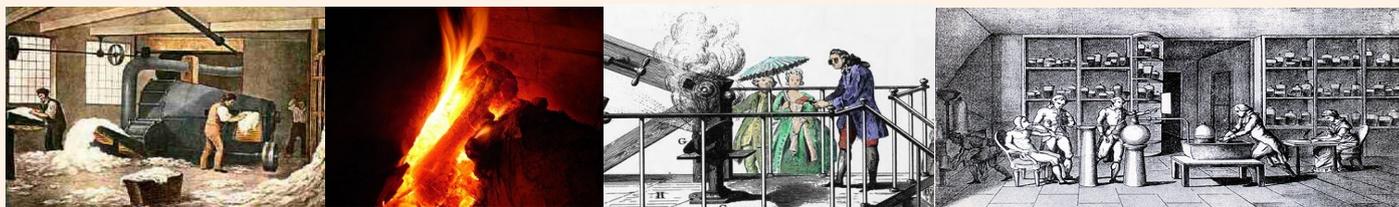


El siglo XVIII: el de la revolución científica en la Química



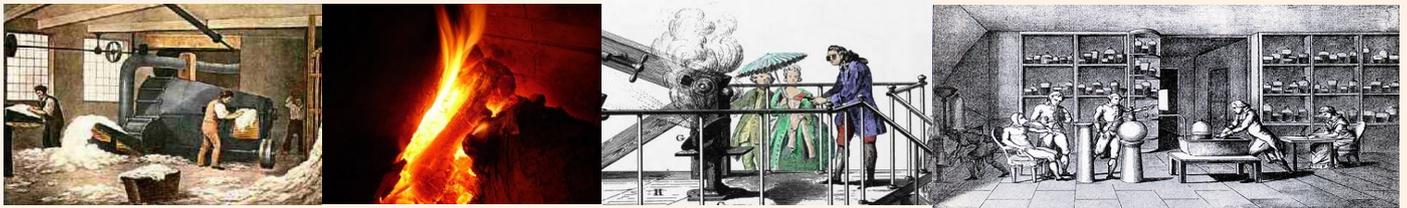
**MATERIAL DIDÁCTICO RECOPIADO Y
ELABORADO POR:
DULCE MARÍA DE ANDRÉS CABRERIZO**



ÍNDICE

Numeración	Epígrafe	Página
1	La aparición de la Química Moderna.	3
2	El problema de la combustión.	6
3	La teoría del flogisto.	8
4	Precursores de Lavoisier.	12
5	Los últimos químicos flogísticos.	14
6	Lavoisier.	16
7	Actividades.	22





1. La aparición de la química moderna.

A principios del siglo XVIII y en la zona geográfica formada por Gran Bretaña, Países Bajos y el norte de Francia, la clase media empezó a financiar la producción de mercancías. La fabricación seguía siendo doméstica y artesanal, pero su control había pasado a manos de comerciantes y capitalistas urbanos pues los gremios artesanales se hundieron. La navegación y el establecimiento de colonias habían abierto mercados cuya demanda de productos manufacturados era siempre creciente.

En la segunda mitad del siglo se extiende la Revolución Industrial, cuyo origen es el crecimiento de la industria textil por su mecanización y la introducción de la máquina de vapor en la misma, lo que origina una demanda creciente de hulla y de maquinaria de hierro, e impulsa mejoras técnicas en la minería, en los acabados metalúrgicos, en los medios de transporte y, más tarde, en la fabricación de productos químicos.

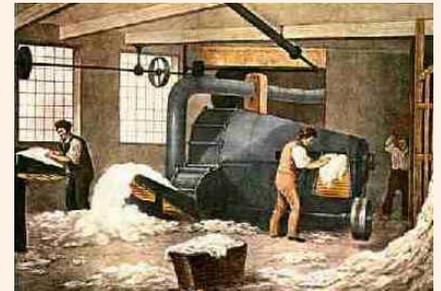
En la Química, la atención se centró en el mecanismo de la combustión y en la naturaleza de las fuerzas que mantienen unidos los componentes de una sustancia química, problema éste ya de una Química Moderna.

Hay que decir que la generación del conocimiento químico no se limita al saber estrictamente empírico que proporciona comportamientos particulares o al establecimiento de leyes experimentales.

Uno de los principales objetivos de la Química es el desarrollar modelos teóricos explicativos (teorías) que permitan comprender las características y las transformaciones de la materia.

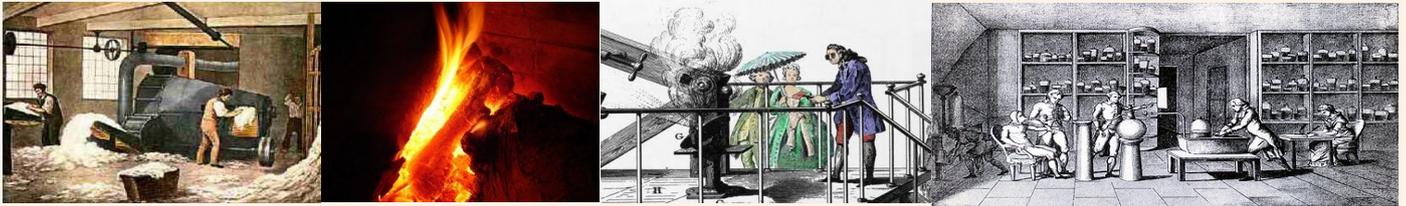
La construcción de todo este conocimiento teórico fomenta muchas veces sin proponérselo explícitamente el desarrollo de técnicas y procedimientos con fines prácticos. Las teorías elaboradas explican e interpretan las observaciones conocidas, estableciendo relaciones entre las distintas leyes experimentales, a la vez que tienen la capacidad de poder predecir de antemano propiedades y comportamientos particulares.

Sin embargo, las teorías no son inmutables y están en continua revisión, de forma que a lo largo de la historia de la Química han existido distintas teorías, e incluso convivido en determinados periodos teorías que proporcionaban explicaciones opuestas de unos mismos hechos. El cambio de una teoría por otra es un proceso difícil, ya que implica un cambio de conceptos y conlleva una reestructuración en los métodos de trabajo y valoraciones de la propia comunidad científica.



Las nuevas industrias se establecieron desde el principio en las proximidades de las minas de carbón, apareciendo ciudades industriales en el norte y centro de Gran Bretaña. En ellas había gran actividad industrial, mercantil e intelectual, allí se fabricaron casi todos los productos y de allí salió el resurgimiento científico inglés del último tercio del siglo XVIII.

En Gran Bretaña se quintuplica la producción de artículos de algodón entre 1766 y 1787 y, por consiguiente, la industria química, auxiliar de la textil, experimenta un gran auge.



Por ello, el proceso de consolidación de toda nueva teoría es interpretado como una revolución en las ideas de la comunidad científica. Un ejemplo es el fin de la teoría del flogisto por Lavoisier y el nacimiento de la teoría atómica de Dalton a principios del siglo XIX, que sirve de modelo teórico en el inicio de la Química Moderna.

Mientras que la coronación de la Ciencia Moderna tiene lugar en el siglo XVII con la publicación de los Principia de Newton, la revolución en la Química ocurre un siglo después con la teoría del oxígeno de Lavoisier.

Hasta entonces la Química Experimental se sustentó en la teoría de los cuatro elementos aristotélicos: tierra, agua, aire y fuego, que se creía que tenían un carácter primigenio y elemental. De todos ellos, para el químico los elementos más importantes eran el aire y el fuego.

La constatación crucial de la revolución química fue que el “aire” no es un elemento simple sino una mezcla de varios componentes químicos distintos en el mismo estado físico: vapor o gas.

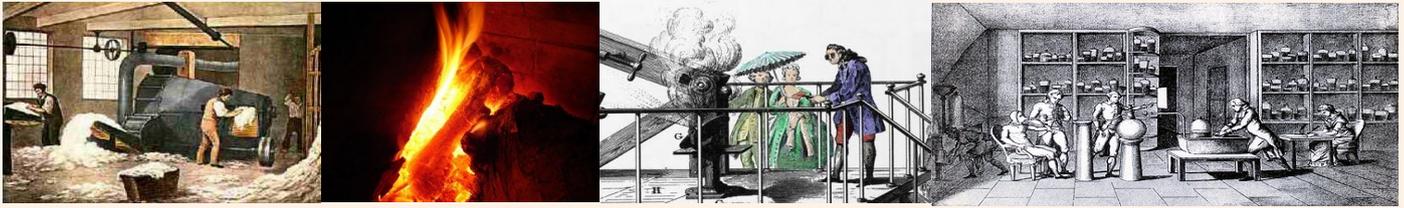


La Química era y es una ciencia experimental en continua construcción, que ha atravesado etapas decisivas, que han propiciado su desarrollo como disciplina científica y una de ellas muy importante es la que tuvo a partir de mediados del siglo XVIII.



Laboratorio de Química del siglo XVIII.

En cuanto al “fuego”, éste no fue lo suficientemente entendido por los creadores de la Química Moderna. Lavoisier se refirió erróneamente al mismo como una sustancia simple y la rebautizó como “calórico”, explicando que en el transcurso de las reacciones químicas existe una pérdida o una ganancia de calor. No fue hasta el siglo XIX, con el auge de la Termodinámica, cuando los químicos pueden encuadrar el fuego dentro de un marco teórico satisfactorio.

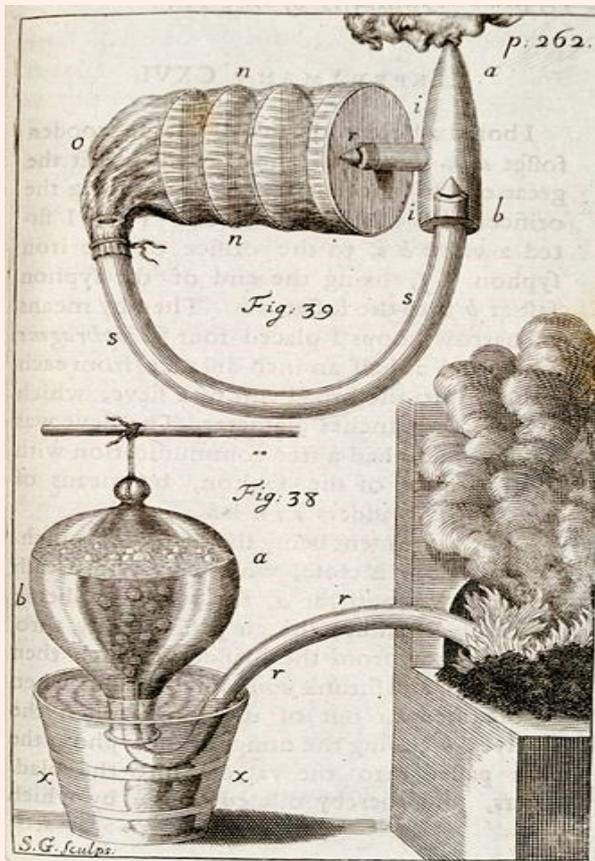


Dentro de la teoría aristotélica, el aire y el fuego tienen una propiedad común que fue descubierta en el siglo XVIII: pueden estar “fijos”, es decir, ocultos en sustancias sólidas y líquidas.

La obra “Vegetable Staticks” (1727) del botánico inglés Stephen Hales (1677-1761) reveló que se podía liberar cantidades de “aire” por destilación destructiva de muchos sólidos y líquidos, como plantas, cera de abeja e incluso hasta sangre.



Stephen Hales.



Página con grabados de “Vegetable Staticks”.

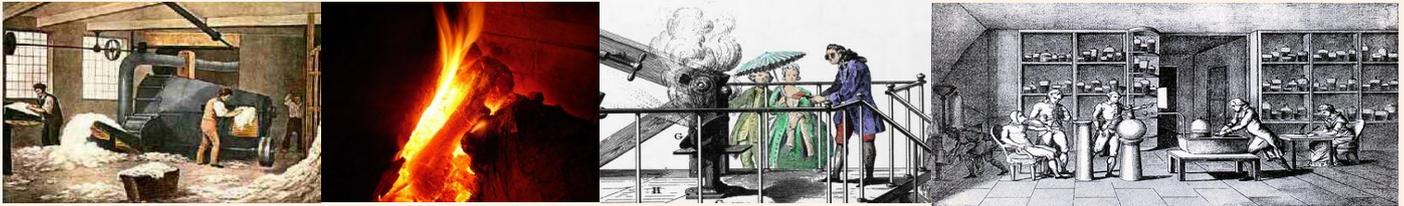
Hales liberó aire de los sólidos pero no pudo fijarlo en éstos. Esta última operación no se realizó hasta que los químicos aislaron diferentes “aires”, es decir distintos gases como O_2 o CO_2 , con propiedades químicas diferentes y pudieron emplear su arte para combinarlos químicamente con otras sustancias a fin de crear un producto sólido.

En cualquier caso, el hecho de que el aire pudiera ser “fijado” en la materia sólida fue un descubrimiento sorprendente que atrajo mucho la atención hacia su estudio. Los químicos tradicionalmente le habían prestado poca atención.

Sus recetas enseñaban cómo hacer sólidos y líquidos, pero lo que se iba por la chimenea no formaba parte de esas recetas.

En 1760, el escocés Joseph Black descubre el fenómeno del calor latente en el cambio de estado líquido-vapor y fue interpretado como “fuego fijado” en la materia, igual que el “aire fijo” era aire fijado en la materia. Cuando el agua hervía, grandes cantidades de fuego (calor) se fijaban en el vapor sin producir ningún cambio en la lectura del termómetro, que es lo que ocurre en el cambio de estado. La analogía sugería una teoría general de la fijación del aire y del fuego.

Así se admitió que el fuego se fijaba y se liberaba en muchas reacciones químicas: por ejemplo, se desprendía en las reacciones químicas de combustión y se fijaba en los procesos en los que se tomaba calor del horno.



2. El problema de la combustión.

Uno de los problemas que más interesaba a los químicos del siglo XVIII era el proceso de combustión y su recíproco, la reducción.

La causa estaba en el auge de la industria metalúrgica. Era conocido el incremento de peso que experimentaban los metales durante su calcinación, lo cual fue interpretado por Boyle, suponiendo que partículas de fuego (idea atomista) atravesaban el cristal del recipiente y se incorporaban al metal produciendo la cal.



Por otro lado, la idea de que el aire es un elemento necesario para la combustión estuvo ya presente en la obra de Paracelso, y el propio Boyle demostró que era imposible quemar azufre en ausencia de aire.

Sin embargo, todas estas ideas no se consolidaron en una teoría

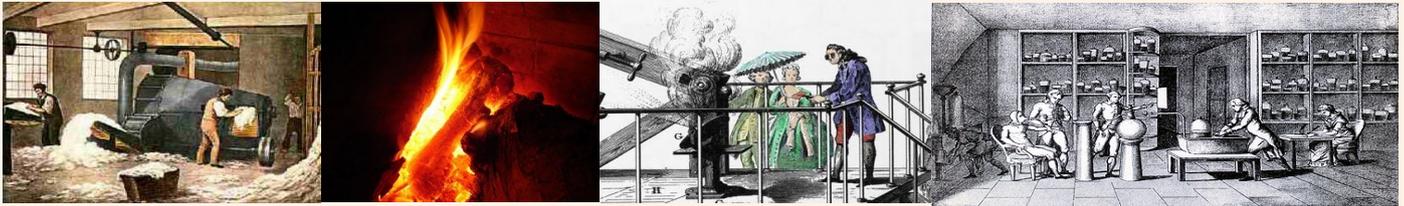
que diese plena explicación a los hechos experimentales, y en su lugar prevaleció la idea observada en la práctica que durante la combustión algo se escapaba en forma de llama. Prueba de ello eran las ligeras cenizas que quedaban al quemarse la materia orgánica.

En 1660, Robert Boyle publicó una recopilación de experimentos realizados con su bomba de vacío. La bomba de vacío tenía ventajas obvias para investigar el papel del aire en la combustión. Pronto descubrió que la eliminación de aire apagaba una llama y mataba a los pequeños animales colocados en el depósito de su bomba. Lo mismo ocurría, pero con mayor lentitud, con los animales y las velas mantenidos en recipientes cerrados.

Estos experimentos indicaron a Boyle que alguna sustancia vital del aire era necesaria para conservar la llama y la vida. También descubrió que la calcinación -el calentamiento de un metal hasta reducirlo a escoria (u óxido)- requería la presencia de la atmósfera y que la escoria pesaba más que el metal a partir del cual se había producido.

Demostración de la bomba de vacío.

Los experimentos de Boyle le indicaban que la combustión, la respiración y la calcinación eran procesos similares y que consumían aire o algún principio vital del aire. Sin embargo, los esfuerzos de Boyle para medir esta pérdida de aire no tuvieron éxito.



En 1674, el médico inglés John Mayow (1640-1679) mide una pérdida de aire cuando un ratón respira o una vela se quema dentro de un recipiente que contiene agua.

En su experimento la pérdida de aire se debe a que el CO_2 producido por la respiración y la combustión se disuelve en el agua del recipiente.

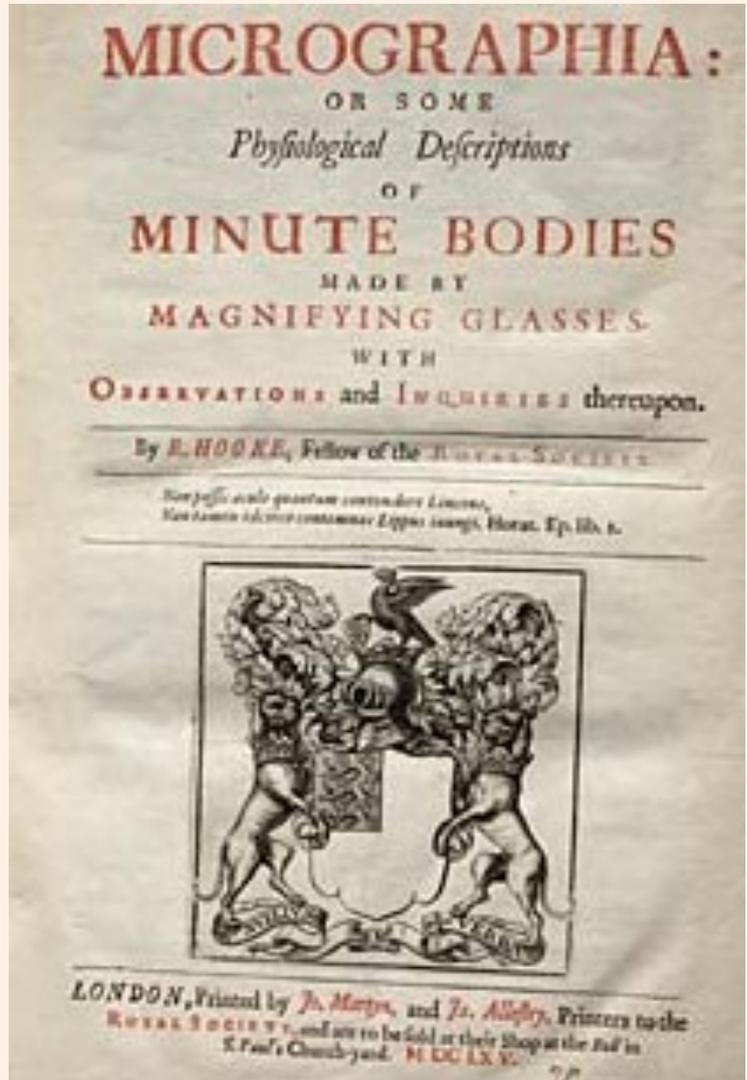
Aunque este trabajo muestra el camino acertado en la interpretación del fenómeno de la combustión, surge la duda ante el hecho de que hay una sustancia que arde sin aire: la pólvora.

Tanto Mayow como Robert Hooke llegan a la conclusión de que es el salitre o nitro de la pólvora lo que proporciona el principio vital para la combustión de la pólvora y, por consiguiente, debe haber algo común en el nitro y en el aire que permite la combustión. Mayow la llamó "espíritu o partículas nitroaéreas".

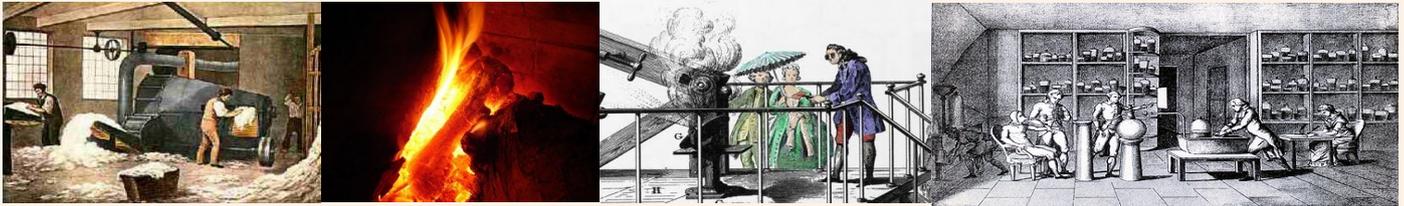
Hooke recogió la idea alquimista de que el azufre es la sustancia o principio favorecedor de la combustión y afirmó que el "fuego es la disolución de un cuerpo sulfuroso ardiendo".

La combustión se mantiene gracias a que al arder todo cuerpo sulfuroso desprende aire a modo de flujo o segregación, como si fuera el flujo menstrual de la mujer.

Era una idea antigua, pero que con las investigaciones experimentales de Boyle, Hooke y Mayow adquirió una mayor precisión y respetabilidad.



Tanto el insigne físico inglés Robert Hooke en su Micrographia de 1665 como Mayow en su Tractatus Quinque (Cinco tratados) de 1674 admiten que el nitro de la pólvora es lo que proporciona el principio vital para la combustión. El azufre y el carbón, los otros dos ingredientes de la pólvora, arden en el aire pero no en el vacío.



3. La teoría del flogisto.

La Química del siglo XVIII venía precedida de un amplio desarrollo de la Metalurgia, ciencia destinada al estudio de los metales y sus transformaciones. En todos los procesos de transformación de metales, la utilización del fuego adquiría un papel fundamental, de modo que para el químico del siglo XVII el fuego era el instrumento que permitía transformar los metales y desarrollar combustiones.

Se atribuye a los químicos alemanes Johann Joachim Becher (1635-1682) y Georg Ernst Stahl (1660-1734) el nacimiento de una teoría explicativa y globalizadora de todas las observaciones anteriores sobre los procesos de combustión, denominada teoría del flogisto.



Johann Joachim Becher.

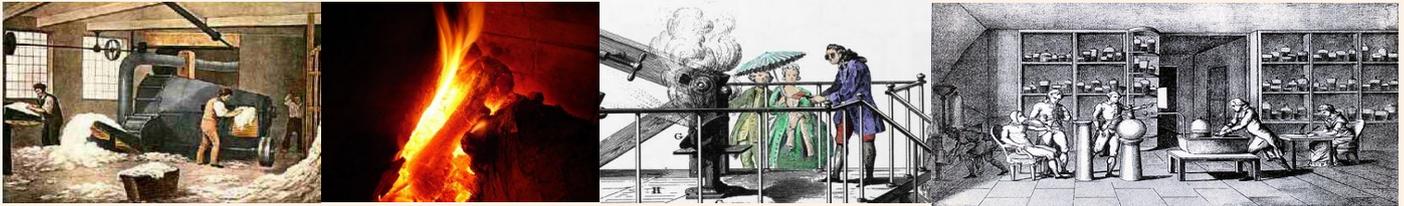
La hipótesis de que algo se escapa durante la combustión fue planteada por primera vez por Becher en 1667, al admitir que los cuerpos estaban constituidos por tres elementos: la tierra, el agua y el aire. De estos tres elementos, el aire no podía participar en las reacciones químicas y el agua tenía muy cualidades específicas. Por tanto, la multiplicidad de sustancias existentes en la naturaleza se debía a las diferencias entre las distintas tierras existentes: la vítrea, la grasa y la fluida. Según Becher durante la combustión se perdía el principio inflamable que era la tierra grasa o terra pinguis. Las ideas de Becher no eran más que una adaptación de las hipótesis iatroquímicas de Paracelso.

En 1697, Stahl amplía la teoría de Becher y rebautiza la tierra grasa como flogisto y mediante su teoría del flogisto (palabra griega que significa inflamable o prender fuego) logra crear un cuerpo de doctrina unificado respecto al fenómeno de la combustión y obtiene una aceptación casi general en la época. Para Stahl, la tierra grasa que se escapa durante el proceso era el flogisto, que era un principio ígneo que formaba parte de las sustancias combustibles. Cuando éstas ardían, el flogisto se desprendía, pasaba a otra sustancia capaz de recogerlo y daba lugar a un movimiento que era el origen del calor y el fuego, observables habitualmente en la combustión.

La gran contribución de Stahl fue relacionar la combustión con otros procesos como la respiración y la calcinación de los metales. Este último fenómeno era conocido desde muy antiguo. Al calentar un metal como el hierro se producía una sustancia de aspecto terroso y sin ninguna de las características metálicas (brillo, ductilidad, maleabilidad) que se denominaba habitualmente cal metálica, que en la alquimia se denominaba sal.



Becher publicó en 1669 su libro *Physica subterranea* con sus ideas que sirvieron de base para el nacimiento de la teoría del flogisto.



La teoría del flogisto admite que el principio de la combustión está en el combustible y no en el aire, que es sólo el medio en el que tiene lugar la reacción química, y afirma que todas las sustancias combustibles poseen un componente común que escapa en el acto de la combustión, el denominado flogisto, considerado por Stahl como un componente químico.

Stahl desarrolló la teoría del flogisto para explicar fenómenos tales como que una vela encendida encerrada en un recipiente acaba apagándose porque el aire se satura de flogisto y no permite más liberación de esa sustancia proveniente de la vela. De igual forma, cuando arde un trozo de leña nos parece ver salir las llamas por todos los poros y elevarse en el aire. ¿Qué conclusión más natural cabe inferir sino que se ha escapado una sustancia, el flogisto, en tanto que quedan las cenizas? En resumen:

Combustión: sustancia → ceniza + flogisto

De esto puede deducirse que la madera está formada de flogisto y ceniza, igual razonamiento se aplica para las combustiones del fósforo, del carbón y de otras sustancias, donde sólo cambia el tipo y las características de la ceniza. El carbón es una sustancia rica en flogisto, y al quemarse deja poca cantidad de cenizas, de forma que se puede considerar que el carbón está formado de ceniza + flogisto.

Es decir, todas las sustancias combustibles contienen una sustancia que carece de peso, el flogisto y durante su combustión, el flogisto se separa en forma de llamas dejando un residuo incombustible conocido en la alquimia como sal, cal o simplemente cenizas.

La calcinación de un metal se explica como un proceso en el que se desprende flogisto y el metal se transforma en cal metálica o escoria:

Calcinación: metal → cal + flogisto

Stahl explicó el proceso inverso, la reducción de la cal al metal, como una adición de flogisto. Así, si una sustancia rica en flogisto, como el carbón, era puesta en contacto con una cal metálica, podía transferirle su flogisto y dar lugar a la formación del metal según:

cal + carbón → metal

La combustión y la calcinación cesan cuando el aire en el que tienen lugar dichos procesos se satura y envenena con el flogisto. El aire actúa como una especie de esponja para absorber el flogisto y una vez viciado por el flogisto pierde su capacidad para permitir la combustión o la calcinación.

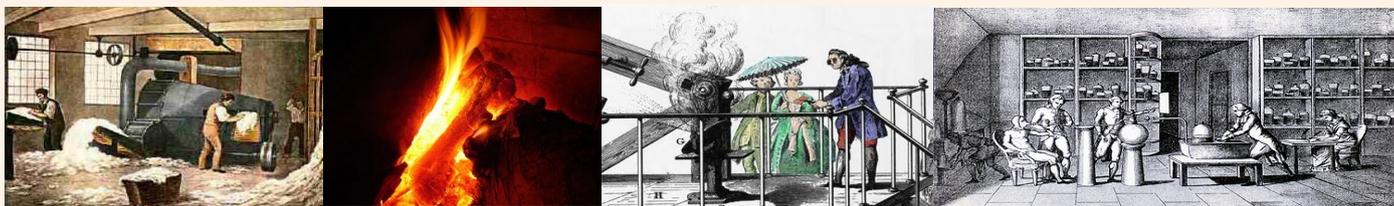


Georg Ernst Stahl.

Para Stahl el flogisto constituyó su guía de trabajo diario en el laboratorio.



La teoría del flogisto tuvo una amplia repercusión entre los químicos del siglo XVIII debido a su carácter explicativo sobre los procesos de combustión y reducción empleados en la industria metalúrgica.



3.1. Defectos de la teoría del flogisto.

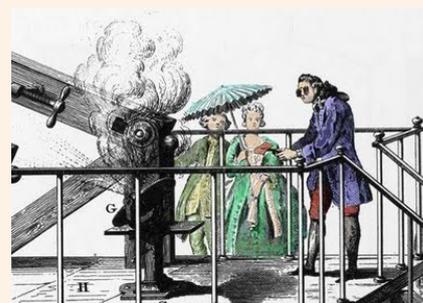
Como toda teoría científica, la teoría del flogisto tuvo defensores y detractores. Hubo entonces químicos flogísticos y no flogísticos. No obstante, la teoría del flogisto es una teoría falsa, pero hay que admitir que coordinó la generalidad de los hechos conocidos por los químicos de la época y les permitió emplear sus conocimientos eficazmente en la solución de nuevos problemas.

Los defectos más importantes de la teoría del flogisto son tres:

- a) Nadie había visto el flogisto, por tanto era una sustancia hipotética, pero que a nadie le importaba o preocupaba.
- b) El inconveniente de la necesidad del aire para la combustión, lo solucionaron diciendo que el aire solo es necesario como auxiliar mecánico: el flogisto se combina con el aire, o una parte de él, durante la combustión. Si no había aire, el fuego se apagaba porque el flogisto no tenía nada con que combinarse.
- c) El hecho, observado, al menos por Boyle, de que al quemar los metales, sus residuos pesaban más que el metal, siendo así que si al arder se supone que deben perder flogisto, por tanto debería pesar menos. Esta dificultad es insuperable de poder explicarse, pero mereció poca atención en aquella época, pues el análisis cuantitativo estaba poco extendido.

No obstante, la teoría del flogisto proporcionó una explicación coherente de los hechos conocidos de la combustión. Hacia 1750 era ya muy aceptada y perduró como generalización teórica de la Química hasta finales del siglo XVIII. Si bien es cierto, que es opuesta a la teoría de la oxidación-reducción, pues donde nosotros admitimos que se incorpora una sustancia, el oxígeno, Stahl admitía que se desprendía otra, el flogisto.

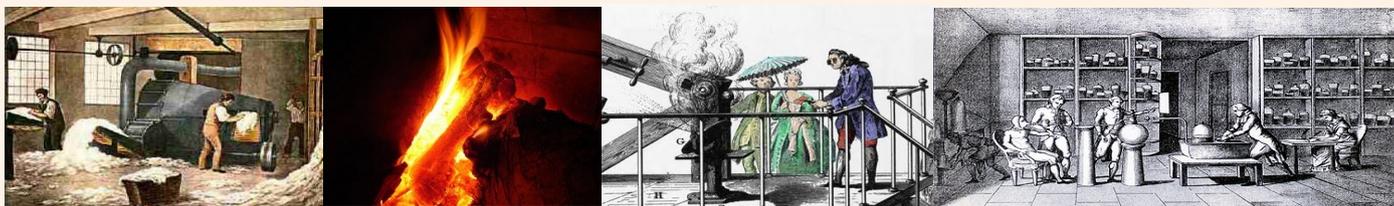
La ciencia moderna nunca ha agradecido a Stahl sus elucubraciones, que tanta acogida tuvieron entre los aprendices de alquimia de su tiempo, siendo como fue su teoría la raíz del surgimiento del estudio de los gases. Si Stahl nunca hubiera abierto la boca, posiblemente sus sucesores no hubieran dedicado tiempo a experimentar para demostrar a favor o en contra la constatación y consistencia de su teoría. El gran mérito de Stahl, fue concebir una teoría de una gran facilidad con que se entendía. Esto provocó que sedujera a no pocos científicos de la época, que de pronto explicaba lo que hasta entonces era un mundo mágico-espiritual y del que todo el mundo podía ahora experimentar casi matemáticamente.



Calcinación de metales empleando lentes. El incremento de masa ocurrido durante la calcinación de los metales fue obviado por Stahl por carecer para él de importancia (hay que tener en cuenta que hay que esperar a Lavoisier para que el tratamiento cuantitativo adquiera su verdadera importancia). Adeptos a la teoría del flogisto adujeron que el flogisto tenía masa negativa. De modo similar, la necesidad del aire para el proceso era explicado por el hecho de que el flogisto se combinaba con parte del aire.



Antiguos hornos de calcinación.



4. Precursores de Lavoisier.

En el siglo XVIII la teoría química se desarrolla lentamente pero las técnicas experimentales se perfeccionan y se complementan con otras nuevas. Los métodos analíticos por "vía seca" se efectúan a temperaturas elevadas, sometiendo a los materiales a las operaciones de fusión o calcinación. El químico sueco Axel Fredrik Gronsted (1722-1765) introdujo el uso del soplete en el laboratorio, lo que le permitió dirigir el dardo de la llama a una pequeña región, y con ello aplicar las técnicas de fusión o calcinación a muestras pequeñas. Se hizo famoso por contribuir a reformar la Mineralogía, iniciando una clasificación de los minerales en la que consideraba su estructura química y los detalles de sus apariencias externas.

Esta labor la continuó el también sueco Bergman, quien además de utilizar la vía seca de análisis, también usó la vía húmeda, es decir, la utilización de reacciones químicas en disolución, que era más cómoda y permitía efectuar los análisis con más rapidez y exactitud, finalmente también introdujo la técnica del análisis gravimétrico cuantitativo y, por todo ello, lógicamente se le puede considerar el padre de la Química Analítica.

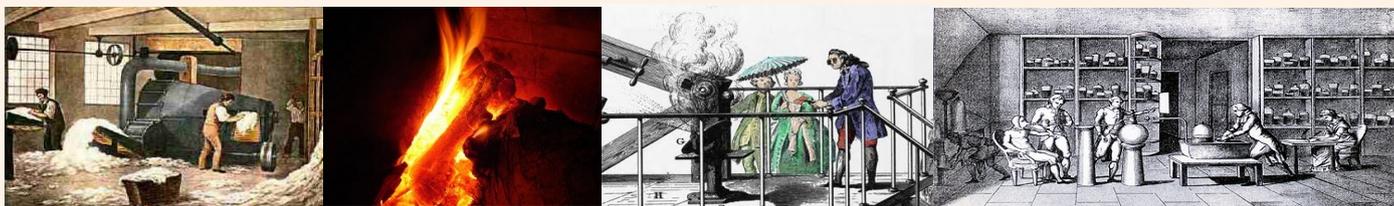
El alemán Martin Heinrich Klaproth (1743-1817) fue tenido por el mejor analista de su época, introdujo la práctica de desecar los precipitados hasta pesada constante y la del resultado porcentual. Entre su carrera de éxitos como analista se puede citar como más trascendente la obtención a partir del mineral pechblenda de un compuesto amarillo que con bastante certeza contenía un elemento químico aún desconocido, obtuvo el óxido de dicho elemento químico creyendo que era un metal y le llamó uranio, siguiendo la costumbre de los antiguos alquimistas que bautizaban los metales con nombres de planetas.



También hay que citar a los españoles Fausto de Elhuyar (1755-1833) y Juan José (1754-1796). Ambos se favorecen del espíritu de la Ilustración, al ser pensionados por el gobierno español en distintas universidades europeas con el fin de traer a España los conocimientos utilitarios de la investigación científica y fueron unos ilustres mineralogistas. En 1781, Juan José es enviado a Suecia, que está a la vanguardia de la química, además de que el gobierno español se interesó por los métodos suecos para fabricar cañones. Junto a Bergman, estudió los métodos modernos de laboratorio para la obtención de elementos químicos, y será el propio Bergman quien le trasladó al Elhuyar la sospecha de que existía otro elemento metálico en la scheelita. A su vuelta a España, en 1783 Juan José, ayudado por su hermano, obtiene el wolframio o tungsteno, siendo éste el primer elemento químico descubierto sin ser extraído directamente de la naturaleza.

Juan José de Elhuyar estuvo primero en Upsala en cuya universidad investigaba e impartía clases Torbern Olof Bergman; más tarde, marcha a Köping y trabaja con Carl Wilhelm Scheele.

En 1784, fue enviado a Santa Fe de Bogotá para trabajar en la minas de plata de Mariquita en el departamento de Tolima. Su muerte se produce en 1796 en la ciudad de Bogotá, en el entonces Virreinato de Nueva Granada y hoy Colombia.



Mientras Juan José va a Suecia a ampliar estudios, su hermano Fausto se encuentra en 1781 en Vergara enseñando como Catedrático de Mineralogía y Metalurgia. Su trabajo se centra en la enseñanza y en el trabajo en el laboratorio asociado a François Chavaneau (catedrático de Química en Vergara), y consiguió la purificación y maleabilidad del platino.

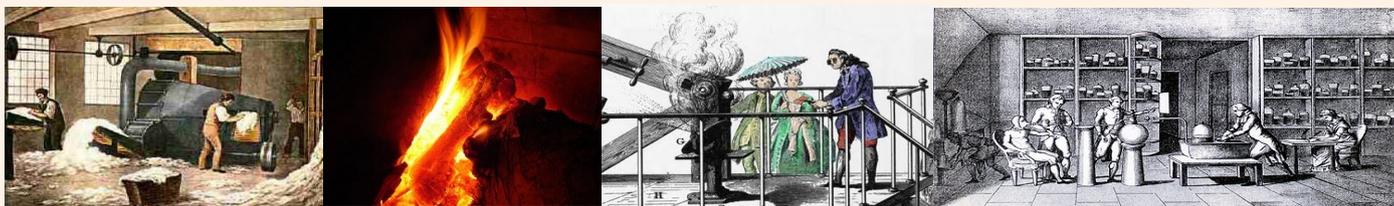
Otro sueco eminente fue Karl Wilhem Scheele (1742-1786) en el transcurso de su carrera como investigador ayudó a descubrir más número de sustancias y en mayor variedad que ningún otro químico en el mismo período de tiempo. Fue farmacéutico y un hábil experimentador químico. En esta época los farmacéuticos preparaban la mayor parte de los medicamentos a partir de minerales y plantas, de tal forma que ante los reducidos equipos técnicos del momento, necesitaban de una enorme habilidad experimental. Trabajó con el equipo de investigadores de Bergman y regentó su propia farmacia en Köping, donde compaginó su trabajo con el de la investigación. Participó en el descubrimiento de muchos elementos químicos (bario, cloro, manganeso, molibdeno, nitrógeno y wolframio) y a pesar de todo ello es sin duda el químico de peor suerte de la historia, pues después de haber realizado una labor fenomenal en el descubrimiento de nuevos elementos químicos no se le ha dado el crédito indiscutible de haber descubierto ninguno de ellos. El caso más trágico fue el del oxígeno, el cual desde el punto de vista químico fue el más importante de sus descubrimientos, lo aisló entre 1771 y 1772 calentando distintas sustancias que le dejaban en libertad con facilidad, entre ellas el óxido de mercurio. Describió sus experimentos con todo detalle en un libro titulado "Del aire y el fuego", pero por negligencia del editor no se publicó hasta 1777 y por aquel año Priestley ya había dado cuenta de su descubrimiento y es a él a quien se acredita el éxito en el descubrimiento del oxígeno.



Estatua de Fausto De Elhuyar en la entrada a la Antigua Facultad de Medicina de Zaragoza.

En septiembre de 1785, Fausto renuncia a su cátedra de Vergara y marcha a México. Durante su estancia americana se ocupó de la creación del Colegio de Minería, la construcción del Palacio de Minería y la dirección de los mismos, así como de visitar las "Reales de Minas". En 1788 es supervisor de la industria minera en México hasta la revolución a comienzos del siglo XIX. Fausto regresa a España en 1822 y se ocupa del reconocimiento oficial de las minas de Almadén, Guadalcanal y Río Tinto. En 1825 es nombrado Director General de Minas. Muere en Madrid el 6 de enero de 1833.

En 1773, Scheele enunció en contra de la hipótesis del flogisto, que el aire estaba constituido por una mezcla de dos gases, uno que permitía la combustión ("aire de fuego"), y otro que la prevenía ("aire nocivo"). Un año más tarde sintetizó el gas verde de cloro, al hacer reaccionar el ácido clorhídrico con el dióxido de manganeso (MnO_2), que más tarde fue identificado como un elemento químico por inglés Humphry Davy. Scheele fue un descubridor incansable que obtuvo multitud de compuestos orgánicos e inorgánicos en las décadas de 1870 y 1880; los más destacados son: los ácidos fosfórico, tartárico, arsénico, molibdico, tungstico y sulfhídrico, la arsina, el nitrato potásico, el dióxido de manganeso y óxido de mercurio. Demostró que el ácido láctico era un componente de la leche y estableció las propiedades y composición de los ácidos cítrico, málico y oxálico, así como del cianuro de hidrógeno (ácido cianhídrico).



5. Los últimos químicos flogísticos.

En el desarrollo sobre el conocimiento de los gases hay que destacar al escocés Joseph Black y al británico Henry Cavendish (1731-1810). Black, más conocido por su contribución en el desarrollo de los conceptos del calor, demostró que un gas puede combinarse químicamente con un sólido para dar un compuesto químico nuevo de propiedades diferentes y eliminó así la idea de que los gases no pueden intervenir en las reacciones químicas, y en sus observaciones sobre sales como la magnesia alba dedujo que el aire no debe ser una sustancia pura sino una mezcla.

Los estudios de Joseph Black sobre la magnesia alba o blanca (MgCO_3) probaron que al calentarla se producía un residuo (MgO) que tenía un peso inferior a la magnesia blanca y la reacción de ésta con un ácido producía una efervescencia. Dichos procesos responden a las siguientes reacciones químicas:

$\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ y $\text{MgCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

Black identifica la efervescencia con la pérdida de peso que sufre la magnesia alba al calentarla y admite que en ambos procesos lo que ocurre es la liberación de aire de su estado fijo en la magnesia alba. Luego comprueba que el “aire fijo” (CO_2) es un aire con propiedades químicas especiales, pues en su seno no hay vida y es un producto de la respiración, de la fermentación alcohólica y de las combustiones con carbón vegetal. Por tanto, el aire fijo de Black es un aire distinto del aire atmosférico.

En el siglo XVIII, el desarrollo de la Química a partir de la máquina neumática supuso la aparición de nuevos métodos para estudiar los gases y sus propiedades, consistentes en recoger el gas desprendido de la combustión en recipientes llenos de líquidos o de mercurio. Los entusiastas del flogisto asentían en que todo cuanto contenía gas o ardía contenía flogisto en mayor o menor medida, hasta el punto de que al gas que ardía sin dejar residuo lo consideraron el flogisto puro (hidrógeno).

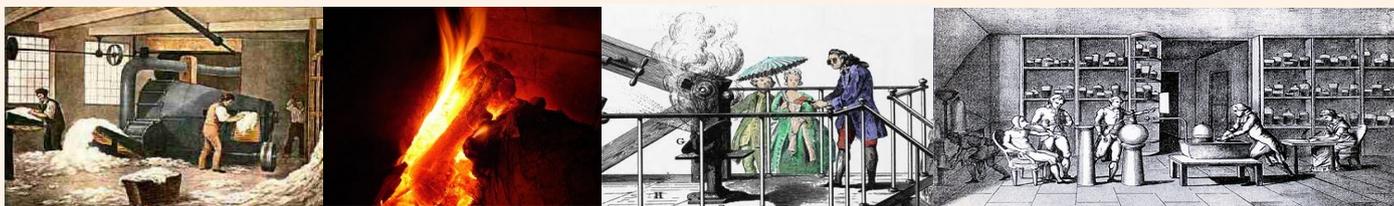
Una vez alertados sobre la posibilidad de que existieran aires diferentes con distintas propiedades, los químicos británicos se pusieron a buscarlos. Así, en 1766, Henry Cavendish (1731-1810) aisló el “aire inflamable” (H_2) y fue el primero en hacer un estudio minucioso sobre el mismo y fue una pena que Cavendish identificase el hidrógeno con el flogisto, y hoy en día cuesta creer cómo este hombre pudo encajar los resultados de sus experimentos con la teoría del flogisto, pero la verdad es que lo hizo. Mientras tanto, en 1774, Daniel Rutherford (1749-1819) identificó el nitrógeno (N_2) como otro tipo de “aire”.



Joseph Black.



Henry Cavendish.



Pero la labor más importante en el desarrollo de la Química Neumática la realizó el inglés Joseph Priestley (1733-1804), lo que le supuso nuevos retos para la interpretación química en base a la teoría del flogisto. Este autor empleó la teoría del flogisto para explicar las transformaciones de lo que denominaba "fluidos elásticos", o gases en nuestra actual terminología y encontró un número muy importante de "aires". Priestley mejoró los métodos de manipulación de los gases al utilizar el mercurio en vez del agua en la cubeta neumática, esto hizo que pudiera aislar numerosos gases hasta entonces desconocidos a causa de su solubilidad en el agua. En 1772 demostró experimentalmente la analogía que existe entre la combustión y la respiración, al observar que el aire en que había ardido una bujía hasta apagarse espontáneamente volvía a ser respirable y capaz de mantener la combustión después de que las plantas habían crecido en él durante algún tiempo.

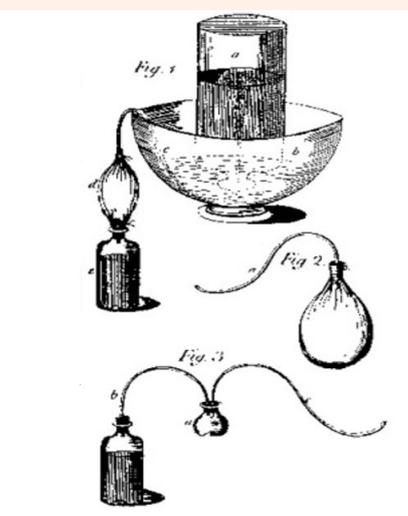
Priestley introdujo las expresiones "aire flogisticado" y "aire desflogisticado". Se había observado desde muy antiguo que cualquier sustancia arde durante un período limitado si la cantidad de aire disponible es igualmente limitada (en caso de hallarse, por ejemplo, en un recipiente estanco). Priestley denominó al residuo de aire que quedaba tras el proceso de combustión (en realidad, una mezcla de nitrógeno y dióxido de carbono) "aire flogisticado", pues pensaba que durante la combustión dicho aire había absorbido todo el flogisto que tenía capacidad de albergar. La combustión cesaba porque no podía absorber más flogisto.

En 1772 Priestley publicó sus trabajos sobre el "aire nitroso" (NO) y el "aire ácido marino" (HCl) y entre 1772 y 1774 halló el "aire alcalino" (NH₃), el "aire ácido vitriólico" (SO₂), el "aire nitroso flogisticado" (N₂O) y sobre todo en 1774 el "aire desflogisticado" (O₂). Obtuvo el aire desflogisticado a partir del óxido de mercurio, compuesto químico a partir del cual también lo obtuvo Scheele. En 1775 lo estudió con detenimiento, pues este gas sorprendió a todos los químicos de la época porque ardía con una viva luz y pasó a considerarlo como gas sin flogisto. Encontró que dicho gas era más puro que el aire ordinario y lo llamó aire desflogisticado (más tarde Lavoisier lo llamaría oxígeno), al creer que éste era el componente de la atmósfera al que se unía el flogisto cuando se escapaba de una sustancia en ignición. Y llamó "aire flogisticado" al nitrógeno (N₂). Al igual que Scheele, Priestley no comprendió el verdadero significado de su descubrimiento, pues ambos fueron unos profundos convencidos de la teoría del flogisto, lo cual fue menos perdonable en Priestley pues ni los brillantes trabajos de Lavoisier pudieron convencerle de lo contrario.

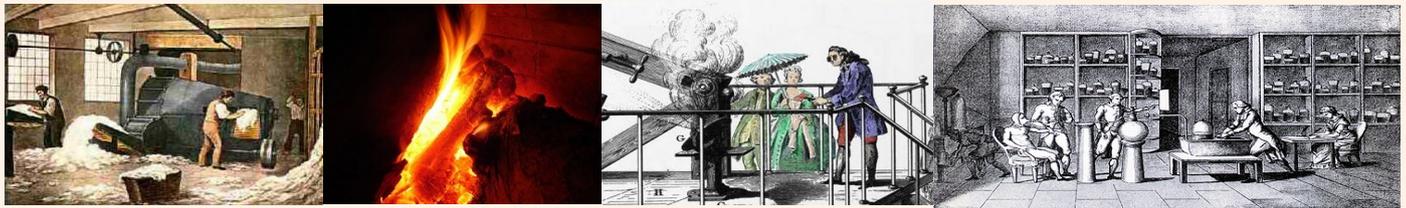


Joseph Priestley.

Las experiencias de Cavendish y Priestley ponen de manifiesto la existencia de contradicciones entre lo observado y lo establecido por la teoría del flogisto.



Dibujos explicativos sobre el instrumental utilizado por Priestley en el descubrimiento del oxígeno.



6. Lavoisier.

El francés Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) hizo por la Química lo que Galileo por la Física y el resultado en la Química fue igual de rotundo y es en parte por esto por lo que se considera a Lavoisier el fundador de la Química Moderna, entendida como tal ciencia. Fue elegido miembro de la Academia de Ciencias en 1768. Ocupó diversos cargos públicos, incluidos los de director estatal de los trabajos para la fabricación de la pólvora en 1776, miembro de una comisión para establecer un sistema uniforme de pesas en 1789 y comisario del Tesoro de 1791.

Lavoisier introdujo en el estudio de la Química lo que más se necesitaba en aquella época: los hábitos y la actitud mental del físico entrenado. Desde el comienzo de sus investigaciones, en 1764, se dio cuenta de la importancia que tiene la precisión de las medidas. Empleó la balanza de forma sistemática, no sólo en el análisis, sino también en la demostración de algunas leyes fundamentales de la naturaleza.

Lavoisier se opuso a la teoría del flogisto y diseñó un experimento para contrastarla basado en:

a) Predicción: Una consecuencia inmediata de la teoría del flogisto era que los cuerpos al quemarse pierden materia, por lo que los restos más las cenizas deben pesar menos que el cuerpo íntegro antes de la combustión.

b) Experimento: Colocó una pequeña cantidad de una sustancia combustible (mercurio) sobre un sólido flotante en agua, que estaba encerrado bajo una campana de cristal y con una lupa enciende el mercurio.

Si la teoría del flogisto fuera cierta se debería observar:

1º. El cuerpo flotante está menos sumergido tras la combustión ya que la cantidad restante de sustancia junto las cenizas debe pesar menos que la inicial. 2º. El volumen de aire dentro de la campana debe aumentar como efecto de la asimilación del flogisto y con ello el nivel de líquido encerrado debe ser más bajo que al comienzo.

c) Verificación: la teoría del flogisto resultó falsada, pues el experimento produjo resultados opuestos.

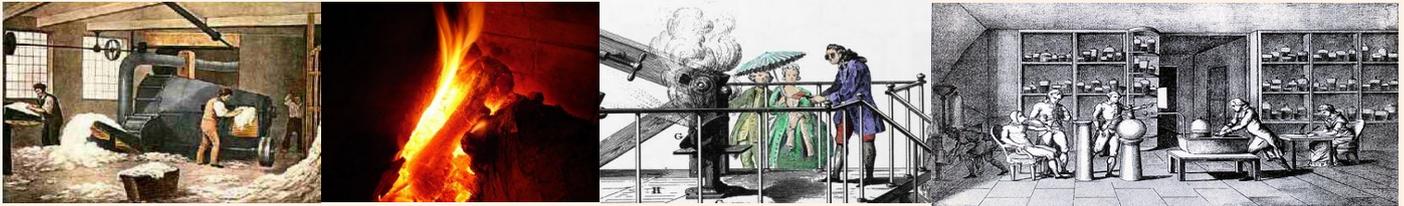
Lavoisier enterró la teoría del flogisto al cambiarla por la teoría de la combustión, basada en la combinación de los compuestos químicos con el oxígeno del aire. Pero ello requirió un camino previo en el conocimiento de los distintos gases que forman parte del aire atmosférico.



En 1754 Lavoisier empezó sus estudios en la escuela de elite Colegio de las Cuatro Naciones, destacando por sus dotes en las ciencias naturales. Estudió Ciencias Naturales y Derecho por petición de su padre.

En 1771, Lavoisier se casó con Marie-Anne Pierette Paulze, que era hija de un copropietario de la Ferme générale, la concesión gubernamental para la recaudación de impuestos en la que participó Lavoisier. La dote le permitió instalar un laboratorio bien equipado donde recibió ayuda de su esposa, que se interesó auténticamente por la ciencia y tomaba las notas de laboratorio además de traducir escritos del inglés, como el Ensayo sobre el flogisto de Richard Kirwan y la investigación de Joseph Priestley.

Lavoisier trató de introducir reformas en el sistema monetario y tributario francés y en los métodos de producción agrícola.



Los experimentos de Lavoisier sobre el aire sin flogisto o desflogistizado, el oxígeno, le permitieron explicar la combustión como la unión de oxígeno con otras sustancias. Lo demostró con pesos y medidas dando lugar al nacimiento de la oxidación.

Sus estudios sobre la combustión derivan de su método natural de trabajar y en 1777 concluye sus experimentos afirmando en su teoría de la combustión las siguientes proposiciones:

- 1ª. En toda combustión se desarrollan luz y calor.
- 2ª. Los cuerpos arden únicamente en un aire eminentemente puro. Este fue el nombre que Lavoisier dio primero al oxígeno.
- 3ª. Este último se consume con la combustión, y el aumento de peso de la sustancia quemada es igual a la pérdida de peso que experimenta el aire.
- 4ª. Mediante el proceso de la combustión, la sustancia combustible se transforma generalmente en ácido, sin embargo, los metales se calcinan.

Para visualizar las distintas formas de analizar la oxidación de un metal como el plomo y la reducción de su óxido, las interpretaciones que se han dado sobre dichos fenómenos químicos son:

- Según la teoría del flogisto:

plomo → óxido de plomo (litargirio) + flogisto

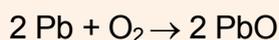
óxido de plomo + carbón vegetal (fuente de flogisto) → plomo

- Según Lavoisier:

plomo + oxígeno del aire → óxido de plomo

óxido de plomo + carbón vegetal → plomo + aire fijo

- Interpretación actual:



Lavoisier estudió la formación de agua durante la combustión del aire caliente y descubrió que el agua que había sido considerada hasta entonces como un elemento era finalmente una sustancia compuesta. A la luz de este descubrimiento se demostró que había sustancias tenidas por compuestas que eran en realidad simples (casos por ejemplo del carbón o de los metales) y viceversa, había otros tenidos por simples que resultaron ser compuestos (por ejemplo herrumbre de metal, que además del metal contenía oxígeno).



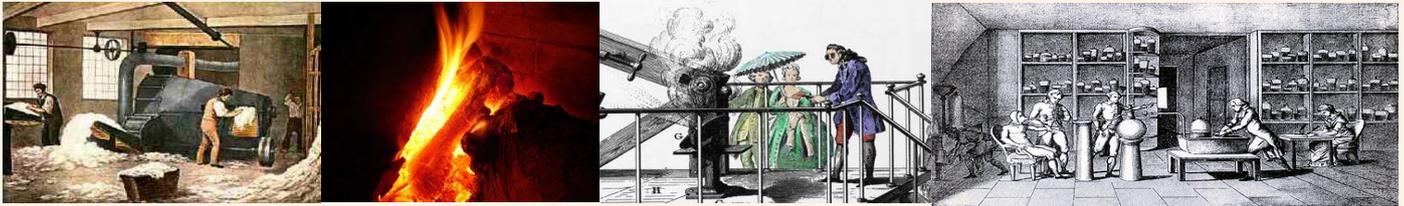
Lavoisier en una de sus demostraciones.



Gasómetro utilizado por Lavoisier



Lavoisier en su laboratorio.



En 1778, Lavoisier está convencido de que el aire es una mezcla de dos gases, uno es el que se consume en la respiración y en la calcinación de los metales, al que Lavoisier llamó oxígeno y cree que entra en la combustión de todos los ácidos, y el otro gas, inerte, lo llamó azoe, pero acabó llamándose nitrógeno.



Recreación de una sala de trabajo en el laboratorio de Lavoisier.

Lo más importante es que sus estudios le llevan a admitir que toda combustión es una combinación con el oxígeno y a sustituir al flogisto por el oxígeno, de forma que en la combustión se consume el oxígeno y el aumento de peso de la sustancia quemada es igual a la pérdida de peso que experimenta el aire, lo que constituye la ley de conservación de la masa.

A pesar de la claridad de su exposición y de los meticulosos experimentos con que apoyaba sus conclusiones, sus ideas produjeron de momento poca impresión, hasta que otra serie de experimentos, llevados a cabo en 1782 y 1783, condujeron a su ley de la conservación de la masa.

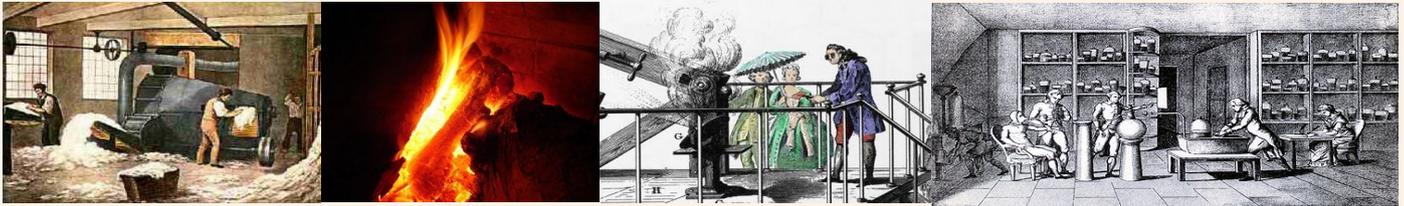
A pesar de la claridad de su exposición y de los meticulosos experimentos con que apoyaba sus conclusiones, sus ideas produjeron de momento poca impresión, hasta que otra serie de experimentos, llevados a cabo en 1782 y 1783, condujeron a su ley de la conservación de la masa.

A pesar de la claridad de su exposición y de los meticulosos experimentos con que apoyaba sus conclusiones, sus ideas produjeron de momento poca impresión, hasta que otra serie de experimentos, llevados a cabo en 1782 y 1783, condujeron a su ley de la conservación de la masa.

Hay que citar que antes de que Lavoisier enunciara su ley de la conservación de la masa, en Rusia, Mikhail Vasilevic Lomonosov (1711-1765) criticó la teoría del flogisto y habló de la conservación de la masa, pero su obra pasó inadvertida.



Mikhail Vasilevic Lomonosov.



La ley de Lavoisier hizo posible el avance del análisis cuantitativo y la aparición de la ecuación química, que proporciona una gran comodidad en la forma de expresión, que se le debe a Lavoisier y que la utilizó de forma inmediata para el planteamiento y resolución de problemas. Nada igual había aparecido hasta entonces en la literatura química y su aplicación trajo consigo la desaparición del misterioso hacer del profesional de esta ciencia.

El análisis cualitativo de Lavoisier dio paso en el inicio del siglo XIX a la teoría atómica de Dalton.

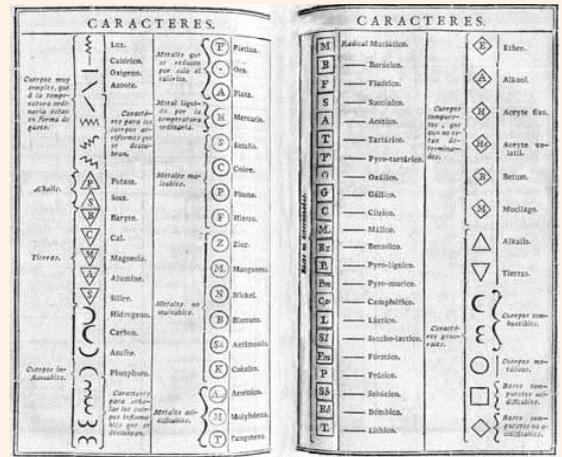
A partir de la ley de conservación de la masa se hizo necesaria la revisión de la nomenclatura y clasificación de los gases y de las diferentes sustancias en general, llegando a adoptarse por la Academia de Ciencias de París en 1787 una nomenclatura basada en la composición cualitativa.

En concreto, en ese año de 1787, Lavoisier publicó junto con otros eminentes hombres como Morveau, Berthollet y Fourcroy, el "Méthode d'une Nomenclature Chimique", exponiendo unos principios sistemáticos para nombrar a los compuestos químicos, que en la mayor parte seguimos utilizando hoy en día, y que tienen relación con la composición en función de las sustancias simples de las que proceden, de esta forma los nombres alquímicos u otros nuevos sin ninguna relación con la composición real de las sustancias quedaron completamente abandonados.

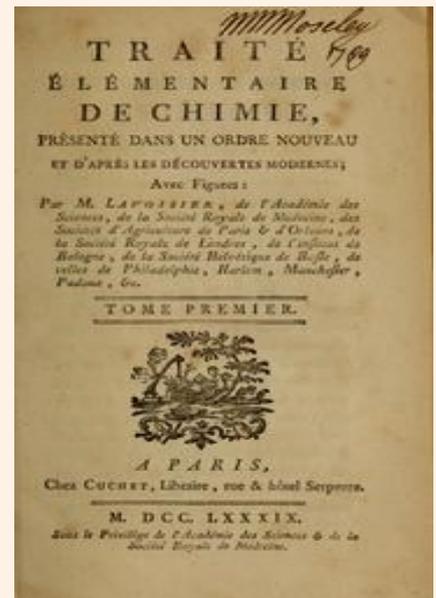
Las nuevas ideas de Lavoisier quedan plasmadas en su gran texto "Traité Élémentaire de la Chimie", publicado en 1789, que tuvo la originalidad de enterrar la teoría del flogisto y de promulgar la nueva nomenclatura química, haciendo de la Química una Ciencia más inteligible, pues aunque muchos de los libros escritos en la época del flogisto fueron buenos compendios, eran muy difíciles de entender por la nomenclatura utilizada y por el paradigma científico utilizado basado en la teoría del flogisto.

En su obra se afirma claramente que el conocimiento químico está sujeto a revisión a medida que se descubren hechos nuevos. El libro de Lavoisier consta de un discurso preliminar y tres partes. En el discurso afirma la imposibilidad de separar la nomenclatura de la ciencia porque opinaba que toda ciencia física se forma necesariamente de tres cosas:

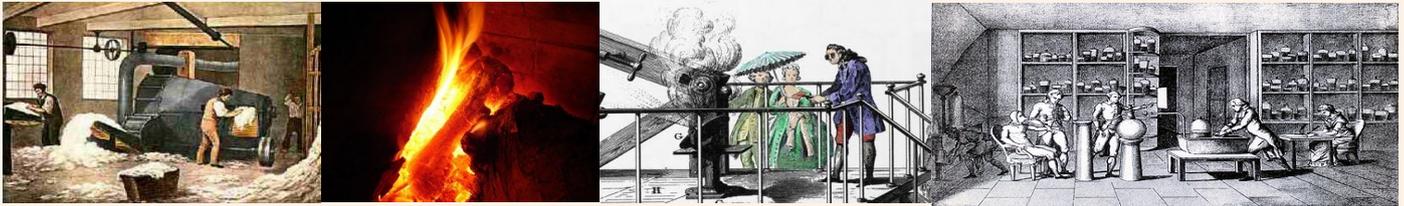
- 1ª. La serie de hechos que constituyen la ciencia.
- 2ª. Las ideas que los evocan.
- 3ª. Las palabras que los expresan.



Páginas del libro Méthode d'une Nomenclature Chimique.



Traité Élémentaire de la Chimie



En la primera parte del libro, Lavoisier expone los aspectos teóricos de la nueva Química y utilizando casi siempre experimentos propios, describe la obtención y propiedades de numerosos compuestos químicos y hace algunas consideraciones sobre la composición de materias vegetales y animales, estudiando su descomposición por las fermentaciones.

La segunda parte es un compendio de varias obras, propias y ajenas, en el que se dan tablas de nomenclatura de diversas sales y breves explicaciones sobre los procedimientos para la obtención de distintos ácidos.

La tercera parte es una completísima guía de laboratorio, en la que Lavoisier, ayudándose sólo de su propia experiencia, da una descripción detallada de todas las operaciones relativas a la Química Moderna y de los instrumentos necesarios para ellas.



Grabado de Lavoisier.

En su clasificación química coloca en la lista de elementos químicos a la luz y al calórico que, aunque reconocía que no poseían peso, se daba perfectamente cuenta de que su aparición se hallaba asociada a un cambio químico.

Al admitir que toda combustión es una combinación con el oxígeno y sustituir al flogisto por el oxígeno se cambió un paradigma por otro, pues en el sistema de Lavoisier cada elemento químico ocupa una posición conforme a su relación con el oxígeno, incluso creía que todos los ácidos debían contener oxígeno y que éste era el principio fundamental de las combinaciones químicas.



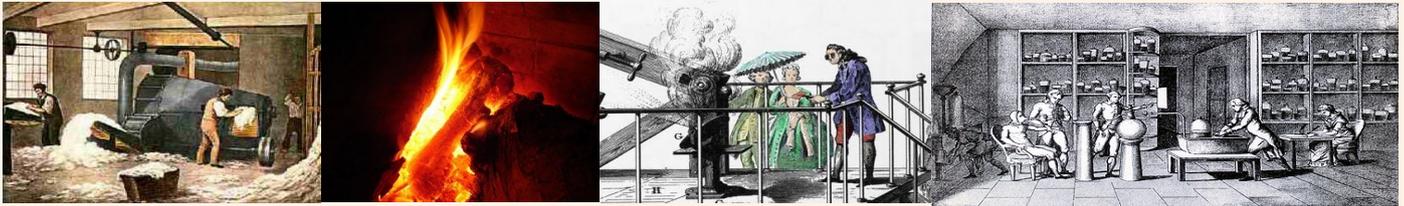
Dispositivo de Lavoisier para el estudio de la fer-

El final del siglo XVIII marca el despegar de la Química y a ello contribuye notablemente la labor de Lavoisier y la aparición de las primeras revistas de tipo químico, así en 1778 apareció el *Chemisches Journal*, que pronto cambió su nombre por el de *Chemische Annalen* y que se publicó hasta 1803, y en abril de 1789, Lavoisier y otros científicos iniciaron la publicación de los *Annales de Chimie*.

En sus últimos años, Lavoisier se dedicó a la Fisiología, llegando a afirmar que el estado normal del ser humano es un equilibrio dinámico regulado por la "respiración".



Balanza de finales del siglo XVIII.



Explicó el calor animal como producido en los pulmones por una combustión con el oxígeno del aire, y fue este un paso muy importante en el comienzo de la Química Fisiológica.

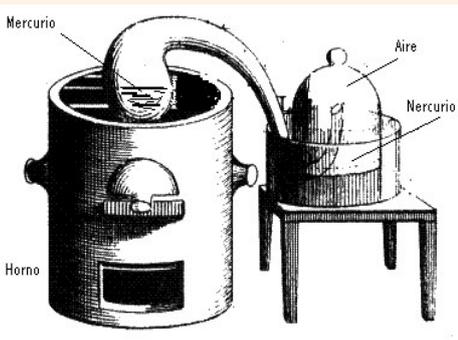
Trabajando con el matemático Pierre Simon Laplace, Lavoisier encerró a un cobaya durante 10 horas en una jarra que contenía oxígeno y midió el dióxido de carbono producido.

Midió también la cantidad de oxígeno consumido por un hombre en actividad y reposo. Con estos experimentos pudo mostrar que la combustión de compuestos de carbono con oxígeno es la fuente real del calor animal y que el consumo de oxígeno se incrementa durante el trabajo físico.

En 1789, Lavoisier llevó a cabo estudios cuantitativos sobre la fermentación alcohólica y halló además de etanol y dióxido de carbono, otro producto al que le dio el nombre de ácido acético. Halló estequiométricamente que 95,6 partes de azúcar dan un 57,5 % de etanol, 33,3 % de dióxido de carbono y 2 % de ácido acético.

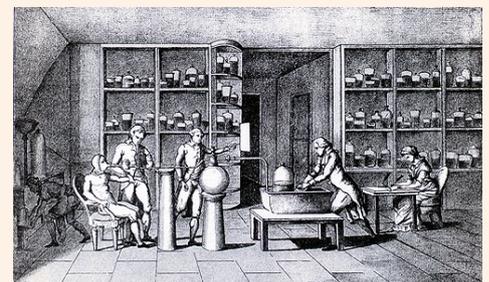


Lavoisier trabajó en el cobro de contribuciones, motivo por el cual fue arrestado en 1793. Importantes personajes hicieron todo lo posible para salvarlo. Cuando se expusieron al tribunal todos los trabajos que había realizado Lavoisier, se dice que, a continuación, el presidente del tribunal pronunció la famosa frase: «La república no precisa ni científicos ni químicos, no se puede detener la acción de la justicia».



Lavoisier, como funcionario de la Monarquía, fue condenado a muerte y ejecutado en la guillotina en París el 8 de mayo de 1794 durante el período más violento de la Revolución Francesa.

El sentimiento de la posteridad respecto del daño hecho con tal muerte al mundo halló su expresión más exacta, en aquella época, en las amargas palabras de Lagrange:

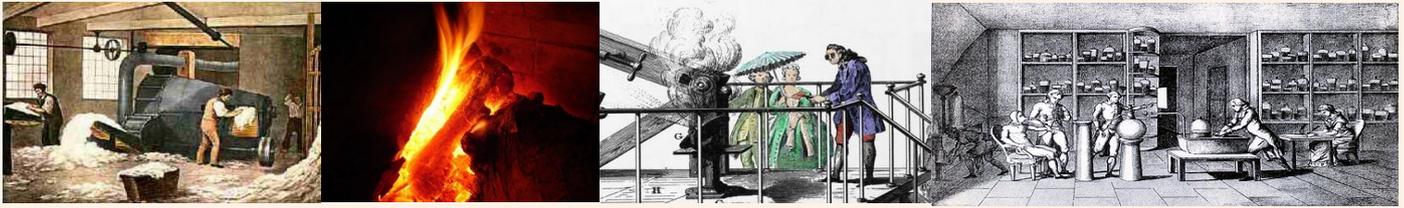


Laboratorio de Química del siglo XVIII.

Material de laboratorio utilizado por Lavoisier en sus experiencias.

"No les costó más que un momento para cortar aquella cabeza, pero quizás se necesiten más de cien años para encontrar otra igual".

La época que siguió a esta época es rigurosamente cuantitativa, haciendo de la Química más bien una ciencia que un arte. De aquí que Wurtz, en su Diccionario de Química, la denomine "una ciencia francesa fundada por Lavoisier".



7. Actividades.

1. ¿Tuvo algún protagonismo la industria textil en la extensión de la Revolución Industrial?
2. Explica lo que se quiere expresar con que el aire esté fijo en las sustancias sólidas o líquidas.
3. ¿Qué significado tiene para Stephen Hales la destilación destructiva?
4. Explica los fundamentos de la teoría del flogisto y en qué consiste la calcinación de un metal.
5. ¿Cuáles son los defectos más importantes de la teoría del flogisto?
6. Explica el concepto de afinidad química.
7. ¿Qué significa método analítico por vía seca?
8. ¿Hay alguna relación entre el mineral pechblenda y el uranio?
9. ¿Cómo es posible que a finales del siglo XVIII existiera una cátedra de Química en Vergara?
10. ¿Es cierto que hasta Lavoisier no se utilizó la balanza en el laboratorio?
11. ¿A qué se llama aire fijo e identifica el aire respectivo con el compuesto químico que le corresponde: Aire alcalino Aire vitriólico Aire ácido marino Aire nitroso flogisticado



12. Explica el significado de Priestley de aire flogisticado y aire desflogisticado y con qué gas se corresponde cada uno de ellos según la terminología actual.
13. A pesar de que actualmente la teoría del flogisto es considerada incorrecta, dicha teoría sirvió de guía a los grandes químicos del siglo XVIII, permitiendo desarrollar mejores técnicas metalúrgicas de fundición de metales, el reconocimiento de nuevas sustancias y la identificación de nuevos gases. ¿Se puede afirmar que la existencia de teorías "no correctas" implica sólo aspectos negativos para el desarrollo científico?

14. Pon el nombre en el pie de cada uno de los retratos siguientes:



15. ¿Cuáles son las contribuciones más importantes de Lavoisier al avance de la Química?
16. Da alguna razón de por qué Priestley no utilizara el trabajo de Lavoisier en el descubrimiento del oxígeno o de que Lavoisier no tuviera en cuenta la aportación de Lomonosov sobre la ley de la conservación de la masa.
17. Un experimento de Lavoisier consistía en calcinar estaño en un recipiente cerrado. Comprobó que la masa total del recipiente no variaba después de la calcinación, pero la masa del metal transformado en cal aumentaba en igual valor que disminuía la masa del aire encerrado. Interpretar dichas observaciones usando la teoría del flogisto y la teoría expuesta por Lavoisier.