un nuevo lenguaje acorde con la nueva teoría.

III. Una doble reforma: la nomenclatura y la enseñanza de la química

A lo largo de la historia, las diferentes civilizaciones empleaban diferentes métodos para nombrar a las sustancias, por ejemplo, utilizando sus propiedades físicas, como el color (por ejemplo, magnesia alba [carbonato de manganeso]), la consistencia (mantequilla de estaño [cloruro de estaño]), o la forma cristalina (nitro cúbico [nitrato potásico]). También había nombres que hacían referencia a los sentidos del gusto (azúcar de plomo [acetato de plomo]) y del olfato (aire azufroso apestoso [sulfuro de hidrógeno]), los que estaban relacionados con los astros celestes (saturno [plomo]), o los que se basaban en nombres de personas, generalmente sus descubridores (polvo de Algaroth [oxiclورو de antimonio]), en nombres de lugares (vitriolo de Chipre [sulfato de cobre]), en sus propiedades medicinales (sal diurética [acetato de potasio]),

o en sus métodos de preparación (mercurio dulce sublimado [cloruro de mercurio]). Estas denominaciones eran poco exactas por su ambigüedad, y poco a poco se fue produciendo una enorme confusión a medida que, a lo largo del siglo XVIII, se avanzó en el descubrimiento de nuevos minerales, y en el estudio en profundidad de los minerales ya conocidos. Además, junto a estas denominaciones que tenían un origen racional, existía un grupo de nombres exóticos que estaban rodeados de misterio (flores filosóficas de vitriolo [ácido bórico]), y, con el transcurrir del tiempo, se llegó a utilizar un mismo nombre para definir a distintas sustancias, e incluso varias sustancias se denominaban bajo el mismo sustantivo (Crosland, 1988).

Si se analizan las publicaciones químicas de finales del siglo XVII y principios del siglo XVIII, se puede observar que varios científicos, como Boyle o Stahl, criticaron el empleo abusivo de ciertos términos como «azufre» y «espíritu» para referirse a distintas sustancias. El Real Colegio de Médicos de Londres nombró un comité que reformara la nomenclatura química, el cual elaboró un informe que se publicó en 1742, aunque las modificaciones que proponía no solucionaron el conflicto. A partir de él, numerosos científicos criticaron o incluso intentaron modificar los nombres que consideraban obsoletos, como Caspar Neumann, William Cullen o Pierre Joseph Macquer. Estaba claro que la nomenclatura necesitaba una reforma, y que era necesario buscar nombres sistemáticos para los nuevos elementos y compuestos. A lo largo del siglo XVIII se produjeron varios intentos establecer un método completo de una nomenclatura sistemática, entre los que destacaron las propuestas de Macquer en su *Diccionario de Química* (Macquer, 1766) Jean-Baptiste Bucquet en la *Introducción al estudio de los cuerpos naturales*, (Bucquet, 1771), o Antoine Brongniart en la *Tabla Analítica de las combinaciones y las descomposiciones de diferentes sustancias* (Brongniart, 1778; Crosland, 1988).

Influenciado por la reforma de Linneo en botánica, la actitud de Torbern Olof Bergman (1735-1784), profesor de química en la Universidad de Uppsala desde 1767, se encaminó hacia una reforma de la nomenclatura química. En 1779 indicaba que «la química, como las demás ciencias, ha estado plagada de nombres improprios» (Gago, 1986: 65), e intentó modificarlos en varios textos de mineralogía que publicó en 1782 y 1784. Trabajó junto con Guyton para introducir alguna modificación, pero su fallecimiento en julio de 1784 se lo impidió, dejando el testigo de su trabajo a Guyton. El descontento de éste con los nombres químicos le llevó a afirmar en 1780 que la química «se encuentra bajo el peso de palabras inútiles», opinando que «el estado de perfección del lenguaje de una ciencia refleja el estado de perfección de la ciencia misma», y que esta dificultad era la que no permitía comunicarse a los químicos con facilidad (Crosland, 1988: 207 y ss.).

Guyton propuso varios intentos de reforma cuando todavía era partidario de la teoría del flogisto, y su proyecto no prosperó. En un principio, se reunieron Guyton y Lavoisier para analizar las experiencias de Lavoisier que sustentarían su nueva teoría del oxígeno y desbancarían la del flogisto. Durante los años 1785-1787, Berthollet, Guyton y Fourcroy se convencieron de la inexistencia de dicho principio, y se plantearon la necesidad urgente de confeccionar un nuevo lenguaje que se acoplase a la nueva teoría. Reunidos junto con Lavoisier para realizar dicha tarea en París durante ocho meses de trabajo intensivo, el esfuerzo de los cuatro químicos cristalizó en el libro *Méthode de nomenclature chimique* (Morveau; Lavoisier; Berthollet; Fourcroy, 1787), que se publicó en el verano de 1787. En esta fecha, el cuarteto se encontraba en pleno esplendor: Guyton tenía cincuenta años, Lavoisier cuarenta y cuatro, Berthollet treinta y nueve, y Fourcroy, treinta y dos.

Lavoisier estuvo interesado desde su más temprana juventud en la claridad del razonamiento y en la correcta exposición de las ideas científicas, si bien en las primeras publicaciones que hizo sobre el estado gaseoso, como en el libro *Opúsculos Físicos y Químicos*, confundía el oxígeno con el dióxido de carbono (Lavoisier, 1774: 449). Cuando más tarde se dio cuenta de las distintas características de ambos gases, y de las diferentes propiedades de otros como los que hoy denominamos dióxido de azufre, cloruro de amonio e hidrógeno, la reforma se convirtió en urgente, para impedir cualquier posibilidad de tergiversaciones (Crosland, 1988).

Sobre Lavoisier tuvieron una enorme influencia las ideas del filósofo Étienne Bonnot de Condillac (1715-1780), para quien el lenguaje bien hecho tenía una importancia fundamental en el progreso de la ciencia. De acuerdo con esta concepción, las sustancias más sencillas eran las que deberían nombrarse en primer lugar, pero con nombres que recordaran las sensaciones que proporcionaban los objetos, según el esquema (Gago, 1994):

Objeto Real → Sensación → Idea → Palabra → Conocimiento

El *Méthode* es un libro en octavo, de trescientas catorce páginas, que comienza con una memoria que leyó Lavoisier en la Academia el 18 de abril de 1787, sobre la necesidad que existía en ese momento de reformar y perfeccionar la nomenclatura química, en la que reconocía la importante tarea que habían realizado en este sentido Macquer, Baumé, y sobre todo, Guyton (pp. 1-25). Continúa con otra memoria, que fue leída por Guyton en la Academia el 2 de mayo de 1787, en la que desarrollaba los principios de la nueva nomenclatura propuesta (pp. 26-74). A continuación, Fourcroy firmaba otra memoria que servía de explicación a la tabla de la nomenclatura que se incluía en un cuadro desplegable (pp. 74-100), en la que aparecían varios ejemplos de su propuesta, y que continuaba con dos diccionarios de sinónimos, en los que se detallaba la relación entre los nombres antiguos y los nuevos que ellos proponían, y viceversa (pp. 101-143, y 144-237). Estos diccionarios eran de gran utilidad, y en ellos puede apreciarse cómo los cuatro químicos sistematizaron las denominaciones de las sustancias. Ordenadas alfabéticamente se encontraban tanto las sustancias simples o elementos como el cobre, el estaño o el oxígeno, como los compuestos, en los que se podía apreciar claramente las enormes ventajas de la nueva nomenclatura binomial. Entre ellos, los compuestos de dos elementos se nombrarían citando en primer lugar el término que hacía referencia a su clase o género (por ejemplo, «óxido»), y en segundo lugar, la denominación del elemento específico («de cobre»). Para los compuestos de tres elementos, como los ácidos, se idearon las terminaciones «ico» y «oso», que se referían a los que contenían más proporción o menos del no metal que los originaba (por ejemplo, ácidos sulfúrico y sulfuroso). Las sales sustituirían las terminaciones «ico» y «oso» del ácido que las originaba, por «ato» e «ito». Por ejemplo, el «azúcar de saturno» pasaría a denominarse «acetato de plomo», quedando clara su procedencia, a partir del ácido acético y del metal plomo. Podemos observar que, con ligeras modificaciones, esta nomenclatura es la que ha perdurado hasta el siglo XXI, porque gracias al magnífico trabajo de estos cuatro científicos, la química pudo disponer de un lenguaje sistemático, concreto y universal, que además facilitaba la denominación de cualquier sustancia simple o compuesta, que se pudiera descubrir en un futuro. El libro continúa con un informe que sobre la nueva nomenclatura habían realizado cuatro miembros de la Academia de Ciencias, que tenían la misión de revisar y aprobar el libro, y que está firmado el del 13 de junio de 1787 por Baumé, Cadet de Vaux, Darcet y Sage, y ratificado por el marqués de Condorcet el 23 de junio del mismo año (pp. 238-252). Esta comisión se declaró neutral, porque Baumé y Sage se oponían a la reforma, y sólo Cadet de Vaux, el más joven, era un entusiasta defensor de ella. Para

finalizar, el libro incluía dos informes firmados por Hassenfratz y Adet (pp. 253-287), en el que proponían un sistema de símbolos que representaran a los elementos y a los compuestos, y que estaban basados en unos símbolos geométricos sencillos (cuadrados, círculos, triángulos, etcétera), compilados en seis láminas plegables al final del libro, que termina con el índice de las materias (pp. 313-315). Las páginas 288-312 incluyen el informe de Lavoisier, Berthollet y Fourcroy sobre estos caracteres.

La aceptación de la nueva nomenclatura no fue sencilla en Francia, porque hubo varias voces críticas que se alzaron en su contra. Una de las más representativas fue la de Jean Claude de la Métherie (1743-1817), editor de la revista *Observations sur la Physique* desde 1785 hasta su fallecimiento, y que no cesó de realizar las críticas más duras al nuevo sistema. Por ello, para poder publicar sus trabajos sin censura, Lavoisier y sus compañeros decidieron fundar otra revista, con la aprobación de la Academia. Se tituló *Annales de Chimie*, el primer número salió en 1789, y ha perdurado hasta hoy en día con el título de *Annales de Chimie-Science des Matériaux*. Actualmente cubren un campo científico muy amplio, que va desde la metalurgia y los semiconductores, a los compuestos macromoleculares orgánicos.

A pesar de las posturas reaccionarias, hubo varios químicos que se asociaron con Lavoisier y sus colegas por todo el territorio francés, y a partir de este momento, esta doctrina se denominó «teoría de los químicos franceses», «química nueva», «moderna», o simplemente, «antiflogista», quedando así definida a partir de 1788 por la nacionalidad de sus partidarios, además de por su carácter polémico e innovador. De todos modos, Lavoisier reclamaba su paternidad, indicando que esta teoría era «la suya», y que había sido adoptada por el resto de sus colegas, para formar la «escuela» de los químicos franceses. Pero el objetivo de Lavoisier era acometer una revolución pedagógica, además de la «revolución en química y física». La elaboración del *Método de nomenclatura* fue un primer paso, que se vio coronado por la publicación de su libro *Tratado elemental de química* (Lavoisier, 1789), que estaba *presentado de acuerdo a un orden nuevo, y según los descubrimientos modernos*. De acuerdo con su título, esta obra mostraba de forma íntegra y sencilla las bases de su nueva química, y contrariamente a lo que solía ser habitual en sus trabajos, estaba dirigida a «los principiantes», y no a los eruditos. Según Gago (1982), durante los años 1780-81 Lavoisier redactó un primer borrador de esta obra, si bien la edición final no se completó hasta 1789. Era, por lo tanto, un proyecto antiguo, del que su autor afirmaba que «será la obra de mi vida».

El *Tratado* está formado por un «Discurso preliminar» y por tres grandes bloques. En el primero, titulado «De la formación de los fluidos aeriformes y de su descomposición; de la combustión de los cuerpos simples y de la formación de los ácidos», se detallan las bases teóricas de la nueva química, fundamentada en el calórico o principio asociado a la elasticidad, y en el oxígeno, principio portador de la acidez. También se encuentra en este capítulo la descripción de sustancias como ácidos y sales, tanto orgánicas como inorgánicas. En la segunda parte, «De la combinación de los ácidos con las bases salificables y de la formación de las bases neutras» se muestran, en cuarenta y cuatro tablas sinópticas, las combinaciones de los ácidos con las bases, y las sales neutras que se derivan de ellos. Están ordenadas de lo más simple a lo más complejo, y en la primera se presenta la relación de treinta y tres sustancias simples (elementos), y más de mil compuestos. También incluye otra tabla con los radicales que se combinan con el oxígeno, y puede afirmarse que la novedad introducida por Lavoisier en esta parte no es ni por su forma ni por el contenido, porque colocar los ácidos, las bases y las sales en forma de tablas era el corolario habitual en los tratados de química del siglo XVIII. Su mejora consistió en sustituir las tablas-catálogo que contenían miles de

experiencias, por otras que estaban fundadas en una teoría y en unas prácticas de laboratorio representativas. Con las tablas de Lavoiser, se podría prever cuáles serían los productos de nuevas experiencias, gracias a la sistemática de su método.

En la tercera y última parte, titulada «Descripción de los aparatos y de las operaciones manuales de la química», quedaban reflejados los diferentes instrumentos y procedimientos de laboratorio. Era el complemento de la parte teórica, la conclusión lógica del libro, aunque su forma de presentarlo fue totalmente innovadora. Hasta este momento, la descripción de los aparatos y los montajes de laboratorio era un hecho habitual en los tratados de química, pero siempre aparecían inmersos en la mitad del texto. En el tratado de Lavoisier se encuentran todos los grabados agrupados al final, y son dibujos realizados con un cuidado exquisito por Mme. Lavoisier, en los que se encuentra, además de un gran número de detalles, todos los instrumentos necesarios para describir un tratado completo de práctica química. Junto con los elementos necesarios para realizar medidas gravimétricas y volumétricas, están reflejados los de todas las operaciones fundamentales de la química: destilación, licuefacción, evaporación, etcétera, más los últimos aparatos utilizados para recuperar y medir los gases, y otros diseñados o perfeccionados por él mismo, como el areómetro o el calorímetro, e incluso los utensilios más tradicionales, como alambiques o retortas. En este último bloque, en el capítulo XIII, Lavoisier enunció explícitamente la ley de la conservación de la masa, que si bien ya era conocida por todos los científicos desde hacía bastante tiempo, fue él quien la generalizó en la química, determinando cuál era la característica física de la materia que se mantenía constante durante las reacciones. Además, y tomando como punto de referencia esta ley, Lavoisier ideó por primera vez una ecuación química como si fuera una igualdad matemática: «estamos obligados a suponer en todas [las experiencias en química] una verdadera igualdad o ecuación entre los principios de los cuerpos que se examinan [reaccionan] y los que se retiran por el análisis [los productos]. Así, puesto que el mosto de uvas produce gas ácido carbónico [CO₂] y alcohol, puedo decir que mosto de uvas = ácido carbónico + alcohol» (Lavoisier, 1789: 141; Gago, 1982).

El programa didáctico de esta obra quedaba perfectamente definido en el «Discurso preliminar», donde Lavoisier citaba las ideas de Condillac, indicando que «el arte de razonar se reduce a una lengua bien hecha». También denuncia en él un defecto que era muy común en los tratados de química de su época: comenzaban exponiendo unas nociones generales de la química, como los principios de los cuerpos o las afinidades, dando por supuesto que los alumnos ya tenían adquiridos los conocimientos que, en realidad, debían aprender con dicha ciencia. Para escapar de este círculo vicioso, Lavoisier proponía avanzar de lo conocido hacia lo desconocido, es decir, de acuerdo con Condillac, «seguir la marcha natural de las ideas» (Lavoisier, 1789: v-xxxii).

En el estudio de la expansión de la nueva nomenclatura y de la teoría del oxígeno asociada con ella, es fundamental analizar la divulgación de las dos obras que las contenían, que eran el *Méthode* de 1787 y el *Traité* de 1789. Ambas se difundieron como un reguero de pólvora a finales del siglo XVIII y principios del XIX, porque hubo al menos siete ediciones francesas del *Méthode*, y traducciones al inglés, alemán, español e italiano. El *Traité* fue todavía más conocido, porque tuvo al menos nueve ediciones en francés, cinco en inglés, tres alemanas, dos holandesas, tres italianas, una española, tres norteamericanas y una mexicana, todas publicadas antes de 1805. Además, diferentes secciones del *Méthode*, sobre todo la tabla y el diccionario, fueron reproducidas en numerosas publicaciones científicas, diccionarios y enciclopedias, así como en otros libros de texto (Crosland, 1988). Es decir, que la

revolución química de Lavoisier se produjo rápidamente, a pesar de que no llevó asociada en el tiempo el giro pedagógico que él esperaba, porque incluso sus colaboradores más estrechos tardaron un poco más en aplicarlo.

A partir de este momento, Lavoisier se dedicó a investigar los fenómenos de la respiración, la transpiración y el metabolismo, a realizar estudios económicos, y a estudiar las mejoras que se podían aplicar en las explotaciones agrícolas. Pero en esta época el país atravesaba momentos difíciles, porque la cosecha de 1788 había sido desastrosa, y la situación se volvió insostenible. Entonces la burguesía, el bajo clero y una fracción liberal de la nobleza se opusieron al rey y al grupo de privilegiados formado por nobles, parlamentarios, obispos y superiores de las abadías, y cuando Luis XVI reunió a sus tropas en Versalles, las masas populares parisienses creyeron que lo que se fraguaba era un complot tramado por el rey y los privilegiados para impedir cualquier reforma, por lo que se sublevaron y tomaron La Bastilla, símbolo del absolutismo, el 14 de julio de 1789. Después de muchas vicisitudes, el 10 de agosto de 1792 se preparó la caída de la realeza, y en París se produjeron las matanzas de septiembre. El 21 de ese mismo mes se reunió una asamblea constituyente que gobernaba el país, denominada *Convención*, que proclamó casi inmediatamente la república. La ejecución de Luis XVI el 21 de enero de 1793 provocó que la mayoría de los estados europeos se aliaran contra Francia y entraran en la denominada «guerra contra la Convención». Los últimos vestigios del régimen feudal desaparecieron a lo largo de los años 1792 y 1793, y el 26 de agosto de 1793, la Convención votó una *Constitución de derechos del hombre y del ciudadano*, régimen que proclamaba la libertad, la igualdad, la inviolabilidad de las propiedades y la resistencia a la opresión. La revolución había triunfado. Hubo varios cambios de gobierno, entre los que destacaron los tres mandatos del Terror, desde agosto de 1792 hasta julio de 1794, en los que se detuvieron a 300.000 sospechosos, de los que fueron ejecutados 17.000; entre otros, al propio Danton y a otros líderes revolucionarios (Soboul, 1975).

En un principio, el «ciudadano» Lavoisier participó activamente en el movimiento revolucionario. Era miembro de la guardia nacional, concretamente en la Sección del Arsenal, y se le podría definir como «librepensador». Era miembro de la Comuna de París, y desde su situación en el Arsenal, de considerable importancia estratégica, tuvo que afrontar varias algaradas populares. A pesar de ello, Lavoisier se convirtió en uno de los seis inspectores del nuevo Tesoro Nacional, cargo desde el que elaboró los trabajos titulados «De la riqueza territorial del reino de Francia», y «Del estado de las finanzas de Francia, en el primero de enero de 1792» (Lavoisier, 1791; 1810). También en esta época formó parte del importante proyecto de reforma del sistema de pesas y medidas, que fue encargado a la Academia ante las numerosas reclamaciones que se habían producido por la gran variedad de sistemas métricos que se encontraban en vigor.

Pero muy pronto, todos los pilares que sustentaban la carrera de Lavoisier comenzaron a desmoronarse, y sus ideales revolucionarios fueron puestos en duda numerosas veces. Las sospechas se orientaron contra él a partir del 6 de agosto de 1789, cuando tuvo que rendir cuentas por un barco cargado de pólvora que parecía que iba a ser entregado a los emigrados que conspiraban contra el gobierno revolucionario. Se le pretendió ejecutar de forma sumaria, pero, después de oír sus razones, salvó la vida. A continuación, fue abolido el cargo de *Fermier Général* el 20 de marzo de 1791, por lo que Lavoisier volcó su carrera en la Academia, de la que fue nombrado tesorero en diciembre de 1791. Cuando se congelaron los presupuestos, él adelantó de su bolsillo las sumas necesarias para los sueldos de los académicos, pero la Convención decretó su disolución el 8 de agosto de 1793, y sus esfuerzos

resultaron vanos para salvarla (Bensaude-Vincent, 1991; Poirier, 1996). Para finalizar, la Convención exigió la rendición de las cuentas de la *Ferme Générale*, y el 24 de noviembre de 1793, emitió un decreto de arresto contra los antiguos *Fermiers Généraux*. Cuando fueron a detenerle, Lavoisier no se encontraba en su casa, y se escondió durante varios días en el edificio de la ya disuelta Academia de Ciencias. Sin embargo, el 28 de noviembre, se presentó voluntariamente junto con su suegro, Jacques Paulze, en el antiguo convento de *Port Royal* (Puerto Real), que a partir de la revolución se convirtió en prisión, y tomó el cruel e irónico nombre de *Port Libre* (Puerto Libre).

La instrucción del proceso duró cinco meses, durante los que Lavoisier permaneció encarcelado, y el 8 de mayo de 1794, el Tribunal revolucionario juzgó a 32 *Fermiers Généraux*, a los que acusó de malversación de fondos, beneficios excesivos, gratificaciones abusivas, retrasos injustificados en los pagos al Tesoro público, y además, de haber realizado un importante fraude en el comercio del tabaco, que habían utilizado para realizar «un complot contra el pueblo francés que tendía a favorecer por todos los medios posibles el éxito de los enemigos de Francia» (Poirier, 1996: 379-380). Veintiocho de los *Fermiers* fueron condenados a la guillotina y ejecutados ese mismo día, y se confiscaron todos sus bienes. Lavoisier fue el cuarto en subir al patíbulo, y su brillante carrera de químico, de biólogo, de financiero, de industrial y de economista quedó truncada de forma trágica. Al día siguiente, Joseph Louis Lagrange (1736-1813), célebre matemático francés de origen italiano, autor de su discurso fúnebre, dijo: «Ha bastado un momento para cortar esta cabeza, y tal vez no bastará un siglo para producir otra igual» (Alfonseca, 1998: 332).

Hubo varios científicos, algunos muy próximos a Lavoisier como Carnot, Fourcroy, Monge o Guyton de Morveau, primer presidente del Comité de Salud Pública, que no pudieron hacer nada para ayudarlo después de su arresto, así como otros colaboradores de Lavoisier que incluso osaron protestar por su detención, como sus compañeros de la Oficina de Consulta de Artes y Oficios, los de la Comisión Temporal de Pesos y Medidas, los de la Comisión de Moneda, o sus colegas de la *Régie des poudres et salpêtres*. Paradójicamente, algunos de sus valedores habían sido sus más duros opositores en la polémica contra el flogisto, pero ninguno pudo salvarle la vida. Ni siquiera su mujer, para la que comenzó un terrible calvario al quedarse — literalmente— en la calle, cuando les confiscaron todos sus bienes. Pudo sobrevivir gracias a la ayuda de un antiguo empleado suyo que la acogió en su casa, y ella, una vez ejecutados su marido y su padre, se quedó en la miseria más absoluta, al igual que los familiares del resto de los ejecutados. Después de alzar varios requerimientos a la Convención, en junio de 1795 ésta decidió restituir algunos de los bienes incautados, por lo que Marie-Anne tuvo que peregrinar de oficina en oficina para intentar recuperar algo del importante patrimonio material que compartió con Lavoisier. En 1803, publicó la obra póstuma de Lavoisier, las *Memorias de Química*, que el científico francés tenía casi listas para imprimir (Lavoisier, 1805). Al quedarse viuda tuvo varias propuestas de matrimonio, como las de Charles Blagden y Pierre du Pont, a los que rechazó, hasta que en 1805 se casó con el físico estadounidense Benjamín Thompson, conde de Rumford (1754-1814). Después de dos años de anárquica relación, se divorciaron en 1809 (Brock, 1998).

IV. Epílogo: A modo de conclusión

A partir de su ejecución, la figura y la obra de Lavoisier fueron enaltecidas de tal manera que, sobre todo a lo largo del siglo XIX, se convirtió en un ídolo, que fue empleado para

ensalzar a toda la química en general, y a la química francesa en particular. Se le realizaron numerosos homenajes, y se publicaron trabajos elogiosos sobre su persona y su obra, que llegaron a crear un mito, así como a distorsionar su auténtica imagen (Bensaude-Vincent, 1991). Sus contribuciones al desarrollo de la química son de indiscutible valor, porque además de conseguir desbancar a la teoría del flogisto, normalizó el lenguaje químico, reflexionó sobre el sistema de enseñanza de esta ciencia, utilizó costosos montajes de laboratorio para refutar sus teorías con pruebas experimentales indiscutibles, y abrió numerosas líneas de investigación que pudieron aprovechar otros científicos, como el estudio de las sales realizado en Alemania por Wenzel y Richter, o la química newtoniana de las afinidades que realizó Berthollet. Pero Lavoisier no estuvo solo en esta gesta, porque contaba con el poderoso apoyo de la Academia de Ciencias, de varios de sus colegas científicos, y de su esposa, Marie-Anne. Lavoisier supo utilizar todos estos recursos para desarrollar a lo largo de su vida una amplia gama de actividades, si bien fueron sus contribuciones a la ciencia química las que le han hecho pasar a la historia. Se ha afirmado que el proceso de cambio en esta disciplina se habría iniciado con la famosa experiencia de 1772, y su culminación, con la formación de un nuevo sistema teórico en el *Traité élémentaire de chimie* de 1789, pero alrededor de ellos, Lavoisier realizó muchas más actividades, que muestran cómo la ciencia es una tarea humana, que está unida indisolublemente con numerosos valores culturales, sociales e individuales, y no sólo una fría aglomeración de conocimientos que sirven para intervenir técnicamente en el universo. Lavoisier nació y murió en un momento y en un lugar determinados, y tuvo a su disposición unos recursos personales e institucionales concretos, que fueron los que le permitieron conseguir los resultados que buscaba —y a veces, otros que no buscaba—, en el momento en el que los obtuvo. Si se hubiera cambiado este marco de referencia, los logros que consiguió Lavoisier no se hubieran producido, por lo que hay que valorar, además de su indiscutible esfuerzo e inteligencia, el grupo social y los apoyos de todo tipo con los que contaba.

V. Fuentes y Bibliografía

Fuentes: Las obras de Lavoisier

Las obras originales de Lavoisier han sido estudiadas y reproducidas un gran número de veces, a partir de la reproducción completa de sus publicaciones (Lavoisier, 1862-1893) y de su correspondencia (Lavoisier, 1955-1964). Además, en Internet pueden encontrarse con facilidad copias digitales de la edición original de ellas, que nos acercarán de primera mano a los textos completos, o a parte de ellos. Se encuentran por ejemplo, en las páginas de Internet dedicadas a recopilar textos químicos clásicos, entre las que destacan, entre otras, las páginas de Carmen Giunta (<http://web.lemoyne.edu/~giunta/index.html>), la de José Ramón Bertomeu (<http://www.uv.es/~bertomeu/>), y *Gallica*, Colección de impresos digitalizados por la Biblioteca Nacional de Francia (<http://gallica.bnf.fr/>) (Consultadas el 10.III.2010).

Las obras de Lavoisier que se citan en este capítulo son:

- Lavoisier, A. L. (1768), «Analyse du gypse», en *Journal des Savants*, N° 5, pp. 341-357.
- _____ (1774), *Opuscules physiques et chimiques*, Paris, Durand.
- Lavoisier, A. L. y Laplace, P. S. marquis de (1780), *Mémoire sur la chaleur*. París, [s.e.]. Traducción al castellano de M. González Redondo, Madrid, Grupo de Trabajo de Análisis Dimensional, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, 1992.
- _____ (1789), *Traité élémentaire de Chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*, Paris, Chez Cuche. Existe edición facsímil: Bruselas, 1965; traducción castellana de R. Gago, Madrid, Alfaguara, 1982; traducción catalana de A. Nieto, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 2003; traducción gallega de M. R. Bermejo, Santinago de Compostela, 2009.
- _____ (1791), *De l'état des finances de France, au premier Janvier 1792. Par un député suppléant à l'Assemblée Nationale Constituante*, Paris, DuPont.
- _____ (1792), *Résultats extraits d'un ouvrage intitulé: de la richesse territoriale du royaume de France; ouvrage dont la rédaction n'est point encore achevée; Remis au Comité de l'Imposition, par M. Lavoisier. Imprimé par ordre de l'Assemblée Nationale*, Paris [s.e.].
- _____ (1805), *Mémoires de chimie*, Paris, DuPont.
- _____ *Oeuvres de Lavoisier*, Paris, J. B. Dumas y E. Grimaux, 1862-1893. 6 v. Editados los cuatro primeros por J. B. Dumas, y los dos últimos por E. Grimaux. Incluyen obras impresas y manuscritos. Están digitalizadas en la página web: http://moro.imss.fi.it/lavoisier/Lavoisier_opere.asp. (visitada el 2.VII.07), y en <http://gallica.bnf.fr/>: Gallica, Colección de impresos digitalizados por la Biblioteca Nacional de Francia (consultada por última vez el 9.III.10).
- _____ (1955-1964), *Oeuvres de Lavoisier. Correspondance*, Paris, R. Fric. 3 fascículos con la mayor parte de la correspondencia de Lavoisier hasta 1783.
- Morveau, M. M.; Lavoisier, A. L.; Berthollet. C. L. y Fourcroy, A. F. (1787), *Méthode de Nomenclature Chimique proposée par M.M. de Morveau, Lavoisier, Berthollet[sic], & de Fourcroy. On y a joint Un nouveau Système de Caractères Chimiques, adaptés à cette Nomenclature / par MM. Hassenfrazt & Adet*, Paris, chez Cuchet. Existe una reimpresión del original francés en Bensaude-Vicent, B., *A propos de Méthode de nomenclature chimique. Esquisse historique suivie du texte de 1787*, Paris, CNRS, 1983.
- Morveau, M. M.; Lavoisier, A. L.; Berthollet. C. L. y Fourcroy, A. F. (1788), *Método de la nueva nomenclatura química de M.M. de Morveau, Lavoisier, Berthollet y de Fourcroy*, Madrid, Antonio de Sancha. Traducido al castellano por P. Gutiérrez Bueno. Existe una obra facsímil de este texto, con un estudio preliminar de Ramón Gago Bohórquez, Madrid, Fundación Ciencias de la Salud, D.L., 1994.

Bibliografía

- Alfonseca, M. (1998), *Grandes científicos de la humanidad*, Madrid, Espasa-Calpe. T. I.
- Bensaude-Vicent, B. (1993), *Lavoisier. Mémoires d'une révolution*, París, Flammarion.
- _____ (1995a), «Lavoisier y la revolución de la química», en *Mundo científico*, 156 (15), pp. 346-352.
- Bensaude-Vicent, B.; García Belmar, A. y Bertomeu Sánchez, J. R. (2003), *L'émergence d'une science des manuels. Les livres de chimie en France (1789-1852)*, París, Éditions des Archives Contemporaines.
- Beretta, M. (2001), *Imaging a Career in Science. The iconography of Antoine Laurent Lavoisier*, Canton, MA. Science History Publications.
- Berthelot, M. (1890), *La Révolution Chimique. Lavoisier*, Paris, Alcan. Traducción al castellano: *Una revolución en la química: Lavoisier*, Buenos Aires, Losada, 1945.
- Bertomeu Sánchez, J. R. y García Belmar, A. (2006), *La revolución química: Entre la historia y la memoria*, Valencia, Universitat de València.

- Branchi, A. (1999), *Historia de la ciencia y de la tecnología. El siglo de las luces*. Madrid, Editex.
- Brock, W. H. (1998), *Historia de la química*, Madrid, Alianza.
- Brongniart, A. (1778), *Tableau Analytique des combinaisons et des décompositions de différentes substances, ou procédés de chymie pour servir à l'intelligence de cette science*, París, P. Fr. Gueffier.
- Bucquett, J. B. (1771), *Introduction à l'étude des corps naturels, tirés du règne minéral*. París, [s.e.].
- Cartwright, J. (2000), *Del flogisto al oxígeno. Estudio de un caso práctico en la revolución química*, Tenerife, Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.
- Crosland, M. P. (1988), *Estudios históricos en el lenguaje de la química*, México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Daumas, M. (1955), *Lavoisier, théoricien et expérimentateur*, París, PUF.
- Diderot, D. y D'Alembert, J. L. R. (1751-1768), *Encyclopédie, ou, Dictionnaire raisonné des sciences des Arts et des Metiers*, París, Briasson.
- Djerassi, C. y Hoffman, R. (2001), *Lavoisier, a play in 2 acts*, Nueva York, Wiley-VCH. Traducción Castellana titulada *Oxígeno, obra en dos actos*, México, FCE, 2003.
- Donovan, A. (1993), *Antoine Lavoisier. Science, Administration and Revolution*. Oxford, Blacwell Publishers.
- Gago, R. y Carrillo, J. L. (1979), *La introducción de la nueva nomenclatura química y el rechazo de la teoría de la acidez de Lavoisier en España. Edición facsímil de las «Reflexiones sobre la nueva nomenclatura química» de Juan Manuel de Aréjula*, Málaga, Universidad de Málaga.
- Gago, R. (1982), *Antoine Laurent de Lavoisier. Tratado elemental de química*, Madrid, Alfaguara. Edición facsímil con introducción, traducción y notas
- _____ (1788), «Estudio preliminar». En Gutiérrez Bueno, P., *Método de la nueva nomenclatura química. Propuesto por M.M. de Morveau, Lavoisier, Berthollet, y de Fourcroy, a la Academia de Ciencias de París, y traducido al castellano por D. Pedro Gutiérrez Bueno, profesor de química en el Real Laboratorio de Madrid, &c. &c.* Madrid, Antonio de Sancha. Madrid, Edición facsímil editada por la Fundación Ciencias de la Salud.
- García Belmar, A. y Bertomeu Sánchez, J. R. (1999), *Nombrar la materia: Una introducción histórica a la terminología química*, Barcelona, El Serbal.
- Guerlac, H. (1961), *Lavoisier. The crucial Year. The Background and Origin of his First Experiments of Combustion, in 1772*, Ithaca, Cornell University Press.
- Hales, S. (1727), *Vegetable staticks: or, an account of some statical experiments on the sap in vegetables: being an essay towards a natural history of vegetation, also a specimen of an attempt to analyse the air*, London, W. and J. Innys, and T. Woodward.
- Holmes, F. (1985), *Lavoisier and the Chemistry of Life. An Exploration of Scientific Creativity*, Wisconsin, University of Wisconsin Press.
- Holmes, F. y Levere, T. H. (eds.) (1998), *Antoine Lavoisier. The next crucial year*, Princeton/ Nueva Jersey, Princeton University Press.
- Ihde, A. J. (1984), *The development of modern chemistry*, Nueva York, Dover.
- Knight, D. M. (1968-1970), *Classical Scientific Papers. Chemistry*, Londres, Mills and Boon.
- Kirwan, R. (1784), *An Essay on phlogiston, and the constitution of acids*, Londres, J. Johnson.
- Macquer, P. J. (1749), *Éléments de chymie-théorique*, París, J.-T. Hérisant.
- _____ (1756 y 1758), *Elements of the theory and practice of chymistry*, Londres, A. Millar, and J. Nourse.
- _____ (1766), *Dictionnaire de Chimie*, París, Chez Lacombe.
- Mielli, A. (1948), *Lavoisier y la formulación de la teoría química moderna*, Buenos Aires-México.
- Partington, J. R. (1961-1970), *A History of Chemistry*, Londres, Macmillan. 4v.
- Pellón, I. (2002a), *Un químico ilustrado. Lavoisier*, Madrid, Nívola.
- _____ (2002b) «Lavoisier y la revolución química». En *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, v. 98, pp. 40-49.

- Perrin, C. (1989), «Document, Text and Mith: Lavoisier's Crucial Year Revisited», en *British Journal of the History of Science*, 22, pp. 3-26.
- Poirier, J. P. (1996), *Lavoisier, chemist, biologist, economist*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press.
- Puerto, J. (2001), *El hombre en llamas. Paracelso*, Madrid, Tres Cantos/ Nivela.
- Schwartz, A. (1989), «Instruments of the Revolution: Lavoisier apparatus». En *Bulletin of the History of Chemistry*, 5, pp. 31-34.
- Simon, A. (2005), *Chemistry, Pharmacy and Revolution in France, 1777-1809*. Aldershot-Burlington, Ashgate.
- Soboul, A. (1975), *Compendio de la historia de la revolución francesa*, Madrid, Tecnos.

Otras páginas de Internet sobre Lavoisier

(visitadas el 10.III.2010)

<http://www.liv.ac.uk/Chemistry/Links/links.html>: Virtual Library History of Science, Technology & Medicine. Página general de Historia de la Ciencia, que facilita información sobre biografías y disciplinas.

Lavoisier: <http://www.liv.ac.uk/Chemistry/Links/links.html>

<http://www.woodrow.org/teachers/ci/1992/>: History of Chemistry. Woodrow Wilson Summer Institute in Chemistry. Selección de textos clásicos de historia de la química.

Lavoisier: <http://www.woodrow.org/teachers/ci/1992/Lavoisier.html>

<http://www.ambix.org/>: *AMBIX: The Journal of Society for the History of Alchemy and Chemistry*. Es la principal revista especializada en la historia de la química, publicada por la *Society for the History of Alchemy and Chemistry*.

Lavoisier: Hay varios artículos sobre él y sus contemporáneos, pero no se encuentran en línea, hay que solicitarlos y pagar su importe.

<http://scienceworld.wolfram.com/biography/>: *Eric Weisstein's Treasure Trove of Scientific Biography*. Biografías de químicos: 1,071 entries, 2,144 cross-references, 222 figures.

Lavoisier: <http://scienceworld.wolfram.com/biography/Lavoisier.html>

http://www.ihaystack.com/authors/y/arthur_young/00015556_voyages_en_france_pendant_les_annees_178717881789/00015556_french_iso88591_p001.htm:

Digitalización del texto Young, A. (1792), *Voyages en France pendant les années 1787-1788-1789*. D'après l'édition de 1882 (Guillaumin et Cie, Librairies). Traduit par M. H. J. LESAGE.

<http://www.ucm.es/BUCM/foa/index.php>: *Proyecto Dioscórides*: Biblioteca Histórica de la Universidad Complutense de Madrid.

Lavoisier: http://cisne.sim.ucm.es/search*spi~S6/X?SEARCH=lavoisier