



LA QUÍMICA COMO CIENCIA: LAVOISIER

JAI ME BERMEJO BARRERA
Investigador Científico del C.S.I.C.
La Laguna

PRELUDIO DE LA QUÍMICA

De todos es sabido que cuando el hombre empezó a utilizar instrumentos se servía de la Naturaleza. El fémur de un animal de buen tamaño o la rama arrancada de un árbol eran magníficas garrotas. Y, ¿qué mejor proyectil que una piedra?

Con el paso de los milenios el hombre primitivo aprendió a tallar las piedras, dándoles un borde cortante o una forma que permitiera asirlas fácilmente. El siguiente paso consistió en unir la piedra a un ástil de madera tallado para este propósito. Pero de todas formas, sus piedras talladas seguían siendo piedras, y su madera tallada seguía siendo madera.



Sin embargo, había ocasiones en que la naturaleza de las cosas se cambiaba. Un rayo podía incendiar un bosque y reducirlo a un montón de cenizas y restos pulverizados que en nada recordaban a los árboles que había antes en el mismo lugar. La carne conseguida mediante la caza podía estropearse y oler mal; y el jugo de las frutas podía agriarse con el tiempo, o convertirse en una bebida extremadamente estimulante.

Este tipo de alteraciones en la naturaleza de las sustancias constituye el objeto de la Ciencia que hemos dado en llamar *Química*, y una alteración fundamental en la Naturaleza y en la estructura de una sustancia es un *cambio químico*.

La posibilidad de beneficiarse deliberadamente de algunos fenómenos químicos se hizo realidad cuando el hombre fue capaz de producir y mantener el fuego (lo que en términos históricos se conoce como «descubrimiento del fuego»). Tras este hallazgo el hombre se convirtió en un químico práctico al idear métodos para que la madera u otro material combustible se combinase con el aire a una velocidad suficiente y producir así luz y calor, junto con cenizas, humo y vapores.

Los primeros materiales que usó el hombre eran universales, en el sentido de que se encontraban en cualquier parte: madera, huesos, pieles, etc. De todos ellos la piedra es el más duradero, por eso hablamos de la *Edad de La Piedra*.

Durante los dos primeros milenios de esta civilización naciente, la piedra se mantuvo como material característico de los instrumentos, si bien se descubrieron nuevas técnicas de manufactura. Esta nueva *Edad de La Piedra* o *Neolítico* se caracterizó por un cuidadoso pulido de la piedra.

Más tarde, el hombre empezó a servirse de unos materiales relativamente raros. A estos materiales se les conoce con el nombre de *metales*.

Los primeros metales debieron encontrarse en forma de pepitas. Y con seguridad fueron trozos de cobre o de oro ya que éstos son de los pocos metales que se encuentran libres en la naturaleza. El color rojizo del cobre y el tono amarillo del oro llamó su atención y ello les impulsó a cogerlos. El cobre se hizo más abundante cuando se descubrió que podía obtenerse a partir de unas piedras azuladas. El descubrimiento del cobre se cree que pudo haber ocurrido unos cuatro mil años a. de C. en la península del Sinaí, al Este de Egipto o en la zona montañosa situada al Este de Sumeria, lo que hoy es Irán. O quizá ocurriera simultáneamente en ambos lugares.

En el tercer milenio a. de C. se descubrió una variedad de cobre especialmente dura, obtenida al calentar juntos minerales de cobre y de estaño, casi seguro por accidente.



A la aleación de cobre y estaño se le llamó bronce y hacia el año 2.000 a. de C. ya era lo bastante común como para utilizarlo en la confección de armas y corazas. Este acontecimiento histórico más conocido como *Edad de Bronce* coincidió con la guerra de Troya.

Más tarde la suerte iba a favorecer al hombre de la Edad de Bronce con el descubrimiento de un metal más duro, *el hierro*, pero desgraciadamente era muy escaso siendo las únicas fuentes los trozos de meteoritos.

Como sabemos, el hierro puro (hierro forjado) no es demasiado duro. Sin embargo, un instrumento o una armadura de hierro mejoraba cuando este metal formaba una aleación con carbón vegetal denominada *acero* obteniéndose una dureza superior a la del hierro. Estamos por tanto en la *Edad de Hierro*.

Antes de que apuntaran los días gloriosos de Grecia, las *artes químicas* habían alcanzado un estado de desarrollo bastante notable. Esto era particularmente cierto en Egipto, donde los sacerdotes estaban muy interesados en los métodos de embalsamado y conservación del cuerpo humano después de la muerte. Los egipcios no sólo eran expertos metalúrgicos, sino que sabían preparar pigmentos minerales y jugos e infusiones vegetales. De acuerdo con ciertas teorías la palabra *Khemeia* deriva del nombre que los egipcios daban a su propio país; por consiguiente, *Khemeia* puede ser «el arte egipcio».

Una segunda teoría, algo más apoyada en la actualidad, hace derivar *Khemeia* del griego *Khumos*, que significa jugo de plantas; de manera que *Khemeia* sería «el arte de extraer jugo». El mencionado jugo podría ser sustituido por metal, entonces la palabra vendría a significar el «arte de la metalurgia».

Pero, sea cual fuese su origen, *Khemeia* es el antecedente de nuestro vocablo «Química».

Como final de este preludeo, quisiera mencionar algo, un tanto curioso, sobre la longevidad de los alquimistas. Se crea, o no, en las virtudes rejuvenecedoras y de prolongación de la vida del famoso elixir alquimista no deja de producir asombro el hecho de que aquellos alquimistas de los que se dice que obtuvieron la medicina universal o de elixir de larga vida, vivieron en unas épocas azotadas por las guerras, la peste, las epidemias, en las que no existían normas de higiene o de profilaxis; cuando la medicina se encontraba en sus albores, alquimistas que tuvieron que trabajar en sótanos o en espacios lóbregos, carentes de ventilación, aspirando gases sulfurosos, arsenicales, o vapores de plomo o de mercurio, alcanzaron una edad avanzada, cuyo promedio es de 82 años, cuando la esperanza de vida de aquellas épocas se cifraba en unos treinta y tantos años. Voy a trasladar aquí para asombro de incrédulos, la relación de aquellos alquimistas de



los que se conoce, por datos fehacientes, las fechas de su nacimiento y muerte:

San Alberto Magno	1193-1280	vivió 87 años
Roger Bacon	1214-1294	vivió 80 años
Arnaldo de Vilanova	1240-1313	vivió 73 años
Raimundo Lullio	1235-1315	vivió 80 años
Nicolas Flamel	1330-1418	vivió 88 años
Bernardo el Trevisano	1406-1490	vivió 84 años

De todo lo expuesto anteriormente podemos concluir que a mediados del siglo XVIII, la química seguía aferrada a un esquema conceptual especulativo, aunque sí, se trataba ya de un esquema bastante global. Las antiquísimas nociones de unos elementos con base en sus propias cualidades empezaban a ceder paso a otras nuevas, en gran parte por su inadecuación. Las investigaciones químicas, sin embargo seguían mal enfocadas a causa de una teoría algo afín, la del *flogisto*.

Pese a estas desventajas teóricas, la química empírica había avanzado bastante desde los tiempos antiguos, se conocían catorce elementos, aunque no como sustancias elementales. Se conocían los importantes ácidos minerales y comercialmente se fabricaba el aceite del ácido sulfúrico. Se conocían tanto los alcalinos débiles (los carbonatos), como los fuertes (los hidróxidos). Se disponía de numerosas sales para fines medicinales, comerciales, y para la experimentación en el laboratorio. Se conocían pocos compuestos orgánicos, si bien, los químicos-médicos ya llevaban dos siglos entusiasmándose con la destilación. Se reconocía algo de la importancia de lo que es la identidad, se entendía algo de los cambios gruesos que se producen en las reacciones sencillas. Dichos conocimientos permitieron más avances, sobre todo a medida que se daban cuenta de lo poco apropiados que eran los conceptos hasta entonces vigentes. De hecho, en el curso del siglo XVII la alquimia entró en franca decadencia y ya veremos cómo en el siglo XVIII se transformó en lo que hoy llamamos química.

LA TRANSICIÓN

En el periodo anterior el conocimiento químico quedó retrasado respecto a otras ramas de la ciencia.

Así, el científico italiano Galileo Galilei (1564-1642) en los años 1590-99 estudió, como sabemos, el comportamiento de los cuerpos durante su caída. Los resultados de su trabajo condujeron, casi un siglo después, a las importantes conclusiones



del científico inglés Isaac Newton (1642-1727) sobre las *leyes del movimiento y la teoría de la gravedad*; con relación a esta teoría Newton utilizó el cálculo infinitesimal, una nueva y poderosa rama de las matemáticas que él mismo ideó.

Paralelamente a estos dos científicos los químicos hacían progresos apareciendo débiles indicios de la futura revolución química. Dos investigadores, el médico flamenco Van Helmont y el químico irlandés Robert Boyle hacen bastantes progresos en el estudio de los gases. Tienen dificultad en coleccionar gases en un razonable estado puro, porque la mayor parte de las veces los recipientes se rompían cuando preparaban los gases por reacciones químicas. Juan Bautista Van Helmont (1577-1644) nació en Bruselas en una noble familia de Brabante, estudió medicina en Lovaina e instalado en Bruselas practicó la Medicina entre los pobres y prisioneros. Su gran obra fue el descubrimiento de los gases y la distinción entre éstos y los vapores o emanaciones. La palabra «chao» que era equivalente a «gas» es de su invención. Entre los gases estudió particularmente el que llamó «gas silvestre» producido en la combustión del carbón y demostró que era análogo al gas que se desprende por la acción del ácido acético sobre los carbonatos y al que se libera por fermentación alcohólica. Es decir, el gas carbónico que hoy conocemos por CO_2 . A pesar del reducido número de trabajos publicados fue considerado como uno de los químicos más hábiles de todos los tiempos. Fue inicialmente un enemigo de la Alquimia, a la que consideraba como una superstición carente de toda realidad científica, sin embargo, con posterioridad cambió de idea ante un hecho insólito considerado como una de las pruebas más veraces de la realidad de la transmutación alquímica. Los textos que tratan de la Historia de La Alquimia contienen amplios espacios con el relato de este acontecimiento, que veremos a continuación: hacia 1618, después de haber viajado mucho, se instala en Vilverde, cerca de Bruselas, donde reparte su tiempo entre la química y el ejercicio desinteresado de la medicina entre los campesinos. Cierta día recibió la visita de un desconocido que solicita hablar directamente con él. En principio, supuso Van Helmont que se trataba de algún colega que desearía discutir con él algún problema de medicina. Cuando supo que el visitante era un alquimista se negó a la entrevista por considerarla una pérdida de tiempo. Un tanto desconcertado por la firmeza y la seguridad del visitante, quien le ofreció un poco del polvo de proyección preparado a partir de la piedra filosofal que aseguró haber obtenido, para que Van Helmont realizara el experimento de transmutar mercurio en oro, y tras cerciorarse que no se trataba de un loco o de un charlatán, el sabio belga le preguntó al desconocido que por qué se había fijado en él precisamente para realizar el experimento y el visitante le contestó que «deseaba convencer a un ilustre sabio cuyos trabajos honraban al país».



Al final, Van Helmont accedió a realizar la transmutación posible, pero con la condición de que lo haría sin la presencia del visitante, para evitar fraudes y engaños como había sucedido en otras ocasiones.

Van Helmont, con los ayudantes de su laboratorio como testigos, preparó un crisol donde se colocaron ocho onzas (240 g) de mercurio al que hicieron hervir y sobre él proyectaron el cuarto de gramo, aproximadamente, que le había entregado el alquimista desconocido, después de envolverlo en un papel, como le había recomendado. Luego tapó el crisol y esperó durante un cuarto de hora; después llenó el crisol con agua, el cual se rompió violentamente por el súbito enfriamiento. El mercurio había desaparecido y en su lugar había un trozo de oro de peso igual al del mercurio puesto.

Sin duda, aquel hecho afectó al honrado sabio belga, quién no dudó en publicar el hecho bajo su nombre, firma y responsabilidad [J.B. van Helmont: *Ambar Vitae*; Jean Baptiste van Helmont: *Philosophe par Le Fen*, Lieja (1935)]. De crítico y combatiente de la Alquimia, se tornó van Helmont en un ferviente seguidor de la misma hasta el punto de poner el nombre de Mercurio a un hijo suyo. Estudió a fondo la Alquimia y trató, el resto de su vida, de obtener la piedra filosofal, cuyo polvo de proyección había tenido en sus manos, sin conseguirlo. El alquimista desconocido desapareció. Ni siquiera volvió para enterarse del resultado del experimento. Algunos autores señalan que el desconocido visitante podría ser el famoso alquimista Ireneo Filetereo del que se afirma obtuvo la piedra filosofal.

Continuando con la teoría de los gases, Van Helmont pudo observar la evolución de los gases durante las reacciones químicas, pero no pudo lograr coleccionar un gas que no estuviera contaminado por aire. Esto sería resuelto por Stephen Hales.

A continuación expongo un esquema de los principales investigadores que intervinieron en este estado de transición de la química denominada en inglés «PNEUMATIC CHEMISTRY».

STEPHEN HALES

El biólogo inglés Stephen Hales (1677-1761) fue un ministro anglicano de profesión. Se educó en Cambridge donde más tarde publicó dos libros titulados *Vegetable Staticks* (1727) y *Haemastaticks* (1733) donde se describen sus experimentos y los resultados obtenidos. Hales se interesa por la renovación de las sustancias en las plantas y observa que las plantas absorben aire a través de sus hojas. Observó que el aire absorbido puede ser fijado y convertido en material sólido. Realizó algún expe-



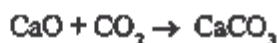
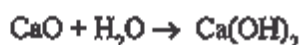
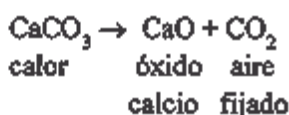
rimento coleccionando y midiendo el aire fijado en sustancias sólidas. Estos experimentos fueron posibles gracias a la invención de la bomba neumática artesanal, una extraordinaria máquina, muy simple, para recoger gases sobre agua.

Los vapores formados como resultado de una reacción química, pudieron conducirse, a través de un tubo, al interior de un recipiente que se había colocado lleno de agua y boca abajo en un jofaina con agua. El gas burbujeaba dentro del recipiente, desplazando el agua y forzándola a través del fondo abierto. Al final, Hales obtuvo un recipiente del gas o gases formados en la reacción.

Hales no distinguió entre los diferentes gases que preparó y confirmó, ni tampoco estudió sus propiedades, pero el solo hecho de haber ideado una técnica sencilla para retenerlos era de la mayor importancia.

El químico Joseph Black (1728-1799) dio otro importante paso adelante. Este nació en Bordeaux, hijo de un vendedor de vino escocés. Realizó sus estudios en Escocia en la Universidad de Glasgow y Edimburgo. En Glasgow llegó a ser estudiante asistente de Willian Cullen, profesor de la Facultad de Medicina, pero más polarizado a la química que a la medicina. En el año 1751 Black pasa a Edimburgo donde lee su Tesis Doctoral en Medicina (1754) sobre un problema químico (era la época en que la medicina y la mineralogía estaban estrechamente interrelacionadas) publicando sus resultados en 1756.

Black, lo que hizo, fue calentar la piedra caliza (carbonato de calcio), ésta se descompuso liberando un gas y dejando cal (óxido de calcio). El gas liberado pudo recombinarse con el óxido de calcio para formar de nuevo carbonato de calcio. La secuencia de reacciones es modernamente como sigue:



Los descubrimientos realizados por Black fueron importantes por varias razones



y una de ellas fue que demostró que las sustancias gaseosas no sólo son liberadas por los sólidos y líquidos, sino que pueden combinarse con ellos para producir cambios químicos. Este descubrimiento quitó a los gases mucho misterio. También demostró que cuando el óxido de calcio se abandonaba en el aire vuelve lentamente a carbonato cálcico. De aquí dedujo que había pequeñas cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera. He aquí la primera indicación de que el aire no es una sustancia simple y que, por tanto, pese a la concepción griega, no es un elemento según la definición de Boyle. Consiste por lo menos en dos sustancias diferentes, el aire ordinario y el dióxido de carbono.

Black estudiando las propiedades del dióxido de carbono, observó que una vela no podría arder en su seno. Una vela encendida en un recipiente cerrado lleno de aire ordinario termina por apagarse, y el aire que queda no puede volver a mantener una llama. Este descubrimiento parece razonable, puesto que la vela encendida ha formado dióxido de carbono. Pero cuando el dióxido de carbono del aire encerrado se absorbe mediante sustancia caústicas, queda algo de aire sin absorber. Este aire que queda y no tiene dióxido de carbono, tampoco puede mantener una llama.

Black pasó este problema a uno de sus estudiantes el escocés Daniel Rutherford (1749-1819), el cual metió un ratón en un volumen cerrado de aire hasta que murió. Encendió una vela en el gas que quedaba y se apagó. Luego pasó el aire a través de una sustancia capaz de absorber el dióxido de carbono, por ejemplo, la potasa caústica. El aire restante era incapaz de mantener la combustión. Rutherford dio cuenta de este experimento en una disertación médica en el año 1772 en Edimburgo. Puesto que tanto él como Black estaban convencidos de la validez de la teoría del flogisto, trataron de explicar sus resultados en términos de dicha teoría: a medida que el ratón respiraba y la vela ardía, el flogisto se liberaba y se unía al aire, junto con el dióxido de carbono formado. Al absorber más tarde el dióxido de carbono, el aire restante seguía conteniendo mucho flogisto, tanto, que estaba saturado de él; no podía aceptar más. Por eso, los objetos no seguían ardiendo en él.

Por este razonamiento, Rutherford llamó al gas que había aislado «aire flogistizado». Hoy en día lo llamamos nitrógeno y concedemos a Rutherford el crédito de su descubrimiento, sin embargo, el gas fue encontrado independientemente casi por el mismo tiempo por CAVENDISH, PRIESTLEY y SCHEELE.

HENRY CAVENDISH

El químico inglés Henry Cavendish (1731-1810) fue el descubridor del *hidrógeno*, gas conocido durante varios años como *aire inflamable*.



Cavendish fue un excéntrico acaudalado cuyas investigaciones sobre los gases las guardaba para sí y no las publicaba. Afortunadamente, sí publicó los resultados de una experiencia sobre algunos gases. Estaba interesado en un gas que se formaba cuando ciertos metales como el hierro son tratados con ácidos. Este gas fue aislado con anterioridad por Boyle y Hales, pero fue Cavendish quien lo recogió y lo sometió a un estudio sistemático, motivo por el que se le atribuye su descubrimiento. Sus investigaciones fueron leídas ante la Royal Society en una serie de tres publicaciones.

Cavendish determinó la diversidad de varios gases. Averiguó que el *hidrógeno* es extraordinariamente ligero, con una densidad de sólo una catorceava parte de la del aire. Tenía una segunda propiedad extraña: a diferencia del dióxido de carbono y del mismo aire, era fácilmente inflamable. Cavendish, considerando su extrema ligereza e inflamabilidad, especuló con la posibilidad de que fuese el mismo *flogisto* aislado.

En 1783 Cavendish publicó los resultados de sus experimentos, que probaban que el agua se formaba cuando el aire inflamable (H_2) se quemaba junto con el aire deflogisticado (O_2) y a continuación mostró que el ácido nítrico (NO_3H) se producía por acción de una chispa eléctrica a través del aire atmosférico.

JOSEPH PRIESTLEY

Joseph Priestley fue un cura inglés que aisló en tan sólo unos años varios gases nuevos. Si tenemos en cuenta de que no tenía ninguna preparación formal como científico, sus logros resultan aún más extraordinarios.

Priestley (1733-1804), hijo de un modesto tejedor, nació cerca de Leeds. Su madre murió cuando tenía siete años y una tía se encargó de su educación. El deseo de ella era que se hiciera pastor de la Iglesia reformista (disidente). Al dejar la Academia Teológica de Daventry, consiguió un puesto como ayudante de un pastor presbiteriano en el pueblo de Needham Market. Su escaso sueldo y la disconformidad de los feligreses con la liberalidad de sus opiniones religiosas, motivaron su dimisión. En 1761, fue contratado para impartir lenguas clásicas en la Academia de Warrington. Aquí conoció a Matthew Thorne, un médico de Liverpool, que daba clase de química en la Academia. Aunque es posible que en aquel momento se sintiera atraído a la química, no realizó ningún trabajo, centrandose sus actividades en la enseñanza, la historia y la biografía. Su libro «Cuadro de la Biografía», escrito en forma de tablas le valió un doctorado honorífico en Letras por la Universidad de Edimburgo.

En sus viajes a Londres, Priestley entabló contacto con varios personajes, entre



ellos el estadista y filósofo Benjamín Franklin, quien estimuló su interés en Ciencias y le instó a escribir sobre temas científicos. Su «Historia del Estado Actual de la Electricidad» (1767) en gran parte una recopilación de textos ya publicados en las «Transacciones Filosóficas de la Royal Society» fue uno de los resultados de esta incitación. El éxito de la historia le impulsó a planificar una serie de libros sobre la historia de las ciencias, aunque por diversas razones sólo se llegó a publicar un volumen: «La Historia de la Óptica» (1772).

En 1787, Priestley fue nombrado pastor de la Iglesia Unitaria de Leeds, donde inició en serio sus actividades científicas, con el estudio de los gases. Estando su casa al lado de una fábrica de cerveza, se propuso realizar experimentos con el aire fijado que aparecía sobre la superficie de la malta remojada en fermentación, y de dichos experimentos, dedujo que quizás, las cualidades medicinales de las aguas de Spa y Pymont, se debían a la disolución del aire fijado. Al disolver dicho aire en agua, se producía un sabor agradable junto con efervescencia, este invento del «agua de soda» le aportó mucha publicidad y la medalla Copley otorgada por la Royal Society. Actualmente puede considerarse a Priestley como el padre de la moderna industria de refrescos.

En 1772, a causa de su fama, Sir William Petty (1737-1805), segundo conde de Shelburne (Chelban), le invitó a ser su bibliotecario y a hacerle compañía. Lord Shelburne acababa de dimitir como secretario de estado debido a la simpatía que sentía por las colonias americanas (en aquel momento en rebelión contra Inglaterra). Pudo ofrecerle a Priestley un sueldo tentador y suficiente tiempo libre para proseguir con sus intereses científicos y literarios. Los ocho años que Priestley pasó con Lord Shelburne fueron muy productivos; su trabajo anterior con los gases dio buenos resultados con la investigación del *óxido nítrico*, *óxido nitroso*, *cloruro de hidrógeno*, *amoníaco*, *dióxido sulfúrico*, *tetracloruro de silicón* y *oxígeno*. Como habíamos dicho ya existía evidencia de cada uno de ellos, pero Priestley fue quien los recolectó sistemáticamente y los estudió. Sustituyó el agua donde los recogía por el mercurio y así no los perdía en sus experimentos.

Priestley seguía escribiendo ingentes cantidades de trabajo, pero en vista del volumen de sus escritos, Sir Joseph Banks, el secretario de la Royal Society le sugirió que buscara otra editorial. En consecuencia, se publicaron seis tomos con el título «Experimentos y Observaciones Sobre los Diferentes Tipos de Aire» a intervalos irregulares entre 1774 y 1786. En 1780 dejó de trabajar para Lord Shelburne que continuó pagándole una generosa suma anual hasta el final de sus días.

Trabajó como pastor en la Nueva Casa de Reunión en Birmingham y también se hizo miembro de la Sociedad Lunar, llamada así por celebrar sus sesiones las noches



en que había luna llena, para que los asistentes pudiesen volver a sus casas alumbrados por la luz de la luna. La Sociedad fue fundada, alrededor de 1776 por Erasmus Darwin (abuelo de Charles y autor del «Jardín Botánico»).

El gas, oxígeno, había sido aislado y estudiado por Scheele en Suecia, pero su libro «Tratado Químico del Aire y Fuego» no apareció hasta 1777 por lo que el gas había sido bien conocido antes de la publicación del libro.

CARL WILHELM SCHEELÉ

Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) nació en Stralsund, la ciudad principal de lo que era en aquel entonces la Pomerania Sueca, donde su padre era mercader.

Por tratarse de una familia numerosa, no le pudieron dar una educación académica y a la edad de catorce años, empezó a trabajar como aprendiz de un boticario en Göteborg, y más tarde, de otro en Malmö. Sus maestros le brindaron la oportunidad de estudiar química y hacer uso de la farmacia para realizar experimentos con las sustancias existentes en ella. Más tarde pasa a trabajar en lo mismo en Köping, Uppsala y Estocolmo, en este último lugar inició sus propias investigaciones. En Uppsala se hizo amigo de Bergmann quien le animó en su trabajo y le sugirió la investigación de la *magnesia nigra* (MnO_2), que dio lugar al descubrimiento de la *barita*, el *cloro*, y el *oxígeno*, abriendo paso para que Gahn pudiera descubrir el *manganeso*.

Durante su corta vida plagada de pobreza, hizo grandes avances en la química práctica. Su técnica para el aislamiento de las sales cálcicas condujo al hallazgo de los ácidos orgánicos tales como *tartárico*, *oxálico*, *gálico*, *pirogálico*, *írico*, *múxico*, *láctico* y *cítrico*. Sus investigaciones en el campo de la química inorgánica dieron lugar a los ácidos *hidrofluórico*, *hidrocianico*, *nitrosulfónico*, *molibdicó*, *tungsticó*, *fluosilícico* y *arsénico*. Obtuvo la *glicerina* del aceite de oliva después de saponificarlo con PbO obteniendo a su vez por el procedimiento clásico de las ciencias farmacéuticas el yeso de plomo; también aisló la lactosa de la leche.

Determinó la naturaleza del *sulfuro de hidrógeno*, *borax*, *sal microcósmico* y *azul prusiano* y demostró que la *plombagina* no contiene plomo, sino que se trata simplemente de un carbono asociado con trazas de hierro. También preparó la *arsina* y el *arsenito sódico*, pigmento verde todavía conocido con el nombre de verde de Scheele, e ingenió nuevos métodos de preparar otras muchas sustancias.

En el campo de la Química Analítica estudió entre otras cosas los efectos de diferentes secciones del espectro sobre el cloruro de plata, observando que el ennegrecimiento fue aumentando por la parte violeta y de hecho se extendía más allá dentro de la región oscura, conocida actualmente como espectro ultravioleta.



En un libro sobre el Aire y el Fuego decía que la combustión ocurre en el aire, pero creía que era menester determinar la composición del aire antes de poder entender la naturaleza del fuego. Partidario de la teoría del flogisto se propuso estudiar la evolución del mismo a partir de varias sustancias dentro de un limitado volumen de aire y determinar así su efecto sobre el volumen y propiedades del aire. Pensaba que el aire se combinaba con el flogisto cedido por la sustancia en combustión y perdía a su vez volumen. Por lo que suponía que el flogisto se unía a un componente del aire normal y se fugaba en forma de calor. Denominó a dicho componente «aire de fuego» y se propuso aislarlo.

En las teorías de Scheele, la luz también tenía la misma importancia que el calor. Cuando descubrió que la luz hacía ennegrecer el cloruro de plata, argumentaba que la sustancia obtenía el flogisto de la luz.

En resumen podemos decir: los estudios realizados en este período de transición influyeron en el desarrollo de la química por varias razones. Llamaron la atención de los científicos a un grupo de sustancias gaseosas que se veía eran distintas unas de otras. Aunque todavía se podrían llamar «aire», era difícil no aceptar que se diferenciaban entre sí, a causa de las diferencias de su composición. El concepto de que el aire era un elemento se rendía ante el concepto del gas como un estado de la materia.

La capacidad de los gases para formar parte de combinaciones líquidas y sólidas, tuvo como consecuencia, un mejor entendimiento de la combinación química. Si se pudo obtener un gas de un sólido, someterlo a una serie de procesos y devolverlo al sólido en su forma original, tendrían que haber ciertas sustancias fundamentales de naturaleza primaria que componían las sustancias de la tierra. Nació la idea de que la composición era básica al entendimiento de la materia. Hasta este momento, todavía se podía incluir el flogisto en las explicaciones sin grandes anomalías, pero pronto éstas serían tales que hicieron que todo el sistema se rompiera, siendo sustituido por uno más razonable, más fructífero y más completo. Así se asentaron los principios de la Química Moderna.

LA ÉPOCA DE LAS TEORÍAS FUNDAMENTALES

Durante el período comprendido entre 1750 y 1860 se observó que la química iba madurando como ciencia. Después de la muerte de Boyle, se iba perdiendo interés en los vestigios de la alquimia que durante mucho tiempo había constituido una barrera para que los científicos estudiaran la materia. Dichos vestigios no habían desaparecido por completo ni mucho menos en 1775, pero la disconformidad con



ellos era cada vez más patente. La situación precisaba el genio de un Lavoisier para dar una nueva y correcta orientación a la química. Las técnicas químicas y los conocimientos de hecho ya habían llegado a un estado que permitiría que la visión de Lavoisier pudiera realizarse.

Una vez descartado lo tradicional, el próximo paso, la introducción del atomismo químico no tardó en llegar. Dalton tenía la capacidad para reconocer el valor de un concepto atómico de la química, aunque carecía del genio suficiente para implantarlo. Los trabajos de Berzelius, Gay-Lussac, Davy, Dumas, Liebig, Laurent, Gerhardt, Kekulé y muchos más aportaron algo vital al entendimiento de los elementos químicos y su comportamiento. Era tan grande el problema que existía con los pesos atómicos que los mayores intelectos químicos no pudieron con él durante medio siglo. Este periodo caótico llegó a su fin cuando se pudo reunir suficientes conocimientos del tema a través de diferentes procedimientos y componer finalmente este puzzle hacia 1860.

LAVOISIER Y LA REVOLUCIÓN QUÍMICA

Los numerosos e importantes descubrimientos hechos en relación con los gases, como vimos anteriormente, tenían que ser reunidos en una teoría global, lo que ocurrió como veremos a finales del siglo XVIII. Su autor estaba en escena. Era el químico francés Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). Hijo de un abogado adinerado de París, su madre murió cuando él tenía cinco años, y una tía soltera se encargó de su educación. Su padre pudo pagarle la mejor formación académica en el Colegio Mazarin. Aunque su familia esperaba que se dedicara a la abogacía, el joven Antoine se encontraba fuertemente atraído por las ciencias y hacía grandes adelantos bajo la supervisión del Abbé de la Caille, un profesor en matemáticas y astronomía.

Como consecuencia de las enseñanzas de Guillaume François Rouelle (1703-1770) en su tienda de boticario, Lavoisier se interesaba por la química.

Un grupo bastante escogido de auditorios, escuchaba una charla impartida por el Profesor Bourdelain amigo íntimo de Rouelle, y éste a continuación demostraba prácticamente los fenómenos químicos de que hablaba el conferenciante, muchas veces contradiciendo las afirmaciones de Bourdelain. Aunque los asistentes no se interesaban mucho por la química si les encantaba la gracia con que exponía Rouelle. Tuvo una notable influencia sobre la química francesa. Además del auditorio mencionado anteriormente, científicos de la talla de Macquer, Bayen y Cadet asistieron a sus ponencias. Aunque era un adepto de la teoría del flogisto, también era escéptico. Su importancia real para la química, aparte de sus enseñanzas, fue su reconocimiento de



las sales, como producto de reacción de los ácidos y bases. Incluso distinguió las sales ácidas y, de forma confusa, las sales básicas.

El entusiasmo de Lavoisier para las ciencias se estimuló aún más, en 1767, cuando pudo viajar con el geólogo Jean Etienne Guettard (1715-1786) para realizar un estudio de los minerales de Alsacia y Lorena. Un año más tarde, recibió el Premio de la Academia por la mejor redacción sobre el problema del alumbrado de una gran ciudad en la cual ponía de manifiesto su capacidad de captar lo esencial de un problema, en este caso por su forma de estudiar la naturaleza de los alumbrantes y la eficacia de los aparatos para que éstos alumbraran.

La Academia Real de las Ciencias lo eligió como socio adjunto en 1768 cuando tenía 25 años. Un año más tarde al morir el metalúrgico Jars, se hizo socio pleno. Los miembros de la Academia sin duda reconocían la capacidad del joven aficionado, que era lo suficientemente rico para poder sufragar los gastos de las investigaciones científicas. Durante el resto de su vida, se le pedían continuamente informes sobre los problemas que acuciaban a la Academia. De todos modos, todas sus energías no se concentraban sólo en los esfuerzos científicos, ya que en 1768 compró una pequeña participación en la Ferme Generale, una empresa para la recaudación de impuestos. Los impuestos no eran recaudados directamente por el Gobierno sino se vendía la concesión a la Ferme, un grupo de empresarios independientes, que se organizó para realizar la recaudación como una empresa que daría beneficio. Después de unos años, Lavoisier se hizo socio plenario de la Compañía. A dichos intereses empresariales, Lavoisier también debía su matrimonio. Uno de los socios de la Ferme, Jacques Paulze—su casa era meca para los filósofos y políticos más destacados de París—tenía una hija de catorce años, Marie-Anne Pierrette, quien se casó con Lavoisier en diciembre de 1771. Trabajaba estrechamente con su marido y le suplía en las áreas que él no dominaba.

En 1775, Lavoisier fue nombrado Director de la Pólvora y se trasladó al Arsenal donde montó su laboratorio. Allí, estudió la calidad del salitre que se usaba en la pólvora francesa y lo mejoró de tal forma que la pólvora francesa hasta entonces la peor de Europa, se convirtió en la mejor. También realizó como veremos después, experimentos sobre la combustión y respiración. Su laboratorio no sólo era un Centro de Investigación, sino también tenía fama como lugar de reunión de los científicos más destacados de Europa e incluso América (Franklin y Jefferson).

Desde el principio de sus investigaciones químicas, Lavoisier reconoció la importancia de las mediciones precisas. Así, su primer trabajo importante, en 1764, trata sobre una investigación de la composición del yeso: el cual calentó para extraer el agua que contenía, y midió luego la cantidad de agua liberada, aplicando el mismo



sistema que Black y Cavendish a la medición de los cambios químicos. Lavoisier, sin embargo, era más sistemático, y la utilizó como instrumento con el que derribar las antiguas teorías que, ya inservibles, no hacían sino entorpecer el progreso de la química.

Todavía había quienes, por ejemplo, aún en 1770 mantenían que la transmutación era posible, puesto que el agua se transformaba en tierra calentándola durante mucho tiempo. Esta suposición parecía razonable (incluso en un principio a Lavoisier), puesto que calentando agua durante varios días en un recipiente de cristal, se formaba un residuo sólido.

Lavoisier decidió examinar esta supuesta transmutación con algo más que una simple inspección ocular. Durante 101 días hirvió agua en un aparato que condensaba el vapor y lo devolvía al matraz, de manera que en el curso del experimento no se perdía sustancia alguna. Y, por supuesto no olvidó la medida. Pesó el agua y el recipiente, antes y después de la ebullición.

El sedimento sí apareció, pero el agua no cambió de peso durante la ebullición. De forma que el sedimento no pudo formarse a partir del agua. Sin embargo, el recipiente, una vez extraído el sedimento resultó que había perdido peso, una pérdida que era justamente el peso del sedimento. En otras palabras, el sedimento no era agua convertida en tierra, sino material del vidrio atacado por el agua caliente y precipitado en forma de fragmentos sólidos. He aquí un ejemplo claro en el que la medida pudo conducir a la demostración de un hecho razonable, mientras que el testimonio de los ojos sólo llevaba a una conclusión falsa.

Lavoisier se interesó en la combustión, primero, porque ésta era el gran problema de la química del siglo XVIII, y segundo, porque uno de sus primeros triunfos fue un ensayo sobre la mejora de las técnicas del alumbrado público en 1760-1769. Empezó en 1772, cuando se unió a otros químicos para comprar un diamante que calentó en un recipiente cerrado hasta que desapareció. La formación de dióxido de carbono fue la primera demostración clara de que el diamante era una forma de carbono y, por lo tanto, estaba estrechamente relacionado con el carbón más que con ninguna otra cosa.

Calentó metales como el estaño y el plomo en recipientes cerrados con una cantidad limitada de aire. Ambos metales desarrollaron en su superficie una capa de calcinado hasta un momento determinado en que esta no avanzaba más. Los partidarios de la teoría del flogisto dirían que el aire había absorbido del metal todo el flogisto que podría retener. Pero, como era bien sabido el calcinado pesaba más que el propio metal, y sin embargo, cuando Lavoisier pesó todo el recipiente (metal + calcinado + aire, etc.) después del calentamiento, pesaron justamente lo mismo que



antes de calentarlos.

De este resultado se deducía que si el metal había ganado peso al calcinarse parcialmente, entonces algo en el recipiente tenía que haber perdido una cantidad de peso equivalente. Ese algo, al parecer, podría ser el aire, y en ese caso debería haber un vacío parcial en el recipiente. Efectivamente, cuando Lavoisier abrió el matraz, el aire se precipitó en él, tras lo cual comprobó que el matraz y su contenido habían ganado peso.

Lavoisier demostró de esta manera que la calcinación de un metal no era el resultado de la pérdida del misterioso flogisto, sino la ganancia de algo muy material: una parte del aire.

Ahora le era posible aventurar una nueva explicación sobre la formación de los metales a partir de sus menas; la mena era la combinación del metal y gas. Cuando se calentaba con carbón, este tomaba el gas del metal, formando dióxido de carbono y dejando tras de sí el metal.

Así, mientras Stahl decía que el proceso de obtención de un metal por fusión del mineral correspondiente implicaba el paso del flogisto desde el carbón al mineral, Lavoisier decía que lo implicado en el proceso era el paso de gas desde el mineral al carbón. Pero estas dos explicaciones, aunque inversas, ¿no explicaban el mismo hecho?, ¿había alguna razón para preferir la explicación de Lavoisier a la de Stahl?. Sí, la había porque la teoría de Lavoisier sobre la transferencia de gas podía explicar los cambios de peso durante la combustión.

El calcinado era más pesado que el metal a partir del cual se formaba a consecuencia del peso de la porción de aire que se incorporaba. La madera también ardía con adición de aire a sus sustancias, pero no se observaba aumento de peso porque la nueva sustancia formada (CO_2) era a su vez un gas que se desvanecía en la atmósfera. Las cenizas que quedaban eran más ligeras que la madera original. Si se quemara madera en un espacio cerrado, los gases formados en el proceso quedarían dentro del sistema, y entonces podría demostrarse que las cenizas, más los vapores formados, más lo que quedaba de aire, mantendrían el peso original de la madera más el aire.

Lavoisier notó, en efecto, que si en el curso de los experimentos se tenían en cuenta todas las sustancias que tomaban parte en la reacción química y todos los productos formados, nunca habría un cambio de peso (o, utilizando el término más preciso de los físicos, un cambio de masa).

Por eso, Lavoisier mantuvo que la masa no se creaba ni se destruía, sino que simplemente cambiaba de una sustancia a otra. Esta es la ley de conservación de la masa, que sirvió de piedra angular en la química del siglo XIX.

Lavoisier no estaba totalmente satisfecho. El aire se combinaba con los metales



para formar un calcinado y con la madera para formar gases, pero no todo el aire se combinaba de esta manera, sino que sólo lo hacía aproximadamente una quinta parte. ¿Por qué ocurría de este modo?

Priestley, descubridor del aire deflogisticado, visitó París en 1774 y describió a Lavoisier sus hallazgos. Lavoisier comprendió inmediatamente su significado, y en 1775 publicó sus puntos de vista.

El aire no es una sustancia simple sino una mezcla de dos gases en una proporción de 1:4. Un quinto del aire era aire deflogisticado de Priestley. Era esta porción del aire, y sólo ésta la que se combinaba con los materiales en combustión o en proceso de enmohecimiento; la que se transfería desde el mineral al carbón; la que era esencial para la vida.

Fue Lavoisier quien dio a este gas un nombre, **oxígeno**, derivado de los vocablos que en griego significan **productor de ácidos**, pues Lavoisier tenía la idea de que el oxígeno era un compuesto necesario de todos los ácidos. En esto, como se descubrió posteriormente, estaba equivocado.

Las cuatro quintas partes restantes del aire, que no podían mantener la combustión ni la vida (el aire flogisticado de Rutherford), constituían también un gas diferente. Lavoisier lo llamó **azoe** (palabra griega que significa «sin vida»), pero posteriormente lo reemplazó el término **nitrógeno**.

Lavoisier estaba convencido de que la vida se mantenía por algunos procesos semejantes a la combustión, puesto que lo que inspiramos es aire rico en oxígeno y pobre en dióxido de carbono, mientras que el que exhalamos está empobrecido en oxígeno y enriquecido en dióxido de carbono. El y su colaborador, Pierre Simon de La Place (1749-1827) intentaron medir el oxígeno tomado y el dióxido de carbono liberado por los animales. Los resultados fueron algo desconcertantes, pues parte del oxígeno inhalado no aparecía en el dióxido de carbono expirado.

En 1783 Cavendish aún estaba trabajando con sus gases inflamables. Quemó una muestra de éste y estudió sus consecuencias, comprobando que los vapores producidos al arder se condensaban para formar un líquido que, al investigarlo, resultó ser nada menos que agua.

Este experimento fue de importancia crucial. En primer lugar, era otro duro golpe a la teoría griega de los elementos, porque demostró que el agua no era una sustancia simple sino el producto de la combinación de dos gases.

Lavoisier enterado del experimento, llamó al gas de Cavendish **hidrógeno** (productor de agua), y dedujo que el hidrógeno ardía por combinación con el oxígeno, y que, por tanto, el agua era una combinación de hidrógeno y oxígeno. También consideró que las sustancias de los alimentos y de los tejidos vivos contenían una combi-



nación de carbono e hidrógeno, de manera que, cuando se inhalaba aire, el oxígeno se consumía formando no sólo dióxido de carbono a partir del carbono, sino también agua a partir del hidrógeno. Esta explicación aclaraba el hecho de que parte del oxígeno no podía medirse en sus primeros experimentos sobre la respiración.

Las nuevas teorías de Lavoisier suponían una completa racionalización de la Química. Todos los misteriosos principios habían caído con ella. En el futuro solamente interesarían a los químicos los materiales que pudieran pesarse o medirse.

Tras establecer esta base, Lavoisier comenzó a levantar la superestructura. Durante la década de 1780-1789, en colaboración con otros tres químicos franceses, Louis Bernard Guyton de Morveau (1737-1816), Claude Louis Berthollet (1748-1822) y Antoine François de Fourcroy (1755-1808), elaboró un sistema lógico de nomenclatura que se publicó en 1787.

La Química no volvería a ser un fárrago de nombres como en los días de la alquimia, cuando cada tratadista utilizaba su propio sistema y confundía a los demás. Se tendría en lo sucesivo un sistema reconocido que todos pudieran utilizar; un sistema basado sobre principios lógicos, de modo que cualquiera pudiera deducir los elementos de que estaba formado un compuesto a partir del nombre de éste. Por ejemplo, el óxido de calcio está formado por calcio y oxígeno; el cloruro sódico, de sodio y cloro, etc.

Asimismo, se puso a punto un cuidadoso sistema de prefijos y sufijos que proporcionara alguna indicación acerca de las proporciones en las que estaba presente los distintos elementos. Así, el dióxido de carbono contenía más oxígeno que el monóxido de carbono. Por otra parte, el clorato potásico tenía más oxígeno que el clorito y el cloruro no tenía nada de oxígeno.

En 1789 Lavoisier publicó un libro titulado «Tratado Elemental de Química» que aportó al mundo científico una visión unificada del conocimiento químico en base a sus nuevas teorías y nomenclaturas. Fue el primer texto moderno de química.

Entre otras cosas, el libro incluía una lista de todos los elementos conocidos hasta entonces (o, más bien, de todas las sustancias que Lavoisier consideró elementos y que no pudo descomponer en otras más sencillas).

Es un mérito que hay que reconocer a Lavoisier el que de las treinta y tres sustancias descritas, solamente dos estaban totalmente equivocadas. Estas dos eran la luz y el calórico, que, como resultó evidente, en las décadas posteriores a Lavoisier, no eran sustancias, sino formas de energía.

De las 31 restantes, algunas eran verdaderos elementos de acuerdo con los requisitos actuales. Estos incluían sustancias (oro y cobre) que se conocían, como vimos anteriormente, desde antiguo, así como otras, como el oxígeno y el



molibdeno, que se habían descubierto poco antes de la publicación del libro de Lavoisier.

Hubo alguna oposición ante los nuevos puntos de vista de Lavoisier, sobre todo por ciertos partidarios o acérrimos del flogisto, Priestley entre ellos. Pero otros aceptaron con entusiasmo la nueva química. Bergman, en Suecia, fue uno de éstos. En Alemania, el químico Martin Heinrich Klaproth (1743-1817), fue uno de los primeros conversos. Su aceptación de las teorías de Lavoisier fue importante, ya que al ser Stahl alemán, habría ciertas tendencias entre los germanos a adherirse al flogisto como gesto patriótico.

El mismo año en que se publicó el libro de Lavoisier, triunfó la Revolución Francesa, degenerando rápidamente en los feroces excesos del terror. Lavoisier, por desgracia, estaba relacionado con una organización de recaudadores de impuestos que los revolucionarios consideraban un instrumento de corrupción de la odiada monarquía. Jean Noel Hallé, un ex-cura, testificó en el juicio que se le hizo a Lavoisier que éste había prestado muchos servicios a Francia. Según la leyenda, al parecer infundada, dicha información provocó al juez presidente, Coffinhal, quien pronunció: «A la República, no le hacen falta los científicos. Que la justicia siga su curso». Ejecutaron en la guillotina a todos los funcionarios que lograron prender. Uno de ellos fue Lavoisier.

Así, el 8 de mayo de 1794, uno de los más grandes químicos que jamás ha existido, fue muerto innecesaria e inútilmente en lo mejor de su vida. Bastó un instante para cercenar esa cabeza y quizás varios siglos no basten para producir otra igual, dijo Joseph Lagrange, el insigne matemático. Lavoisier es universalmente recordado en la actualidad como el Padre de la Química Moderna.

En resumen, podemos concluir que en el período entre 1770 y 1800 la Química merece el calificativo «Revolucionario». Aunque van Helmont y Boyle se habían mostrado disconformes con el estado de la Química en el siglo XVII y se habían acercado a su reforma, no pudieron barrer los errores acumulados de dos milenios, sobre todo cuando ellos mismos creían positivamente en la transmutación de los metales.

Un siglo después de Boyle, la mente clara y escéptica de Lavoisier, fue capaz de desencadenar la muy ansiada revolución. Los adelantos en la Química Neumática enfocaron la atención en el elemento clave, el oxígeno, y dieron un golpe mortal al concepto del aire y agua como elementos. Posteriores trabajos realizados por Lavoisier sobre la respiración y la naturaleza compuesta del agua, indicaron que la teoría del flogisto no era necesaria para explicar los principales fenómenos químicos. Al margen de su desafortunada doctrina del calórico, sus explicaciones de la combus-



tión, la calcinación y la respiración en función del oxígeno, marcaron una dirección fructífera para la Química.

El éxito de la revolución de Lavoisier se vio reforzado por su reforma de la nomenclatura química, junto con Berthollet, Fourcroy y Guyton de Morveau. El principio de que un nombre debe corresponder a la composición elemental de un compuesto, estableció un orden que hace que la Química goce de una transparencia no siempre presente en otras ramas de la Ciencia. Para concluir, Lavoisier garantizó la difusión completa de sus teorías al publicar el *Tratado Elemental de La Química* que puso de manifiesto lo consecuente y claro de su nuevo punto de vista. Aunque mucho quedaba por entender, Lavoisier abrió paso al progreso al eliminar los cuatro elementos de la Antigüedad y el intangible flogisto, sustituyéndolos por el concepto de los elementos como las sustancias fundamentales de la Química que no podían simplificarse más. Esta base propiciaría unos avances dramáticos durante los siglos venideros.

Por último, quisiera decir que Lavoisier, para mí, perteneció a una especie prácticamente extinguida de animales intelectuales, que fue capaz de armonizar la Química de aquél entonces y darle un cariz como Ciencia.



BIBLIOGRAFÍA

- ASIMOV, I.: *A short History of Chemistry-An Introduction to the Ideas and Concepts of Chemistry*, Dobleday and Co., Inc., New York.
- IHDA, A. J.: *J. Chem. Educ.*, 33, 107 (1956).
- FORBER, R. J.: *A short History of The Art of Distillation*, Brill, Leyden, 1948, p. 150.
- BOYLE, R.: *Origin of Forms and Qualities*, in T. Birch (ed.), *Works of The Honourable Robert Boyle*, 5 vols., vol. 2, p. 470.
- BLACK, Joseph: *De Humore Acido o Cibis Orto et Magnesia Alba*, Univ. of Edinburgh, Dissertation, 1754. An English translation by Alexander Crum Brown was made available by Leonard Dobbin to *J. Chem. Educ.*, 12, 225-268 (1935).
- CAVENDISH, H.: *Phil. Trans.*, 56, 141 (1766).
- Priestley's work on gases was actively published as three volumenes under the title «*Experiments and Observations on Different Kinds of Air*», Johnson, London, 1774, 1775, 1777.
- LAVOISIER, A. L.: «*Mémoires de L'Académie Royale des Sciences*», 1770, pp 73-90 (published in 1773).
- LAVOISIER: «*Mémoires de Chimie*», 2, 85 (1805); *Oeuvres*, L., 103 (1862). Translation from D. Mckie, «*Antoine Lavoisier, The Father of Modern Chemistry*», Lippincott, Philadelphia, (1935), p. 117.