

La Química de Lavoisier
GUILLERMINA MARTÍN REYES
Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia



Antoine Laurent Lavoisier
(1743-1794)

«Se necesitó sólo un instante para cortar su cabeza, y probablemente cien años no serán suficientes para producir otra como ella»

Lagrange (1794)

1.- LAVOISIER Y LA REVOLUCIÓN QUÍMICA

Sobre el papel desempeñado por Lavoisier en la revolución que experimentó la Química hacia finales del siglo XVIII se han realizado numerosos estudios. Ciertamente se ha mitificado mucho a este personaje, y aunque no es mi pretensión restarle méritos, ni poner en entredicho su genialidad, sí está en mi ánimo situarle debidamente a él y a sus otros colegas químicos contemporáneos, con los que tuvo una importantísima colaboración e intercambio de información.

Sin duda si algo caracteriza el trabajo de muchos de los químicos europeos del XVIII es el hábito de comunicar sus descubrimientos a los otros, algo impensable en otras épocas anteriores, en las que oscuros alquimistas trabajaban ocultando toda la información detrás de un lenguaje cargado de símbolos y nada sencillo de descifrar.

Pues bien, a esta difusión de ideas y hallazgos contribuyó especialmente la Real Academia de Ciencias de París fundada en 1666, ya que obligaba a todos sus miembros a informar periódicamente de los resultados de sus estudios¹. También la existencia de

¹ La Academia estuvo ligada al Estado desde su fundación y controló gran parte de la actividad científica del país. Es bien conocido su apoyo a muchas de las expediciones científicas llevadas a cabo fuera de tierras francesas. Anualmente editaba un volumen de *Memorias*, además de la publicación *Histoire de l'Académie* que contenía un resumen de los trabajos realizados por sus miembros. Los integrantes de esta institución pertenecían a varias categorías: los honorarios y académicos con derecho a voto y salario pagado por el Estado (*pensionnaires*), los libres asociados, los asociados extranjeros y los adjuntos. El presidente y vicepresidente se elegían entre los miembros honorarios y académicos. Pero además, el rey designaba con carácter anual entre éstos, un director y un subdirector para dirigir los trabajos de las distintas secciones (geometría, medicina, química, astronomía,...) y tenía la potestad de elegir a los nuevos miembros de la Academia, oída la opinión de la misma sobre todos los aspirantes. Con esta estructura, es fácil comprender que el trabajo de sus miembros se realizara en una estrecha colaboración y muchos de sus descubrimientos fueran en realidad compartidos. Después de la Revolución, en 1793 el gobierno suprimió la Academia con el pretexto de corrupción entre sus miembros y colaboración con la monarquía.

publicaciones de carácter científico², algunas incluso anteriores a la creación de la Academia de Ciencias, favoreció este proceso de intercambio de información, del cual Lavoisier participó activamente y que sin lugar a dudas le resultó bastante fructífero, como tendremos ocasión de ver.

Conviene destacar el hecho, de que en particular, la Academia de París contribuía notablemente a la divulgación de la ciencia organizando sesiones destinadas al público en general. Permitía además que sus socios pudieran *registrar* sus descubrimientos antes de publicarlos y en cualquier fase de la investigación. Esto les daba cierta tranquilidad para continuar sin prisas los estudios, si no los hubiesen concluido, con la certeza de que ningún otro se iba adjudicar tal privilegio³.

Lavoisier, como otros científicos de su época, pertenecía simultáneamente a varias asociaciones científicas, no sólo dentro sino también fuera de su país. El interés por la Química se había incrementado bastante y en este siglo eran muy populares los cursos de química que impartían ciertas celebridades, a los que asistían muchos estudiantes generalmente de medicina, farmacia y también otras personas interesadas en la ciencia. Destacable sin duda fue el impartido por Guillaume François Rouelle (1703-1770), en las salas del *Jardin du Roi*, al que asistió Lavoisier cuando aún era un joven estudiante aconsejado por el geólogo Jean Étienne Guettard (gran amigo de su padre), que se percató del gran interés que demostraba por las ciencias. Este curso le sirvió a Lavoisier para tomar el primer contacto con la química y conocer las teorías más innovadoras en este campo. Pero su interés no se limitó sólo a la química sino que también se extendió a la geología, la física y la ciencia en general. Con Guettard estudió mineralogía y con el abad Nollet física. Su gusto por las matemáticas también fue notable, hasta el punto que en su breve manuscrito *Sobre la manera de enseñar*, defiende que el sistema de enseñanza de las matemáticas debería también aplicarse a la química.

2.- EL PANORAMA DE LA QUÍMICA A COMIENZOS DEL S. XVIII

Durante el siglo anterior proliferaron las interpretaciones corpusculares y mecanicistas de los fenómenos físicos, y Newton desarrolló su teoría gravitacional. La Química era una ciencia considerada menor entre los científicos de esta época y se encontraba habitualmente supeditada a la Medicina y a la Física. Por lo que no es de extrañar que los fenómenos químicos se intentaran explicar en términos de corpúsculos que se asociaban según su forma y tamaño y más adelante considerando fuerzas de atracción y repulsión entre ellos del tipo de las descritas por Newton. Pero en una posición totalmente opuesta se encontraban los no corpuscularistas como Stahl (1660-1734), que era un médico iatroquímico al servicio del rey de Prusia⁴. Dado que su formación estuvo inmersa en la corriente derivada del paracelsismo, Stahl sólo admite la formación de sustancias por combinación de dos *principios*: el agua y la tierra. Pero distingue tres tipos de tierras, la *vitrificable* que confiere la solidez, la *flogística* ligera e inflamable y la *mercurial* responsable de la maleabilidad y del brillo metálico. Desde

² *Observations sur la Physique, Chemische Annalen* de Lorentz Krell, el semanario científico *Journal des Savants, Annales de Chimie*, etc.

³ El proceso de registro tenía lugar en un pliego rubricado y sellado, donde se hacía constar la fecha de la presentación y el autor o autores.

⁴ La Iatroquímica era una parte de la alquimia asociada a la Medicina que se ocupaba de la elaboración de medicamentos tanto de origen vegetal como mineral. Sus raíces las podemos encontrar en el paracelsismo, que conoció un gran auge durante el s. XVI en toda Europa.

este punto de vista por ejemplo, se puede explicar la reacción entre un ácido y un metal suponiendo que ésta es posible porque poseen un *principio* común. En cambio según la teoría corpuscular, ocurriría porque entre los corpúsculos del metal hay huecos, que permiten que los corpúsculos del ácido penetren en ellos terminando por romper su estructura original, propiciando una nueva reorganización de todas estas partículas. Otra posible explicación la encontraríamos suponiendo que entre el ácido y el metal se crean unas fuerzas de atracción de tipo newtoniano, que hacen que las dos sustancias se combinen formando otra. Estos tres enfoques distintos son los que predominaban en la Europa del siglo XVII y principios del XVIII.

Las interpretaciones en términos de corpúsculos que se asocian bien por el efecto de fuerzas o sin ellas, estaban más arraigadas en Inglaterra que en el continente, lo que puede explicarse por el enorme prestigio e influencia de que gozaban sus defensores Boyle y Newton, respectivamente. Los alemanes y suecos en cambio, más preocupados por explotar sus minas y por los beneficios económicos que la industria metalúrgica les proporcionaba, prácticamente desarrollaban sus investigaciones químicas en torno a esta actividad y adoptaron una postura mucho más aislacionista (especialmente los alemanes) que sus otros colegas europeos. Por otra parte, no debemos olvidar que en centroeuropa fue donde nació y creció el paracelsismo y que las explicaciones sobre el comportamiento de la materia tenían su origen en él. Aquí la *teoría del flogisto* de Stahl encontró un campo bien abonado para su desarrollo. Fue Rouelle el que la dio a conocer en Francia, aunque introdujo algunos cambios significativos en ella. Los químicos franceses mucho más abiertos y curiosos que el resto de sus colegas europeos y acostumbrados a tratar de ciencia en ambientes más distendidos, como las tertulias en los salones de las grandes damas parisinas, se nutrieron indistintamente de estas tres visiones. Con todo la teoría del flogisto acabó imponiéndose en Europa, siendo aceptada incluso en Inglaterra.

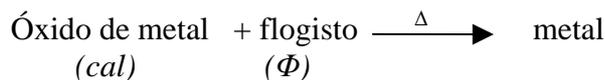
Está comprobado el gran interés que demostraron los ilustrados franceses por la química, esto hizo que fuera muy notable la afluencia de personas a demostraciones públicas, donde se realizaban experimentos habitualmente muy espectaculares. Además resulta significativo el elevado número de libros de texto y manuales de química editados en Francia en la segunda mitad del siglo XVII y principios del XVIII, como el muy destacable *Cours de Chymie* de Nicolás Lémery, que vio la luz en 1675.

3.- EL FLOGISTO Y LAS AFINIDADES: LOS DOS GRANDES TEMAS DE LA QUÍMICA DEL SIGLO XVIII

3.1 La teoría del flogisto

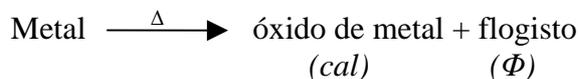
Esta teoría fue desarrollada por Stahl y consiste en suponer que todas las sustancias combustibles y también los metales contienen un *principio inflamable*, la anteriormente citada *tierra flogística*, que se desprende durante los procesos de calcinación y combustión pasando de unos cuerpos a otros. Se trata de una sustancia invisible que no puede ser aislada y que siempre se encuentra en combinación con otras.

Por ejemplo, era bien conocida la transformación que sufrían los óxidos metálicos (entonces denominados *cales*) que al ser calentados con leña o carbón originaban metales puros. Esto se explicaba suponiendo que la fuente de combustible (carbón, leña,...) era rica en flogisto y éste era absorbido por el óxido de metal (pobre en flogisto) transformándose en la sustancia metálica ahora rica en flogisto.



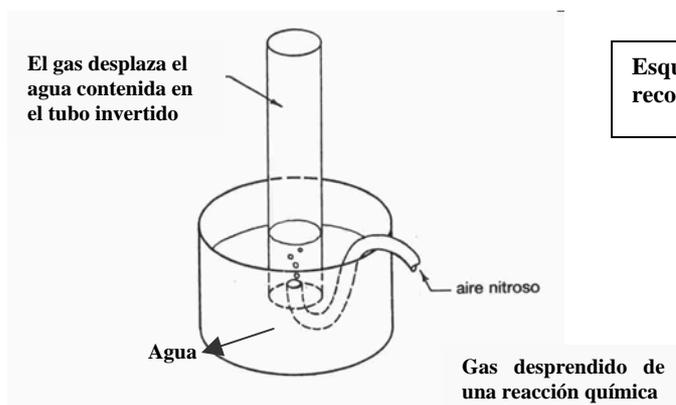
Δ = calor Φ = flogisto

El proceso inverso también era posible, es decir cuando el metal perdía flogisto durante la calcinación éste pasaba a combinarse con el aire y el metal se convertía en su óxido.



Aunque la teoría podía explicar el comportamiento de las sustancias en muchas de las transformaciones, sin embargo nunca pudo justificar el aumento de peso que se producía en la calcinación de los metales para formar los óxidos. Los óxidos metálicos resultaban más pesados que los metales puros y no se entendía bien como podía suceder esto, después de que supuestamente se hubiese perdido el flogisto, ya que lo razonable sería que se produjera una pérdida de peso en vez de un aumento.

Rouelle no sabía latín y descubrió la teoría del flogisto a partir de un estudio realizado por Senac que fue publicado en 1723. Se interesó por ella y en gran medida a través de sus clases la difundió en Francia, aunque con ciertas transformaciones. Para empezar Rouelle asoció el flogisto con el fuego (flogisto = fuego) al que le asignó un doble papel, por un lado era un componente más de la materia y por otro era un instrumento que permitía alterar el estado físico de ésta. Además consideró que el aire era un *elemento* más a tener en cuenta y le dio un papel químico destacado. Estas dos suposiciones no se encontraban en la primitiva teoría de Stahl y más bien están relacionadas con los descubrimientos del inglés Stephen Hales (1677-1761), en relación con los *aires* (gases) desprendidos durante la fermentación de vegetales, que fueron recogidos, medidos y estudiados empleando un cajón neumático, un aparato inventado por él mismo. Hales presentó los resultados de sus experimentos en un trabajo titulado *Vegetables Staticks* (1727), en la que concluía que el *aire* se encuentra *fijado* en algunas sustancias y al reaccionar pueden desprenderlo.



Esquema de la cubeta hidroneumática de recogida de gases utilizada por S. Hales.
--

Rouelle también experimentó en este último campo mejorando los mecanismos de recogida de gases de Hales. Y además ideó una nueva *teoría de las sales*, clasificándolas según los ácidos y las bases que las originaban. De esta manera también se alejaba de las ideas de Stahl, que consideraba que las sales se formaban por combinación de agua con una o más tierras. En aquella época el concepto de *sal* era muy diferente del que tenemos ahora y sustancias ácidas como el ácido sulfúrico (espíritu de vitriolo) eran consideradas sales y los carbonatos eran considerados *tierras*.

Especial interés despertaban las *sales medias* (neutras) formadas por una reacción entre una *sal ácida* y una *sal alcalina*.

3.2 Las afinidades

En 1718 Étienne François Geoffroy (1672-1731), miembro de la Academia de Ciencias de París y de la Royal Society de Londres, presenta durante una sesión de la Academia una tabla en la que se recogen, todas las posibles combinaciones conocidas hasta el momento que tenían lugar entre diferentes sustancias. Cada columna empieza con una sustancia química y debajo encontramos todas las que pueden combinarse con ella. El orden seguido para su colocación no es ni mucho menos arbitrario, está en función de la menor o mayor facilidad con que se produce dicha combinación. Así cada sustancia puede desplazar a las otras que le siguen, de la combinación de éstas con la que encabeza la columna.

Estos hechos ya eran conocidos, lo verdaderamente original en ese momento es la explicación que dio Geoffroy para justificar tales desplazamientos. Él lo hizo considerando el concepto de *relación* entre sustancias, que en realidad encubría una explicación en términos de *atracción* claramente derivada de la teoría de Newton. Una fuerza de atracción, que más tarde se denominaría *afinidad*, era por tanto la responsable de la combinación de las diferentes especies químicas. La acogida de estos nuevos planteamientos por parte de los restantes miembros de la Academia (muy influidos por las ideas de Descartes) no fue unánime, la mayoría demostró bastantes reticencias, ya que se decantaban más por las teorías corpusculares de corte cartesiano para explicar los fenómenos químicos.

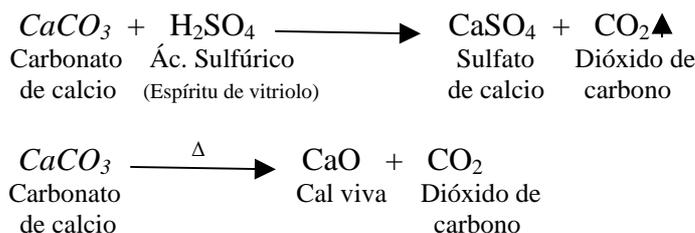
Pese a todo, la tabla de afinidades de Geoffroy acabó circulando entre los químicos de la época y posteriormente fue ampliada con las nuevas sustancias recién descubiertas. Dentro de los planteamientos de Geoffroy subyacía la idea de una *matematización* de la química, es decir, la posibilidad de predecir el comportamiento químico de las especies mediante la cuantificación de la afinidad, hecho que dado el carácter cualitativo de su tabla en ese momento no resultaba posible. Pero hubo de pasar algún tiempo, hasta que los químicos se decidieran a seguir por este camino y en los treinta últimos años del siglo XVIII podemos encontrar a algunos como Guyton de Morveau, Carl Wenzel, Bergman (1715-1784) o Kirwan (1733-1812) que hicieron del estudio de las afinidades un objetivo primordial y trataron de encontrar métodos fiables para su medida. Las nuevas tablas de afinidades crecieron en complejidad, y podemos destacar las publicadas por el sueco Bergman entre 1775 y 1783, que constan de cuarenta y nueve columnas (veintisiete para ácidos, ocho para bases, catorce para metales y otros) en las que aparecen varios millares de reacciones químicas tanto por *vía seca* (por acción directa del fuego) como por *vía húmeda* (en disolución). Pero también Bergman encontró durante sus muchos experimentos con reacciones químicas algunas *anomalías*, por lo que acabó haciendo la distinción entre la afinidad *verdaderamente química* y los factores que impiden que en determinadas circunstancias se produzca un desplazamiento. Además constató que, en la mayoría de los casos, la cantidad añadida de cada reactivo también influye en el hecho de que se produzca o no una reacción.

4.- LA QUÍMICA NEUMÁTICA

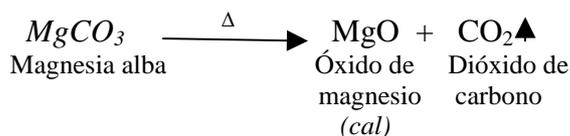
A raíz de los trabajos de Hales se empezó a notar un interés creciente entre los químicos por el estudio de los gases desprendidos de las reacciones químicas. Los mejores trabajos en este campo se dieron en Inglaterra, donde Joseph Black (1728-1799) primero y después Joseph Priestley (1733-1804) y Henry Cavendish (1731-1810) realizaron una importante labor.

En el ya mencionado *Vegetables Staticks*, S. Hales basándose en la doctrina newtoniana explica que el *aire* desprendido en el proceso de fermentación de las plantas está compuesto de partículas que se repelen entre sí. Esto puede explicar el porqué de la posibilidad de comprimir y expandir el aire, proceso en el que el calor juega también un importante papel.

Por entonces ya era conocido el hecho de que cuando se vertía ácido sobre los carbonatos (*tierras calcáreas*), se producía una efervescencia cuyo origen en aquel momento era desconocido, y si eran calcinados se obtenía una *cal muy cáustica soluble en agua*. Hoy sabemos que las reacciones químicas de estos procesos son del tipo siguiente:

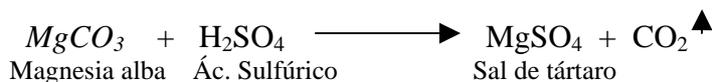


Cuando era sólo un estudiante, Black recibió el encargo de investigar para su tesis, una sustancia denominada por entonces *magnesia alba* (carbonato de magnesio, MgCO_3) que era utilizada como purgante y que al parecer presentaba un comportamiento algo anómalo con respecto al de las restantes tierras calcáreas. El laboratorio de Glasgow en el que trabajaba estaba muy bien equipado y disponía de bombas de vacío, cubas hidroneumáticas, termómetros, etc., por lo que no tuvo dificultad en observar, que cuando la magnesia se calcinaba originaba un producto *insoluble en agua y no cáustico* (MgO) y se desprendía un gas, que el denominó *aire fijo*. En aquel momento se desconocía la composición del aire y la existencia de los distintos gases tan familiares para nosotros, como el oxígeno o el dióxido de carbono, que era el que en realidad se desprendía en aquella reacción.



Lo mismo ocurría cuando se calcinaban otras tierras calcáreas, pues también se desprendía cierta cantidad de *aire fijo* (dióxido de carbono). Otros colegas suyos investigaron con este *aire fijo*, comprobando que los animales morían por asfixia si eran depositados en recipientes donde sólo existía esta sustancia y que además no alimentaba la combustión, concluyendo que era distinto del aire común.

Si la reacción se producía empleando un ácido en vez de suministrar calor, sucedía lo mismo que con cualquier otra tierra calcárea y también se conseguía el desprendimiento de aire fijo.



Black también estudió el comportamiento de las *cales* obtenidas y observó como el agua de cal (cal viva disuelta en agua, Ca(OH)_2), en presencia de potasa cáustica (K_2CO_3) puede recuperar el aire fijo y convertirse de nuevo en tierra calcárea perdiendo su carácter cáustico.



En cambio si queremos recuperar la magnesia alba, como su cal no es soluble en agua, primero hemos de disolverla empleando *espíritu de vitriolo* (ácido sulfúrico). La *sal de tártaro* (sulfato de magnesio) obtenida la hacemos reaccionar después con potasa cáustica, recuperando así la *magnesia alba*.

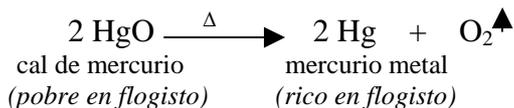


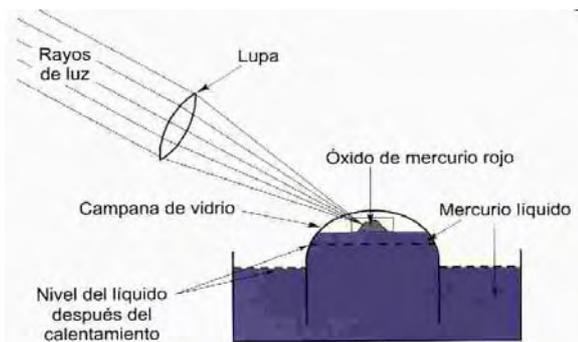
Después de muchos experimentos con diferentes tierras calcáreas, Black llegó a la conclusión de que la causa de la *causticidad de la cal viva* no se encuentra en una sustancia procedente del fuego empleado en la calcinación, como se pensaba hasta entonces, puesto que la cal de la magnesia alba se obtiene mediante un proceso similar y no es cáustica. Black pensó que esta causticidad debía ser una *propiedad intrínseca* de los cuerpos calcinados y que por alguna razón todavía desconocida, la magnesia alba no la posee. En sus conclusiones Black presentó esta propiedad intrínseca utilizando el término *atracción electiva*, en clara alusión a las afinidades de Geoffroy. De hecho añadió una columna más a la tabla de afinidades encabezada por el *aire fijo* y debajo todas las cales con las que éste reacciona en mayor o menor medida para originar las tierras calcáreas.

Este trabajo de Black sobre la *magnesia alba* presentado en 1756 fue muy criticado en Francia especialmente por Rouelle. De hecho no tuvo mucha difusión en tierras galas y la mayoría de los químicos franceses sólo tuvieron referencias de él de forma indirecta. Hasta el último cuarto del siglo XVIII en Francia no se manifestó apenas interés por la química neumática.

Después de finalizada su tesis, Black abandonó los estudios relacionados con los gases y se dedicó a investigar sobre el calor y la temperatura, que por primera vez se consideraban conceptos distintos. A Black le interesó sobre todo la forma en que el calor se fija a los cuerpos, lo que él denominaba *calor latente*.

Pero las investigaciones sobre los gases las continuaron otros como el teólogo y químico J. Priestley, que aisló y estudió numerosos gases en el laboratorio que le regaló el noble para el que trabajaba. Priestley se convirtió en un excelente manipulador de los aparatos neumáticos de recogida de gases, siendo su descubrimiento más importante el del *oxígeno* (O₂), gas que el denominó inicialmente como *aire desflogisticado*. Lo obtuvo en 1774 al calentar la *cal roja de mercurio* en un recipiente cerrado y sin emplear fuego como fuente de calor. La reacción escrita con nuestra simbología actual es la siguiente:





**Preparación de Priestley del
*aire desflogisticado.***

Durante algunos meses no fue consciente de su descubrimiento puesto que confundió el gas obtenido con el óxido nítrico (N_2O), que era un gas ya estudiado por él y del que sabía que ayudaba a la combustión. Algún tiempo después observó que las propiedades de este nuevo *aire* eran muy diferentes, puesto que permitía la respiración de los seres vivos cuando se les introducía en una campana llena de él y alimentaba con mucha más intensidad la combustión que el óxido nítrico y que el aire ordinario, por lo que supuso, que *tenía afinidad por el flogisto* y durante estos procesos de combustión era capaz de absorberlo. Todo esto encajaba perfectamente con la teoría del flogisto, de la que era ferviente partidario, pero la reacción anterior de obtención del mercurio a partir de su cal encerraba un problema y era saber de dónde provenía este flogisto necesario para llevarla a cabo, pues hasta ese momento se creía que lo proporcionaba el carbón empleado en la combustión, pero en este caso no se había utilizado tal combustible; la cal se había calentado haciendo incidir sobre la misma los rayos de luz solar concentrados por una lupa. Priestley presentó los resultados de sus estudios con los aires en un trabajo en varios volúmenes titulado *Observations and Experiments on Different Kinds of Air*.

Hoy sabemos que el descubrimiento del oxígeno de Priestley fue en realidad compartido. Él desconocía que uno o dos años antes el sueco Scheele (1742-1786), un farmacéutico de escasos recursos económicos y formación autodidacta, también lo había obtenido. Scheele trabajaba en solitario y tenía poco contacto con los círculos científicos de su país y del resto de Europa. Por eso sus descubrimientos en el campo de la química tardaron algunos años en ser conocidos. Identificó unos quince ácidos nuevos, obtuvo por primera vez el gas cloro, el sulfuro de hidrógeno, el ácido cianhídrico y también el oxígeno, aunque por un camino diferente al de Priestley. Scheele lo hizo tratando la pirolusita (dióxido de manganeso) con ácido sulfúrico concentrado. Asimismo estudió las propiedades del nuevo *aire* y llegó a las mismas conclusiones que Priestley. Scheele también se apoyaba en la teoría del flogisto para sus interpretaciones y sostenía que éste era semejante al éter imponderable de los físicos.

Priestley también se mantuvo durante muchos años como un fiel defensor de la teoría del flogisto y en contra de la teoría de la oxidación de Lavoisier, incluso cuando ya la mayoría de los químicos habían empezado a aceptarla.

También debemos descubrir importantes a Cavendish, que perfeccionó el método de recogida de gases empleando una cuba neumática rellena con mercurio en lugar de agua, lo que permitía recoger aquellos gases que eran solubles en agua y que por ese motivo no habían podido aislarse, como el *aire nítrico* (óxido nítrico, N_2O).

Cavendish pertenecía a la nobleza y contaba con una considerable fortuna, lo que le permitió montar y equipar su propio laboratorio. Tenía cierta fama de excéntrico, pero en sus investigaciones era sumamente metódico. En 1766 aísla y caracteriza el *aire inflamable*, nuestro hidrógeno (H_2), desprendido en las reacciones en las que un ácido atacaba a un metal y que él supuso se trataba del flogisto, ya que tenía una densidad

bastante inferior a la del aire atmosférico. Pero el descubrimiento más importante y crucial de Cavendish, como veremos más adelante, fue la obtención del agua, para lo cual hizo saltar una chispa eléctrica utilizando una máquina electrostática, en el seno de una mezcla formada por su *aire inflamable* y *aire desflogisticado* encerrada en una campana hermética. Cavendish observó que en las paredes del recipiente se habían formado unas gotitas que después de ser analizadas resultaron ser de agua. Esto ocurrió en el año 1781 y sus resultados fueron comunicados a Priestley y también a la Royal Society en 1784. Lavoisier se enteró del experimento a través de Charles Blagden, que era ayudante de Cavendish, cuando éste fue de visita a París en 1783. Rápidamente se interesó por el tema y decidió investigarlo.

4.- ANTOINE LAURENT LAVOISIER. DATOS BIOGRÁFICOS.

Nació en París el 26 de agosto de 1743 en el seno de una familia burguesa relacionada con el mundo de las leyes, su padre era un abogado que ocupaba el cargo de procurador del Parlamento de París, el tribunal francés más importante de los existentes en esa época. Su madre que también era hija de un abogado, falleció cuando él tenía cinco años, así que él y su hermana vivieron con su abuela materna y su joven tía Constante, por la que Lavoisier sintió siempre un especial cariño. Su educación como era de esperar, se encaminó hacia la abogacía. Inicialmente su padre le matriculó en el prestigioso Colegio Mazarin y allí cursó lengua, literatura, filosofía, matemáticas y física. Una vez finalizados sus estudios primarios comenzó los de Derecho, obteniendo la licenciatura en 1764. Y a partir de aquí se decantó por los estudios de ciencias asistiendo a clases de física con el abad Nollet, de química con Laplanche y Rouelle, de matemáticas con Lacaille y de botánica con Bernard Jussieu. También estudió mineralogía con Guettard y, junto con éste, formó parte en 1767 de una expedición geológica de cinco meses para elaborar un atlas mineralógico de Francia; trabajo que dicho sea de paso nunca se completó, debido al elevado coste de la empresa. Durante ese viaje Lavoisier se dedicó también a analizar la calidad de las aguas de fuentes y manantiales.

En 1764 con veintiún años, Lavoisier se presentó a un concurso convocado por la Academia, con un proyecto de alumbrado de las calles de París, en el que recomendaba la utilización de velas, reflectores y también de resinas anticongelantes en el invierno⁵. No obtuvo el premio, pero sí una mención especial por su esmerado estudio. Al año siguiente, volvió a presentar a la Academia un trabajo sobre el yeso (*plaster de París*) que se empleaba para blanquear las paredes de las casas parisinas. A él le llamó la atención que el yeso cristalizado hubiera de ser calentado para transformarlo en yeso en polvo, antes de poder aplicarlo a las paredes. Se trataba de eliminar el agua *fijada* en él, esto le llevó a pensar que los minerales también podían contener agua cristalizada o fijada y que ésta desempeña un papel importante, ya que es capaz de modificar las propiedades de las sustancias que la contienen. En 1766 el joven y ambicioso Lavoisier, que ya había adquirido cierto renombre en los círculos científicos parisinos, recibió en herencia una nada desdeñable fortuna. En 1768 gracias a este dinero pudo comprar una acción de la Ferme Générale, un empresa privada contratada por el gobierno francés para recaudar los impuestos sobre la sal, el tabaco, las bebidas y los bienes importados, a cambio de abonarle al Estado una cantidad anual establecida. Todos los socios recibían un sueldo fijo y cierta cantidad añadida para

⁵ Esto ocurría unos cuarenta años antes de que se empezara a utilizar el gas de carbón para la iluminación en las vías públicas.

gastos, además de un 10% de intereses sobre la cantidad invertida en la compañía. Su sistema de cobro facilitaba los abusos, por lo que los *fermiers* no eran demasiado populares. Desgraciadamente para Lavoisier su pertenencia a esta empresa fue la principal causa de su muerte. El 8 de mayo de 1794 la guillotina segó su vida a los 51 años, después de ser arrestado y acusado de traición a la patria. Sus bienes y su laboratorio fueron confiscados, aunque su patrimonio le fue devuelto a su viuda años más tarde y el nombre de Lavoisier rehabilitado, después de constatarse el error que supuso su detención y ajusticiamiento.

Como miembro de la Ferme se vio obligado a viajar por todo el país en visitas de inspección, lo que le sirvió para relacionarse con otras academias francesas a las que también presentó diferentes trabajos científicos. En 1771 afianzó aún más su posición en la Ferme casándose con Marie Anne Pierrette Paulze (1758-1836), hija del *fermier* director de la Comisión de Tabacos. Él tenía por entonces 28 años y ella tan sólo 14. No tuvieron hijos y pese a la diferencia de edad tuvieron una buena relación matrimonial, su esposa se convirtió en su secretaria y eficaz colaboradora. Fue una mujer muy inteligente que llegó a dominar varias lenguas, entre ellas el latín e inglés y tradujo para su marido las obras científicas inglesas más importantes del momento; así pudo conocer Lavoisier los escritos de Priestley y Cavendish, entre otros. Marie Anne también recibió clases del pintor Jacques-Louis David y fue la autora de los dibujos que ilustran varios de los libros de su marido. Era la perfecta anfitriona en las reuniones semanales que él convocaba en su casa, a las que eran invitados otros científicos y que ella mantuvo después de la muerte de Lavoisier. Durante estas reuniones Marie Anne conoció al físico estadounidense Benjamín Thompson (1754-1814), más conocido como conde de Rumford, con el que se casó en 1805 después de rechazar a otros pretendientes del mundillo científico. Fue éste un matrimonio desgraciado para ella, pronto descubrieron que eran incompatibles y terminaron separándose. Las malas lenguas dijeron que el conde sólo perseguía su considerable fortuna, resultado de la herencia de su esposo y de su padre⁶.

Como hombre rico e influyente y además dotado de un especial talento, Lavoisier deseaba desde muy joven entrar en el restringido club de la Academia de Ciencias de París. El puesto más apetecido era el de *pensionnaire* (con sueldo). Éstos se distribuían por especialidades y dadas las restricciones en el número de miembros, había que esperar a que alguno causara baja para que otro pudiese ocupar su puesto. Cuando

⁶ Parece ser que Benjamin Thompson había tenido que huir de los Estados Unidos, pues durante la guerra de independencia trabajó como espía al servicio de la corona británica. Físico de profesión formado en Harvard, fundó en 1800 la *Royal Institution* de Londres, un centro donde se daban conferencias que trataban de los últimos descubrimientos en ciencia y sobre las nuevas aportaciones tecnológicas a la sociedad, pero que también se ocupaba de la formación técnica de obreros y artesanos. Thompson acabó discutiendo con sus otros socios y abandonó la Institución, que cambió de actividad después de su marcha. Se convirtió en el Conde Rumford del Sacro Imperio Romano, cuando fue nombrado caballero por el Elector de Baviera en 1784. Pasó gran parte de su vida en Baviera donde llegó a dirigir la fábrica de municiones, manteniendo siempre buenas conexiones con científicos de Londres y París. Especial relación tenía con el *Conservatorio Nacional de Artes y Oficios*, una especie de instituto de mecánica que el gobierno francés había fundado en 1794. Es especialmente conocido por su trabajo sobre las perforaciones sufridas por los cañones como consecuencia del calor generado durante su disparo. Cuestionando la teoría del calórico de Lavoisier, Thompson relacionó el calor producido con el trabajo mecánico y abrió así el camino a los descubrimientos de Joule. Después de la Revolución tuvo problemas para volver a Francia, ya que Napoleón no le autorizó su entrada por su condición de espía británico. Pero al casarse con Madame Lavoisier pudo por fin instalarse en este país, hecho que recogió con bastante sorna un diario londinense del momento:

« Enlaces: en París, el conde Rumford con la viuda de Lavoisier; mediante este experimento nupcial obtiene el conde una fortuna de 8000 libras al año, con lo cual resulta éste el más eficaz de todos los proyectos rumfordianos para mantener caliente una casa. »

llegaba ese momento las fuertes presiones y favoritismos hacían su aparición. Los repetidos fracasos por ingresar en la Academia del revolucionario Jean Paul Marat, que se consideraba un químico experto, le llevaron a oponerse a la Institución, creándose entre éste y Lavoisier una manifiesta enemistad, cosa que no favoreció a Lavoisier cuando fue detenido y juzgado por los revolucionarios⁷.

Lavoisier falló en su primer intento de ingreso en 1766, pero en 1768 gracias a sus fuertes apoyos (de los académicos Rouelle, Guettard y De Jussieu) y a un incumplimiento de las reglas, ya que se creó una vacante adicional para él, fue admitido en el rango más bajo de ayudante, con la cláusula de que su asiento suplementario debía suprimirse al producirse la primera vacante. Al año siguiente falleció el anciano metalúrgico Gabriel Jars, que había sido su competidor por el puesto el año anterior y Lavoisier se convirtió en miembro de pleno derecho. Para la Academia, Lavoisier realizó numerosos trabajos normalmente en colaboración con otros miembros y participó en la redacción de informes oficiales sobre una gran variedad de temas que eran importantes para el Estado, como el del abastecimiento de agua a la ciudad de París, que se producía a través de un canal abierto. Los químicos tenían que tomar muestras de esta agua y analizarla sometiéndola a destilaciones y evaporación a sequedad. De esta manera se obtenía un residuo sólido que hacía suponer que el agua se transmutaba en tierra tal como apuntaban las viejas ideas alquimistas. Lavoisier también realizó experimentos con el agua, introduciendo cierta cantidad en el interior de un recipiente de vidrio hermético, la calentó hasta ebullición durante tres meses sin interrupción. Poco a poco se fue formando un residuo sólido y al finalizar este tiempo pesó el conjunto, comprobando que la masa total no había cambiado prácticamente respecto a la inicial. A continuación pesó el residuo sólido y el recipiente por separado, constatando que el peso del sólido coincidía casi exactamente con la disminución de masa que había sufrido el recipiente, por lo que dedujo que el sólido originado provenía de la disolución en el agua de alguno de los componentes del vidrio. En este trabajo ya se observa como Lavoisier le adjudicaba a la balanza un papel bastante importante, cosa que repetirá siempre de aquí en adelante en la mayoría de sus experimentos. Los resultados de su estudio sobre el agua fueron comunicados a la Academia mediante un informe en 1770.

A partir de 1775 Lavoisier fue nombrado *régisseur des poudres et salpêtres* (director de pólvoras y salitres) y se le encomendó la tarea de solucionar el problema de la escasez y baja calidad de la pólvora francesa. Después de un minucioso estudio como era habitual en él, acabó produciendo una pólvora excelente considerada una de las mejores de Europa, lo que contribuyó a aumentar aún más su prestigio. Fijó su residencia en El Arsenal, donde instaló también un laboratorio y allí vivió hasta 1791. Por su casa y su laboratorio magníficamente equipado pasaron de visita los científicos más prestigiosos, tanto franceses como extranjeros, entre ellos cabe destacar a Priestley, Watt y el americano Franklin. En este laboratorio trabajaron como auxiliares jóvenes promesas como Fourcroy y Hassenfratz, a los que Lavoisier ayudó en el desarrollo de sus carreras.

En su laboratorio invirtió grandes sumas de dinero mandando construir numerosos y sofisticados aparatos, la mayoría diseñados por él. Actualmente este laboratorio podemos verlo en el *Musée National des Techniques* de París. Cuando su viuda lo recuperó después de ser confiscado, los químicos Berthollet y Leblanc realizaron un exhaustivo inventario del mismo y registraron 13.000 aparatos de química y más de doscientos cincuenta instrumentos de física. Allí se encontraba el *gasómetro*,

⁷ Lavoisier se convirtió en el objetivo de Marat durante su campaña contra los académicos entre 1790 y 1793. Nunca aceptó las duras críticas que Lavoisier realizó de su traducción de la *Óptica* de Newton.

el instrumento más importante del laboratorio, del que había encargado dos unidades al ingeniero Mégnié el joven y que éste le entregó en 1787.

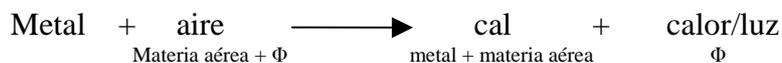
5.- LAS APORTACIONES DE LAVOISIER

Lavoisier siempre se decantó por la ciencia práctica y desde muy joven se interesó por toda clase de instrumentos de medida, tratando de aplicar gran parte de la metodología de la física a la química. Su interés por el tema del flogisto comenzó cuando leyó la memoria de Guyton de Morveau, titulada *Dissertation sur phlogistique* que fue publicada en 1772. En ella se establecía que el aumento de peso en la calcinación, era un fenómeno que ocurría siempre y no era exclusivo de los metales. Guyton consideraba al flogisto como una sustancia *volátil*, cuyo comportamiento explicaba utilizando la idea de atracción newtoniana entre las partículas que lo constituían.

En agosto de 1772 Lavoisier se planteó realizar una serie de experimentos con fósforo y azufre, comprobando que efectivamente se producía un aumento de peso en la combustión de estas sustancias. Todos los procesos los llevó a cabo en recipientes cerrados, pesando el conjunto y cada parte por separado, antes y después de la combustión. Constató que el peso total permanecía invariable, que el de los recipientes no sufría cambio y que efectivamente el de la sustancia reaccionante aumentaba. A continuación, utilizando el aparato de recogida de gases de Hales calcinó el litargirio (óxido de plomo) y observó que se desprendía una gran cantidad de aire, hecho que por otra parte ya había demostrado Hales con otras cales y que mencionaba en su *Vegetables Staticks*, obra que Lavoisier conocía por la traducción al francés que Buffon publicó en 1735.

La explicación que Lavoisier se aventuró a dar para justificar el aumento de peso durante la calcinación, la depositó en un sobre cerrado y sellado ante el secretario de la Academia el 20 de octubre de ese año, con la orden expresa de que no se abriera hasta que él lo autorizara. Era consciente de lo que significaba su interpretación y también de que en ese momento no disponía de los argumentos necesarios para defenderla. En ella suponía que *el aumento de peso se debía a una cantidad considerable de aire que se fijaba en la materia calcinada. Aire que el considera como un fluido en expansión combinado con flogisto. Este flogisto es liberado en forma de luz y/o calor después de que el aire es fijado por la sustancia. Si el proceso se realiza en sentido inverso, las cales (óxidos) se convierten en metales y se libera de nuevo el aire fijado. La diferencia con la primitiva teoría de Stahl radica, en que el flogisto no se encuentra en el metal que va a ser calcinado, sino formando parte del aire que intervienen en el proceso.*

[Φ = flogisto]



Aquí Lavoisier todavía desconocía los trabajos de Black, Priestley y Cavendish sobre las distintas clases de *aires* y siempre intentó buscar una explicación acorde con la teoría del flogisto. Por su parte todavía no había intención de rebatirla, sino de mejorarla intentando aclarar los puntos oscuros de la misma.

En la década de 1770-1780 trabaja en una gran variedad de temas aparte de la calcinación, como el análisis de las aguas, la naturaleza de los ácidos, la fabricación del salitre para mejorar la pólvora, la respiración de los animales, la teoría del calor y su medida, los gases, la composición del aire, las afinidades, etc. Como podemos ver, una enorme variedad de proyectos en los que trabajaba diariamente entre las 6 y las 8 de la mañana y luego otra vez por la tarde de las 19 a las 22h. El resto del día lo dedicaba a

sus labores administrativas. Pero de todos estos temas sin duda el que captó más su interés fue el de la química neumática. Un trabajo que abordó no sólo desde la práctica sino también desde la teoría, aspecto este último que lo diferenció del resto de sus colegas neumatistas ingleses.

Aunque Lavoisier desconociera en 1772 que existían muchas pruebas de que el aire atmosférico era una sustancia muy compleja, sí era consciente de su mucha ignorancia en materia química y sentía que debía repetir sus experimentos estudiando mejor el aire que intervenía en ellos, tal como dejó constancia en su cuaderno de laboratorio.

Como siempre hacía cuando abordaba un tema nuevo, comenzó recabando información de todo lo que se había escrito sobre él, en este caso su labor de investigación se centró en lo que se conocía sobre el aire desde el siglo XVII. Fue así como entró en contacto con los trabajos de Boyle, Black y Priestley. Volvió a realizar personalmente los experimentos descritos en ellos, incluso los que unos cien años antes había realizado Robert Boyle, pero esta vez pesando las sustancias y los recipientes antes y después de la reacción, cosa que no había hecho éste. Cuando se abrió el sobre lacrado ante los miembros de la Academia el 5 de mayo de 1773, Lavoisier ya disponía de una *nueva teoría*. Ahora tuvo en cuenta el *aire fijo* (CO₂) considerando que en la calcinación se fijaba este aire. Evidentemente se equivocó, en ese momento aun se desconocía la existencia del oxígeno y cuando algunos años después Priestley lo descubrió, Lavoisier pudo entonces comprender, aunque con ciertos esfuerzos, lo que realmente sucedía.

Antes de eso, Lavoisier elaboró sus *Opúsculos físicos y químicos* (1774), una obra que recopilaba todo su trabajo y en la que curiosamente no reflejó ninguna conclusión comprometedora, sólo explicaba los métodos seguidos en sus experimentos y los resultados. La primera parte de esta obra trata de la evolución histórica sobre el conocimiento de los gases y la segunda, de los experimentos realizados para estudiar el desprendimiento o fijación de éstos en diferentes sustancias. Tuvo así ocasión de comprobar cómo al utilizar recipientes cerrados, el grado de calcinación quedaba limitado por la cantidad de aire contenido en él y que el incremento de peso experimentado por las sustancias coincidía con el del aire que absorbían.

En el mismo año de la publicación de esta obra, Lavoisier fue convocado a la Academia para asistir como miembro de un comité de expertos, a la presentación de un descubrimiento realizado por los químicos franceses Bayen y Cadet de Gassicourt. Ellos afirmaban haber descompuesto la cal roja de mercurio (monóxido de mercurio, HgO) con un simple calentamiento y sin usar carbón como agente reductor. Unos meses después Priestley viajó a París, visitó a Lavoisier en su laboratorio del Arsenal y le informó que él ya había realizado esta misma experiencia, obteniendo además un nuevo tipo de *aire* (recordemos que se trata del oxígeno, al que llamó *aire desflogisticado*), en el que las sustancias ardían con mayor facilidad que en el aire atmosférico.

Lavoisier repitió de nuevo todos estos experimentos para comprobarlos personalmente y en abril de 1775 expuso sus resultados ante la Academia, con el trabajo *Memoria sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante la calcinación y los aumenta de peso*, que posteriormente fue publicado en el mes de mayo. El *aire* obtenido durante la descomposición de las cales en ausencia de carbón lo denominó *aire atmosférico muy puro*, pero no lo identificó como una parte del aire atmosférico. Priestley cuando leyó este trabajo se dio cuenta de que Lavoisier estaba en un error, al no entender que este *aire* era el *desflogisticado* (oxígeno) y únicamente un componente más del aire atmosférico y se lo corrigió amablemente en un libro que publicó a finales de 1775.

Después de esto Lavoisier realizó otras investigaciones que le llevaron por fin a la *teoría del oxígeno en la combustión*. El 20 de abril de 1776 nuevamente leyó ante la Academia otra memoria titulada *Sobre la existencia del aire en el ácido nitroso y sobre los medios de componer y recomponer este ácido*, en la que reveló que la *parte más pura del aire* (oxígeno) era un constituyente de este ácido, que es conocido actualmente como ácido nítrico (HNO₃).

Relacionando este hecho con los resultados obtenidos en sus antiguos experimentos con el fósforo y el azufre, que le habían mostrado cómo el aire atmosférico era absorbido durante la combustión de ambas sustancias, para formar sus *óxidos ácidos* (anhídridos), que posteriormente al hacerlos reaccionar con el agua originan sus respectivos ácidos, Lavoisier afirmó:

«[...] no solamente el aire, sino más bien la parte más pura, entra en la composición de todos los ácidos sin excepción; que a esta sustancia deben su acidez, hasta el punto de que se puede a voluntad darles o quitarles la cualidad de ácido, según que se les despoje o se les suministre la porción de aire esencial a su composición.»

El año 1777 fue ciertamente muy fructífero para Lavoisier, publicó varios trabajos, presentó a la Academia unas quince memorias sobre temas muy variados y registró otras tantas. En el ensayo sobre la calcinación y la combustión dice:

«[...] El principio que se une a los metales durante la calcinación, que aumenta su peso y que es parte constituyente de la cal, es, ni más ni menos, la parte más sana y más pura del aire, la cual después de entrar en combinación con un metal, puede liberarse de nuevo, y aparecer en una condición eminentemente respirable, más apropiada que el aire atmosférico para alimentar la ignición y la combustión.»

La primera vez que Lavoisier utilizó el término *oxígeno* fue en una memoria presentada a la Academia en 1777 titulada *Sobre la combustión en general* y en la que también habló sobre la naturaleza de los ácidos, pero ahora de una manera mucho más concluyente. El vocablo *oxígeno* deriva del griego y significa *generador de ácidos*. Sin embargo Lavoisier no quería decir que todas las sustancias que contenían oxígeno fuesen ácidas, puesto que sabía perfectamente que los óxidos de los metales daban reacciones básicas. Consideraba que el oxígeno era un principio *en potencia* acidificante sólo cuando se combinaba con los no metales⁸.

Lavoisier se interesó también por el calor que se desprendía de algunas reacciones químicas y en otra memoria leída también en 1777 ante la Academia, titulada *De la combinación de la materia fuego con los fluidos evaporables, y de la formación de los fluidos elásticos aeriformes*, expuso su teoría sobre la existencia de un *fluido ígneo* (*materia de fuego, del calor y de la luz*) que penetra en los cuerpos, aunque no con la misma facilidad en todos ellos, pudiendo existir en la naturaleza también en forma libre. Cuando se encuentra en este último estado puede medirse con los termómetros. Cuando forma parte de alguna sustancia se encuentra siempre asociado a la *materia base* característica de ella y no es posible su medida. Así por ejemplo, el *oxígeno* está formado por la *materia de fuego* unida a la *materia base* propia del oxígeno, de tal manera que la combustión de una sustancia puede explicarse, suponiendo que dicha sustancia tiene una mayor *afinidad* por la materia base del oxígeno que por la materia de fuego, pasando esta última al estado libre y la sustancia

⁸ Hoy en día sabemos que no todos los ácidos contienen oxígeno, como es el caso de los ácidos hidrácidos (ej. Ácido clorhídrico, HCl).

combustible aumenta de peso al fijar el oxígeno. La materia de fuego es la responsable directa del calor generado por estas reacciones químicas. Con este razonamiento Lavoisier explicaba la producción de calor y de luz en la combustión, ya no se necesitaba el *flogisto*, puesto que el oxígeno era el responsable de la combustión y lo que se genera es la *materia fuego* junto con el óxido. Recordemos que en la teoría de Stahl el flogisto se encuentra formando parte de la sustancia que combustiona y que después del proceso es liberado. Y que en las teorías derivadas de aquella se había relacionado con el fuego.

Lavoisier realizó sus experimentos sobre el calor conjuntamente con el matemático Laplace, que diseñó un calorímetro de hielo⁹ para intentar cuantificar esta *materia de fuego* a la que posteriormente denominaron *calórico*. Con el fin de demostrar sus argumentaciones estudiaron la vaporización del agua, éteres y alcoholes. La conclusión a la que llegaron fue que el proceso de vaporización lo controlan dos factores, por un lado la cantidad de *materia de fuego* que forma parte de la sustancia permitiendo la evaporación y por otro la presión atmosférica que la impide, de tal manera que si predomina la primera sobre la segunda la sustancia se volatiliza.

La razón por la cual Lavoisier no pudo rebatir la teoría del flogisto en 1777, estaba en su incapacidad para explicar con su teoría del oxígeno por qué se desprendía *aire inflamable* (hidrógeno) cuando un ácido atacaba a un metal y en cambio no se desprendía ningún gas cuando se utilizaba el óxido básico de ese mismo metal. Sin embargo, la teoría del flogisto sí tenía respuesta para este hecho. Tal como sugirió Cavendish, la explicación era bastante simple si se consideraba que el metal contenía flogisto:

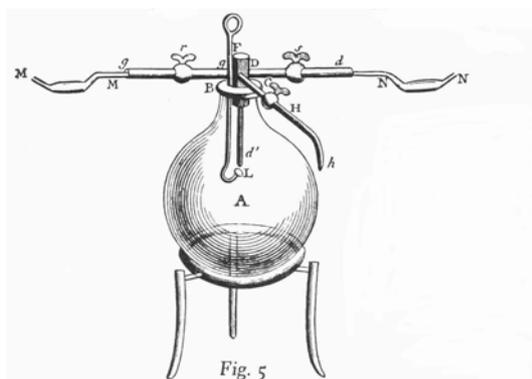


Todas las observaciones realizadas las publicaron Lavoisier y Laplace conjuntamente en 1783, en un trabajo titulado *Sur la Chaleur* (sobre el calor), después de exponerlas ante la Academia. La acogida de las nuevas propuestas de Lavoisier entre los químicos más importantes del momento fue más bien desfavorable. Se negaban a renunciar a la existencia del flogisto y lo que intentaron fue llegar a posturas intermedias entre las viejas y las nuevas ideas. Macquer en su *Diccionario* consideraba que el flogisto tenía realidad material y estaba asociado a la luz, pero lo diferenciaba del calor. Creía que este último se generaba porque el flogisto hacía vibrar las partículas que constituían la materia. El irlandés Richard Kirwan consideró en cambio, que el flogisto era liberado en la combustión combinándose con el *aire deflogisticado* (oxígeno) y generando *aire fijo* (dióxido de carbono). Esta última sustancia según él, formaba parte de los óxidos y de los ácidos y era la causante del aumento de peso observado. Por otra parte estaba Priestley, que había identificado el *gas inflamable* (hidrógeno), obtenido por su compatriota Cavendish, con dicho flogisto, dadas las propiedades de este gas. Así pues, se necesitaba alguna prueba más concluyente que

⁹ El calorímetro de hielo estaba formado por dos recipientes concéntricos, el externo se rellenaba de hielo y en el interno se colocaban los materiales que producían la reacción exotérmica. El *calórico* generado se medía por la cantidad de agua producida al derretirse el hielo, que era recogida en un recipiente graduado situado en la parte inferior. El principal problema era mantener el calorímetro aislado del exterior, para que la temperatura del medio no influyera en los resultados obtenidos.

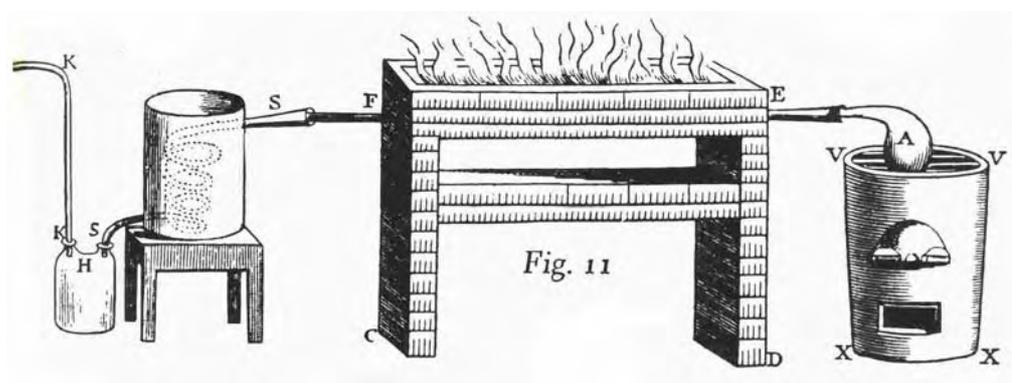
desbancara de una vez al flogisto y ésta la proporcionó algunos años más tarde Lord Cavendish, al sintetizar por primera vez el agua.

Cuando Lavoisier tuvo conocimiento del experimento de Cavendish sobre el agua, rápidamente se interesó por él y se propuso reproducirlo. Con ayuda de Laplace, en presencia de Luis XVI, de algún ministro y de varios miembros de la Academia, realizó una demostración utilizando dos depósitos que contenían *gas inflamable* y *gas desflogisticado*. Después de mezclar ambos gases en un recipiente hermético les aplicó una descarga eléctrica y el resultado fueron unas gotas de agua.



Aparato utilizado por Lavoisier en la síntesis del agua

El hecho de que Lavoisier formara parte de una comisión encargada del estudio de los globos aerostáticos y de sus posibles aplicaciones estratégicas, le favoreció sin duda en sus investigaciones sobre el agua. Por aquel entonces, se estaba intentando mejorar un globo que utilizaba hidrógeno como combustible y se pretendía obtenerlo de una manera sencilla y rentable a nivel industrial. Junto con el joven ingeniero Jean Baptiste Meusnier realizó un experimento que consistía en hacer pasar una corriente de vapor de agua a través de hierro caliente, obteniéndose hidrógeno, según la ecuación:

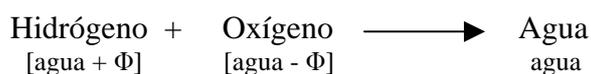


Equipo utilizado por Lavoisier en la producción de hidrógeno

La aplicación del proceso a nivel industrial pasaba por mejorar los aparatos utilizados hasta entonces en el laboratorio, las cubas hidroneumáticas no resultaban ya eficaces y por eso Meusnier diseñó un *gasómetro* para sustituirlas y experimentar en condiciones más favorables. Finalmente encargaron dos de estos aparatos al fabricante

de instrumentos científicos Mègnié, que se encontraban en su laboratorio del Arsenal cuando fue confiscado.

Este experimento tuvo una trascendencia muy superior a la que inicialmente pudiéramos pensar, ya que no sólo permitió obtener hidrógeno, sino que también permitió la descomposición del agua, demostrando que está compuesta de oxígeno e hidrógeno. Fue la prueba concluyente de que el agua no era un elemento simple sino un compuesto. A pesar de que Cavendish fue el que obtuvo inicialmente el agua, éste nunca consideró el resultado de su experimento como una síntesis de esta sustancia, sino que basándose en la teoría del flogisto supuso que el *aire inflamable* era en realidad agua saturada de flogisto y el *aire desflogisticado* agua privada de esta sustancia. Al reaccionar, el producto resultante era agua, que para él continuaba siendo una sustancia simple.



Lavoisier en cambio, inmerso en su teoría del oxígeno consideró desde el principio que el agua era un compuesto formado por hidrógeno y oxígeno, pero necesitaba encontrar la manera de probarlo sin que se presentara la más mínima duda. Por eso se pasó un año diseñando una experiencia espectacular destinada a convencer a los científicos su país. Ésta la llevó a cabo en febrero de 1785 y la realizó en dos días. En el primero produjo la síntesis del agua y en el segundo su descomposición. Si lo analizamos desde el punto de vista científico, estas experiencias no son del todo concluyentes, ya que el peso total del agua no coincidía con la suma de los pesos de los gases utilizados y Lavoisier redondeó bastante las cifras. Además, durante el experimento se produjeron varias fugas de gas en el aparato y algunas gotas de agua se derramaron, por lo que no pudieron ser pesadas. Pero Lavoisier hizo una estimación de la cantidad perdida y consiguió finalmente, que la comisión designada por la Academia para evaluar los resultados, certificara la validez del proceso.

El 6 de abril de 1785, Berthollet que era el presidente de dicha comisión, anunció públicamente que se admitía la existencia de un *principio ácido* llamado *oxígeno*. Esto dividió a los miembros de la Academia y los más conservadores como Priestley o Macquer rechazaron totalmente la nueva teoría, manteniéndose fieles al flogisto, incluso cuando ya se hizo evidente su inexistencia. A Priestley nunca le convenció el experimento de Lavoisier de la descomposición del agua, ya que según decía, el hidrógeno podía proceder del hierro y no del agua. La cuestión se zanjó en 1789 cuando dos químicos holandeses, Adriaan van Trootswijk (1752-1837) y Jan Deiman (1743-1808) descompusieron el agua en sus componentes utilizando una máquina eléctrica.

Es significativo el hecho de que la nueva teoría del oxígeno de Lavoisier, abarcase tanto la acidez como la combustión. El oxígeno es, por tanto, el responsable de la combustión y de la calcinación, además de portador de las propiedades ácidas y constituyente universal. El calórico es un elemento-principio que también forma parte de las sustancias y que juega un papel importante en el comportamiento de las mismas.

Lavoisier defendió su teoría en una memoria pública titulada *Reflexiones sobre el flogisto* presentada el 28 de junio de 1785. Fue una exposición cuidadosa y bien argumentada, en la que procuró no descalificar a ninguno de los científicos que habían defendido la teoría del flogisto, destacando en cambio sus aportaciones a la ciencia. Utilizó sus experimentos sobre la combustión, la calcinación y el calor para apoyar sus argumentaciones. Hizo distinción entre distintos fenómenos que se engloban en la combustión, como son la ignición, inflamación y la detonación, explicándolos también

de acuerdo con su teoría. El hecho de que el agua estuviese constituida por hidrógeno y oxígeno, proporcionó a Lavoisier la explicación del por qué los metales disueltos en ácidos producían hidrógeno. Éste, afirmaba Lavoisier, no provenía del metal, tal y como defendían los seguidores del flogisto, sino del agua en la cual se disolvía el óxido ácido:



Cuando habló de la disolución de los metales por los ácidos formuló la *Ley de conservación de la masa*. Este principio de conservación no fue inventado por él, se aplicaba ya en la física atomista de la Antigua Grecia y a lo largo del siglo XVII fue ampliamente utilizado por Boyle, Mariotte y Pascal. Lavoisier supuso que este principio se cumplía en todas las experiencias gravimétricas, pero no se molestó en explicitarlo hasta este año de 1785.

«Nada se crea en las operaciones del arte ni en la naturaleza y puede establecerse como principio que en toda operación hay una cantidad igual de materia antes y después de la operación...Sobre este principio se funda todo el arte de hacer experimentos en química.»

Más adelante en su *Tratado Elemental de Química* (1789) volvió a referirse a él para explicar el fenómeno de la fermentación de las uvas, pero en ningún caso intentó demostrarlo y lo admitió directamente como postulado. Aunque el principio de conservación de la materia no haya sido ideado por él, se le ha adjudicado tal mérito porque fue sin duda, el primero que lo utilizó para hacer predicciones sobre la naturaleza de los productos de una reacción. La balanza en sus manos se convirtió en un instrumento de medida muy valioso e imprescindible.

Después de hacer pública su memoria en 1785 Lavoisier se dedicó a difundir su teoría y para ello realizó un gran esfuerzo, con tertulias en su casa a las que invitaba a científicos venidos de fuera y con demostraciones públicas que repitió sin descanso. La correspondencia mantenida con otros químicos europeos, también jugó un papel muy importante en la definitiva implantación de la nueva teoría. Al encontrarse con que la revista *Journal de Physique* estaba dirigida por un seguidor de la teoría del flogisto, Lavoisier y algunos de sus colegas fundaron su propia revista, *Annales de Chimie* en abril de 1789, actualmente esta publicación todavía se sigue editando y mantiene su prestigio. En aquel momento el consejo de redacción estaba formado por la mayor parte de los conversos al nuevo sistema: Guyton, Berthollet, Fourcroy, Vauquelin, etc. Pero además, mientras Lavoisier fue director de la Academia de Ciencias consiguió cambiar su estructura, de tal manera que la sección de química pasó a estar compuesta sólo por químicos contrarios a la teoría del flogisto. El cambio de mentalidad se fue produciendo muy lentamente tanto en Francia como en el resto de Europa y se creó una situación muy curiosa, porque en esta ocasión, el bando de los innovadores se encontraba dentro de una institución oficial como era la Academia, mientras que los conservadores estaban fuera de ella.

Llegado a este punto, el siguiente paso dado por Lavoisier y sus colaboradores fue el de la reforma de la nomenclatura. Ésta era una idea que ya estaba en la mente de algunos como Guyton de Morveau cuando todavía se mantenía fiel a la teoría del flogisto. Los nombres exóticos (relacionados muchas veces con la mitología) que se daban a las sustancias, no facilitaban la labor de los químicos, más bien generaban confusión en la inmensa mayoría de los casos. Así es que cuatro químicos: Lavoisier,

Berthollet, Guyton y Fourcroy se dedicaron durante ocho meses a la tarea de reformar la nomenclatura. El resultado fue el libro *Método de nomenclatura química* (1787).

Los autores eliminaron definitivamente los cuatro elementos aristotélicos (agua, aire, tierra y fuego) como constituyentes básicos y dieron una *nueva definición de elemento: las sustancias más simples que no se pueden descomponer*. Sin embargo, Lavoisier dejó abierta una puerta, consciente de que los medios técnicos podrían mejorar dentro de unos años, consideró la posibilidad de que algunas sustancias que en ese momento se tenían como elementos, con el tiempo se lograra descomponerlas, demostrando que no eran tales. A estos *elementos* (un total de treinta y tres) se les asignó un nombre acorde con la propiedad más importante de los mismos, para luego elaborar nombres para las sustancias compuestas yuxtaponiendo los anteriores. Por ejemplo:

Gas oxígeno = oxígeno + calórico

Óxido de ... = oxígeno + nombre del metal

Para los compuestos, el porcentaje de cada elemento presente quedaba reflejado por la *terminación de su nombre*. Por ejemplo: los ácidos del nitrógeno se denominaban ácido nitroso y ácido nítrico. La terminación *-oso* se utilizaba para indicar el de menor contenido en oxígeno y la terminación *-ico* para el de mayor.

Casi todos los metales mantuvieron sus nombres antiguos y las tres bases más utilizadas fueron llamadas: sosa, potasa y amoníaco. Guyton recomendaba además, que en las traducciones a otros idiomas se utilizaran nombres latinos para generalizar las nuevas denominaciones. Paralelamente los químicos Hassenfratz y Adet, idearon unos símbolos para representar las sustancias, con la idea de sustituir por éstos a los antiguos símbolos alquimistas, pero no tuvieron mucho éxito.

Esta nueva nomenclatura surgida en el s. XVIII resultó ser bastante efectiva y en gran parte sigue usándose en la actualidad, pero en aquél momento suscitó una gran polémica, generándose una fuerte división que se hizo muy notoria en tan sólo dos generaciones. La lengua de los químicos de la Academia dejó de ser la misma que la empleada por drogueros, metalúrgicos y otros artesanos relacionados con el arte de la química.

Poco después de la reforma de la nomenclatura Lavoisier publica su *Traité Élémentaire de Chimie* (1789), el último instrumento de difusión de su teoría. Se trata de una obra que está fundamentalmente dirigida a principiantes y que pretende romper con el estilo de los tratados tradicionales de química, bastante caóticos en cuanto a la exposición de los experimentos. De hecho, el Tratado se convirtió en un modelo para la enseñanza de la química durante varias décadas. El texto consta de tres partes. En la primera parte se expone la teoría del oxígeno fundamentada en el calórico y se describen algunas sustancias. En la segunda, organizados en 44 tablas se muestran las posibles combinaciones de los ácidos con las bases y las sales neutras que originan. La tercera parte estaba dedicada a los instrumentos de laboratorio y a las técnicas básicas de la química. Todos los grabados aparecen al final del texto y fueron realizados con sumo detalle por la esposa de Lavoisier. A diferencia de otros textos de química, aquí no se parte de la suposición de que el lector tiene conocimientos previos en la materia. La idea es avanzar de lo sencillo a lo complejo y de lo conocido a lo desconocido.

Hacia mediados de la década de 1790, la teoría del flogisto había sido ya vencida y sólo unos pocos químicos eminentes, como Joseph Priestley se mantuvieron fieles a la misma. Para entonces, la situación política de Francia se había complicado bastante, la Revolución había triunfado y Lavoisier se vio envuelto en una serie de sucesos que le dejaron poco tiempo para la investigación. A pesar de su indudable apoyo a la fase

inicial de la Revolución y de sus intensos esfuerzos dentro de la Academia para mantenerla en funcionamiento, mejorar la calidad de la pólvora y realizar alguna actividad beneficiosa para la industria del país, su condición de miembro de la Ferme Générale pesó mucho más. Finalmente la Academia fue disuelta el 8 de agosto de 1793. El 24 de noviembre de 1793 Lavoisier y su suegro fueron detenidos e injustamente acusados, junto con otros *fermiers*, de haber humedecido el tabaco y de mezclarlo con otras sustancias nocivas con el fin de aumentar su peso y también de haber cobrado impuestos abusivos y de quedarse con parte del dinero del Tesoro. La correspondencia científica que Lavoisier mantenía con extranjeros le hizo también sospechoso de conspiración contra la patria. Durante unos meses estuvo recluido en el antiguo convento de *Port Royal* que a partir de la revolución se convirtió en prisión y tomó el nombre de *Port Libre*. Finalmente Lavoisier fue guillotinado el 8 de mayo de 1794, tan sólo tenía 51 años. Algunos de sus antiguos colaboradores y compañeros de la Academia, que no estaban precisamente mal situados en el nuevo régimen, como Guyton, Fourcroy y Carnot, no hicieron nada por ayudarlo. Pero hubo otros que intercedieron por él, como el matemático Lagrange, que escribió un informe en abril de 1794 en el que hacía constar los méritos y los servicios prestados por el ciudadano Lavoisier.

Cuatro días después de su muerte, a su viuda le confiscaron todos los bienes y ella misma también fue encarcelada, aunque unos días después la liberaron al no existir pruebas contra ella. Marie Anne pudo sobrevivir gracias a la ayuda de uno de sus antiguos sirvientes Louis-Antoine Messelot. Los familiares de los asentistas, todos en situación de miseria, elevaron varias súplicas a la Convención y el asunto fue tan comentado por todo París, que el 6 de junio de 1795 se promulgó un decreto para restituirles sus bienes. Marie Anne Pierrette no descansó hasta que consiguió recuperar la mayoría de sus posesiones. Cuando lo logró, donó a Messelot varios terrenos en agradecimiento a la ayuda prestada y algunas sumas de dinero a otras personas que también la habían ayudado en los momentos difíciles.

En 1803, Marie Anne publicó las *Memorias de química* que Lavoisier tenía listas para imprimir antes de morir y ella misma redactó el prefacio. Se trataba de una recopilación de todas sus memorias leídas en la Academia a lo largo de veinte años. Después de su desastrosa boda con el conde Rumford, Marie Anne llevó una vida independiente y siguió organizando en su casa reuniones en las que participaban científicos eminentes como Lagrange, Berthollet, Humboldt, Arago, Charles Blagden. A partir del momento de su ejecución, Lavoisier se convirtió en un mito. Los homenajes póstumos se sucedieron, lo mismo que las publicaciones elogiosas hacia su obra.

6.- CONCLUSIÓN

En definitiva, después de todo lo expuesto aquí es posible afirmar que en la Revolución química hubo seis etapas y desde luego no todo el mérito se lo lleva Lavoisier. El primer paso se dio cuando se aceptó que el aire atmosférico participaba en las reacciones químicas. Esto fue demostrado por Hales (1727) y más tarde aceptado en Francia por Rouelle y Venel, autor este último, de la parte correspondiente a la química de la *Enciclopedia*. El segundo tuvo lugar cuando se abandonó la creencia de que el aire era un elemento y se aceptó que en realidad estaba formado por una mezcla de *aires* con diferentes propiedades. Esta fue la contribución de la escuela británica de los químicos neumáticos como Black, Priestley y Cavendish. El tercer paso lo dio Lavoisier al considerar, que el estado gaseoso ocurría por una expansión de los sólidos y líquidos debida al calor, o *calórico*. Esta idea permitió el desarrollo posterior de la termodinámica química. La cuarta aportación se la debemos a Guyton, cuando en 1771

demostró que los metales aumentaban de peso al producirse su calcinación en presencia de aire. Algunos historiadores de la ciencia consideran que este fue el punto crucial y el que puso a Lavoisier en el camino adecuado. Pero en realidad fue el cambio en la interpretación de la acidez y no la teoría de la combustión el factor más importante en todo este entramado. Por tanto, podemos considerar que fue Lavoisier el que dio el quinto paso, al considerar al oxígeno como la pieza clave en la formación de los ácidos y de los óxidos. Finalmente, en el sexto y último se consolidó dicha revolución al crear un nuevo lenguaje para la química, cuya misión era informar de una manera sencilla y rápida al lector de qué estaba compuesta cada sustancia. Y esta fue una tarea compartida entre Lavoisier, Berthollet, Guyton y Fourcroy. A esta revolución contribuyó también el desarrollo de la tecnología. La incorporación a los laboratorios de los nuevos aparatos de recogida de gases, las bombas de vacío, termómetros y aquellos más sofisticados y caros diseñados por Lavoisier y sus colaboradores, hizo posible que las medidas y los análisis de las sustancias obtenidas fueran fiables y reproducibles, permitiendo servirse de ellos como base para desarrollar una teoría. La genialidad de Lavoisier fue encontrar la manera de encajar todas las piezas de este gran rompecabezas, que eran muchas y estaban bastante revueltas.

7.- BIBLIOGRAFÍA

- BENSUADE-VINCENT B., STENGERS, I., *Historia de la Química*. Madrid, 1997.
- BROCK, W. H., *Historia de la Química*. Madrid, 1998.
- CARTWRIGHT, J., *Del flogisto al oxígeno*. Tenerife, 2000.
- HANKINS, T. L., *Ciencia e Ilustración*. Madrid, 1998.
- LAVOISIER, A. L., *Elements of Chemistry*. Chicago, 1993.
- PELLÓN GONZÁLEZ, I., *Un químico ilustrado. Lavoisier*. Madrid, 2002.
- POIRIER, J. P., *Lavoisier*. París, 1993.
- PORTELA, E., *La Química Ilustrada*. Madrid, 1999.