

Lavoisier: la revolució química francesa

Antoni Salvà

Salvà, A. (2016). Lavoisier: la revolució química francesa. In: Ginard, A.; Vicens, D. i Pons, G.X. (eds.). *Idees que van canviar el món*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 22; 123-146. SHNB - UIB. ISBN 978-84-608-9162-8.

Disponible on-line a shnb.org/SHN_monografies

Resum: Es descriuen les aportacions a la química del químic francès Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) que, amb un innovador mètode de treball que emprava la llei de conservació de la massa i amb un instrumental la qual precisió no podia assumir econòmicament cap altre químic del seu temps, revolucionà la química els anys anteriors a la revolució francesa. Gràcies a la seva nova interpretació de les reaccions dels gasos, estudiats pels científics britànics, descobrí que l'aire era una mescla d'oxigen i nitrogen i no un principi elemental; demostrà que l'aigua no era un principi elemental i que estava formada per oxigen i hidrogen; identificà l'oxigen, el nitrogen i l'hidrogen com a nous elements químics; explicà la combustió com una reacció amb l'oxigen de l'aire, i també la calcinació dels metalls; observà que la respiració dels animals era un procés de combustió dels aliments; definí clarament el concepte d'element químic com a substància que no es pot descompondre més; escriví la primera equació química; reformà la nomenclatura química; i, en definitiva, posà els fonaments per a que la química es convertís en una eina pel progrés humà del segle XIX.

INTRODUCCIÓ

En la famosa *Encyclopédie* de mitjans del segle XVIII en l'article *Chimie* s'afirmava que la necessitat d'una gran quantitat de coneixement pràctics, la llarga duració de les experiències químiques i les dures exigències

del treball en el laboratori, que donava lloc a gran despeses, l'escàs reconeixement social i no pocs perills, havia conduït a difondre la idea que el gust per la química era una passió de bojos, els químics formaven un poble distint, molt poc nombrós, amb la seva llengua, les seves lleis, els seus misteris, quasi aïllat, en mig de gent poc encuriosida per conèixer les seves activitats, que no esperaven res del seu art (Bertomeu i García, 2006). Per altra banda, si hom intentàs actualment llegir un llibre de química escrit abans d'aquell temps no entendria quasi res, les substàncies tenien noms misteriosos, les experiències de laboratori estaven escrites en un llenguatge obscur que fa difícil reproduir-les i les teories són més fantàstiques que científiques.

En acabar el segle XVIII la situació havia canviat radicalment fins al punt que un autor d'aquells anys afirmà que la química s'havia convertit en l'ídol davant del qual s'agenollaven persones de tota condició (Bertomeu i García, 2006). Els llibres escrits a partir de finals del segle XVIII hom pot llegir-los perfectament, les substàncies tenen noms que segueixen el mateix sistema de nomenclatura actual, els experiments descrits es poden reproduir amb facilitat i hom reconeix les teories emprades.

És clar, per tant, que a finals del segle XVIII hi hagué una revolució química, i aquesta revolució química l'encapçalà un científic francès, Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) (Fig. 1) que, amb les seves idees canvià el món. En aquest article s'expliquen les aportacions més destacades que va fer a la química, precedides d'una cronologia de les fites més destacades de la seva vida.

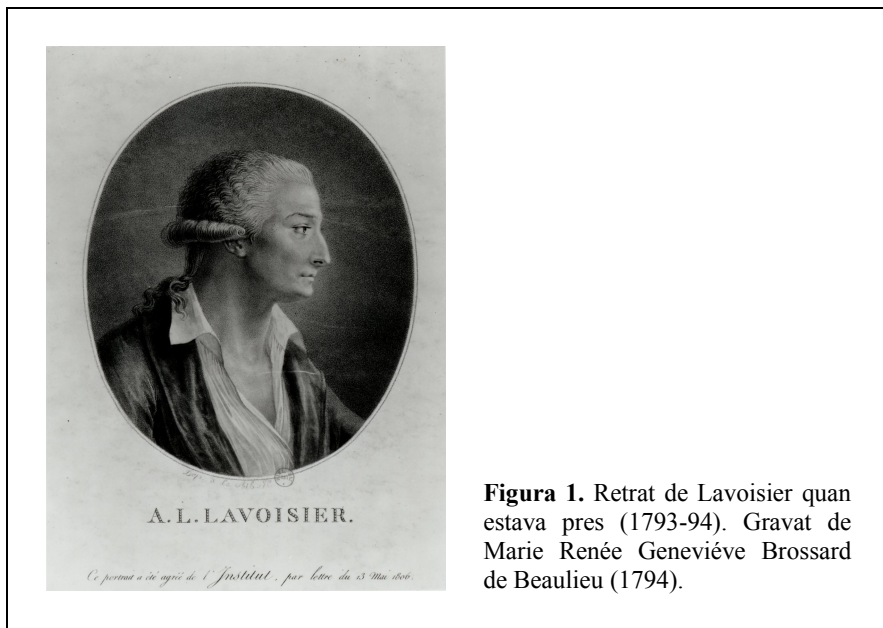


Figura 1. Retrat de Lavoisier quan estava pres (1793-94). Gravat de Marie Renée Geneviève Brossard de Beaulieu (1794).

CRONOLOGIA

El pare de Lavoisier, Jean-Antoine Lavoisier (1713-1775), era advocat a Villers-Cotterêts, un municipi francès, situat al departament de l'Aisne i a la regió de Picardia. El 1740 es traslladà a París per a succeir, el 1741, a un dels seus oncles en el càrrec de procurador del parlament francès. Un any després es casà amb Emilie Punctis i el 26 d'agost de 1743 naixia el seu primer fill, Antoine-Laurent, que fou batiat a l'església de Saint Merry. Cinc anys després, 1748, morí la seva mare i Antoine-Laurent, juntament amb la seva germana Marie-Marguerite-Emilie (1745-1760) es traslladaren primer a la casa de la seva àvia, Madame Punctis, i després amb el seu pare a una nova casa situada en l'actual zona de les Halles, a la rue Vauvilliers. És en aquesta casa on Lavoisier realitzà les primeres experiències científiques, observacions baromètriques (Beretta i Scotti, 2009).

L'octubre del 1754 Lavoisier entrà al Col·legi Mazarin o *Collège des Quatre Nations*, actualment seu de l'Institut de França. El 1760 assistí al curs de matemàtiques i física impartit per l'astrònom l'abat Nicolas-Louis de Lacaille (1713-1762) i el 1761 realitzà observacions astronòmiques al seu observatori. El mateix any assistí al curs de física experimental de l'abat Jean-Antoine Nollet (1700-1770) (Pellón, 2002).

Finalitzats els seus estudis al Col·legi Mazarin entrà el 1761 a La Sorbone per a començar el seus estudis de dret, seguint la tradició familiar. Però se sentia més atret per la ciència i assistí al curs de química de Guillaume-François Rouelle (1703-1770), al *Jardin du Roi* o Jardí de plantes medicinals, una de les més importants institucions científiques franceses. Realitzà en aquests anys les primeres observacions meteorològiques i baromètriques. El 1763 començà a col·laborar amb el geòleg Jean-Étienne Guettard (1715-1786) el qual l'inicià en la química, entesa com una ciència al servei de la mineralogia (Pellón, 2002). Entre el maig i l'agost de 1763 realitzà la primera expedició geològica amb Bernard de Jussieu (1699-1777), també professor del *Jardin du Roi*, a Villers-Cotterêts i a Saint-Germain-en-Laye, a la regió Île-de-France. El setembre rebé el títol de batxiller en dret. El 24 d'octubre observà un aurora boreal a Villers-Cotterêts i elaborà el seu primer informe científic (Beretta i Scotti, 2009). Seguí amb nombroses expedicions geològiques i el 1764 es llicencià en dret.

El 1765 elaborà el seu primer treball científic que presentà a l'*Académie des Sciences* el 27 de febrer, *Extrait de deux mémoires sur le gypse* (Comité Lavoisier). Es tracta d'un estudi sobre el guix on feia l'observació que el guix cristal·litzat i el guix en pols només es diferencien en el que Rouelle denominava aigua de cristal·lització, i que ambdues substàncies es podien transformar l'una en l'altra simplement per guany o pèrdua d'aigua (Pellón, 2002). L'any 1766, als 23 anys, presentà un projecte per enllumenar París, *Sur les différents moyens qu'on peut employer pour éclairer une grande ville* (Comité Lavoisier), que obtingué una distinció especial del rei Lluís XV (1710-1774) per ser el millor estudi teòric del tema. Seguí amb les expedicions

geològiques per diversos indrets de França. El 1767 amb Guettard realitzà una expedició a la serralada dels Vosges, paral·lela al Rin per la seva riba esquerra durant cinc mesos, on realitzaren estudis per a confeccionar un mapa geològic i mineralògic, i efectuaren nombrosos anàlisis d'aigües minerals (Beretta i Scotti, 2009).

El març de 1768, gràcies a una herència familiar, comprà una acció de la *Ferme Générale* com adjunt de François Baudon, una empresa privada contractada pel govern francès per recaptar els impostos indirectes (sal, tabac, begudes,...) i per fer respectar els monopolis estatals respecte al contraban. El 1768 mor Théodore Baron deixant lliure una plaça de químic adjunt a l'*Académie des Sciences*. Lavoisier des de feia dos anys figurava en un llistat de candidats. Amb el suport dels amics del seu pare, l'astrònom Giacomo-Domenico Maraldi (1709-1788), Henri-Louis Duhamel du Monceau (1700-1782), Bernard de Jussieu (1699-1777), Pierre-Joseph Macquer (1718-1784) i Joseph-Jerôme de Lalande (1732-1807) aconseguí el primer lloc en vots¹. El primer de juny de 1768, prengué possessió de la plaça de químic adjunt supernumerari i no deixarà l'*Académie* durant els 25 anys següents. Fou una institució que influí decisivament en la vida de Lavoisier: li inspirà temes, li atorgà autoritat i li oferí una tribuna on exposar les seves investigacions (Pellón, 2002).

El 16 de desembre de 1771, als 28 anys, es casà amb la filla de Jacques Paulze, director de la companyia d'Índies i de la *Ferme Générale*, Marie-Anne-Pierrette Paulze (1758-1836) (Fig. 2), de 14 anys. Marie-Anne aprengué llatí i anglès i traduí obres de l'anglès al francès d'importants científics com ara Joseph Priestley (1733-1804), Henry Cavendish (1731-1810) i Richard Kirwan (1733-1812); també estudià dibuix amb el pintor Jacques-Louis David (1748-1825)² la qual cosa li permeté posteriorment il·lustrar les obres de Lavoisier. Gràcies al seu sogre, Lavoisier tenia accés a alts funcionaris, ministres i estadistes. El seu pare acabava de comprar l'ofici de Conseller-Secretari del rei, casa, hisenda i corona de França, que els donava el dret d'emprar la partícula *de* en el seu llinatge, amb caràcter hereditari. Amb aquesta posició, podia dedicar-se amb més intensitat als estudis científics i no ho desaprofita (Pellón, 2002). El 1774 publicà els *Opuscules physiques et chimiques*, el seu primer llibre (Comité Lavoisier).

1 Els dos candidats que reberen més vots, Lavoisier i l'enginyer de mines Gabriel Jars (1732-1769), quedaren a molts pocs vots l'un de l'altre i el rei havia de decidir. Optà per Jars pels serveis realitzats. Tanmateix es creà una plaça de químic adjunt supernumerari per a Lavoisier, un procediment irregular.

2 Jacques-Louis David (1748-1825) fou un destacat pintor francès d'estil neoclàssic considerat el més prominent pintor de l'època. Obres seves són *El jurament dels Horacis* (1784), *La intervenció de les sabines* (1796-1799), *Napoleó creuant els Alps* (1801), *La coronació de Napoleó*, (1806) i *Retrat de Lavoisier i la seva esposa* (1788).



Figura 2. Retrat del Senyor de Lavoisier i la seva dona. Jacques-Louis David (1788). Museu Metropolità de Nova York. Wikimedia Commons.

L'any 1775 fou nomenat director de la Companyia Estatal de Pòlvores i Salnitres (un dels quatre). Una de les seves tasques fou solucionar el problema de la manca de pólvora. S'instal·là a l'Arsenal, devora la presó de *La Bastille*, i hi muntà el seu laboratori que era el més ben equipat del seu temps ja que Lavoisier hi gastava importants quantitats de doblers que aconseguia de les seves rendes de la *Ferme Générale* (l'equivalent a prop d'un milió d'euros actuals anuals). La jornada laboral de Lavoisier començava de 6 a 8 del matí al laboratori; després realitzava treball administratiu la resta del dia, i tornava al laboratori de 19 a 22 hores. Els caps de setmana els dedicava completament a la química. Per tant podríem dir que era un químic afeccionat. Emprava instruments científics molt sofisticats que no podien aconseguir d'altres investigadors per manca de pressupost. Al final de la seva vida tenia uns 13 000 aparells de química al laboratori per un valor d'uns 400 000 € actuals (Pellón, 2002).

L'abril de 1775 presentà davant de l'*Académie* una memòria sobre la importància de l'oxigen en el procés de calcinació dels metalls. El 1779 completà la seva teoria de l'acidesa, la de l'estat gasós i inicià els estudis sobre la respiració animal. Entre els anys 1781-83 descobrí la naturalesa composta de l'aigua. Estudià la calor juntament amb Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) i refutà públicament la teoria del flogist (Beretta i Scotti, 2009). El 1787 amb 3 col·laboradors publicà el *Méthode de nomenclature chimique* (Comité Lavoisier). Es convertí en representant electe del tercer estat (la burgesia) en l'Assemblea Provincial d'Orleans. El 1789, any de la Revolució francesa, publicà la seva obra més important *Traité élémentaire de chimie* (Comité Lavoisier). Juntament amb set col·laboradors fundà la revista *Annales de*

*chimie*³ (Fig. 3). El 1791 abandonà la Companyia Estatal de Pólvores i Salnitres en ser nomenat tresorer de l'*Académie des Sciences*. El 1792 inicià l'elaboració de les *Mémoires de chimie*, any en què s'abolí la monarquia, els antimonarquics radicals (els jacobins) van prendre el control proclamant la República a França i perseguint els dirigents de la *Ferme Générale* (Beretta i Scotti, 2009).

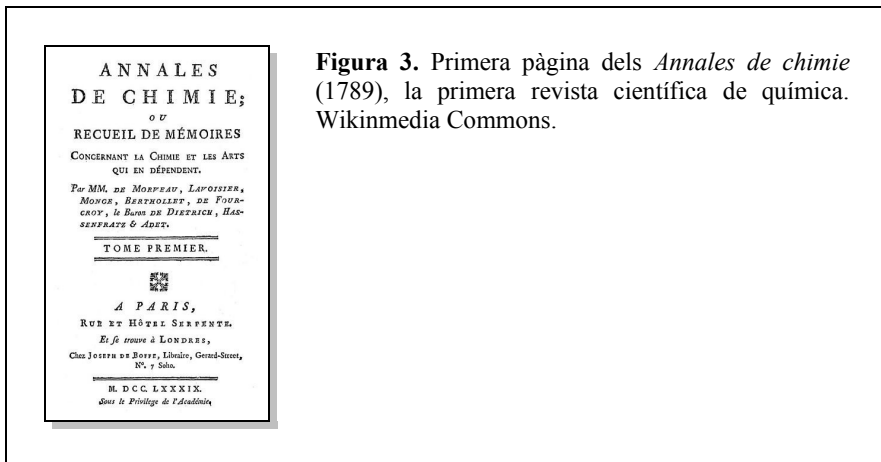


Figura 3. Primera pàgina dels *Annales de chimie* (1789), la primera revista científica de química. Wikimedia Commons.

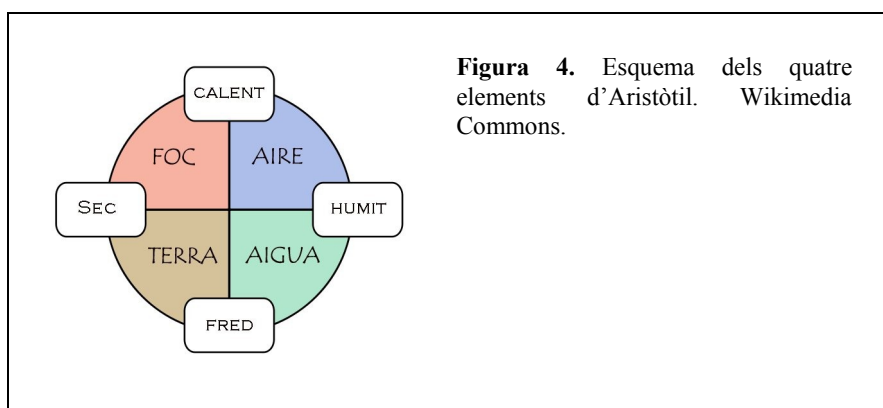
El 1793 Lluís XVI (1754-1793) i Marie-Antoinette (1755-1793) foren guillotinat i les Acadèmies clausurades. Lavoisier fou retirat del seu laboratori i, més tard, arrestat. Quan adduï que era un científic i no un recaptador d'imposts (cosa que no era del tot certa), l'oficial que el va arrestar contestà amb la frase: «*la República no necessita científics*». El judici fou una farsa, on Jean-Paul Marat (1743-1793), un científic i poderós cap revolucionari que no havia aconseguit entrar en l'*Académie*, acusà Lavoisier d'haver participat en complots absurds i demanà la seva mort. Marat fou assassinat el juliol de 1793, però el mal ja estava fet, Lavoisier fou guillotinat juntament amb el seu sogre i altres *fermiers* a l'actual plaça de la Concorde, el 8 de maig de 1794, als 50 anys i el seu cos fou enterrat en una fossa comuna al cementiri de la Madeleine⁴ (Pellón, 2002).

3 Annals: Relació d'esdeveniments, per anys, que es publiquen periòdicament. Els *Annales de Chimie* se segueixen publicant en l'actualitat amb el nom d'*Annales de Chimie - Science des Matériaux*.

4 El lloc on hi havia aquest cementiri actualment està ocupa per una zona verda, l'illa Louis XVI, amb una capella expiatòria a la memòria de Louis XVI i Marie-Antoinette, al districte 8è de París.

ELS QUATRE ELEMENTS D'ARISTÒTIL

En la teoria de la matèria de l'escola aristotèlica hi ha quatre elements que formen el món sensible (aire, aigua, terra i foc), però no són pas matèries primeres; són només els aspectes d'una substància única, la qual pot prendre formes diferents segons les qualitats fonamentals que l'afecten. Aquestes qualitats, fred, calent, sec i humit, es poden combinar per parelles, excepte fred-calent i sec-humit. Quan aquesta matèria primera presenta la qualitat fred-sec és l'element terra; fred-humit és l'element aigua; calent-humit, l'element aire; i calent-sec, l'element foc. Poden transformar-se l'un en l'altre de manera circular (Fig. 4), per exemple, la qualitat calent-humit no pot transformar-se directament fred-sec, ha de passar per fred-humit (Fauque, 2003).



Durant l'Edat Mitjana els alquimistes consideraren els metalls com a cossos composts formats per dues qualitats-principis comuns, el mercuri, que representava el caràcter metàl·lic i la volatilitat, i el sofre que posseïa la propietat de la combustibilitat. Amb el temps s'afegí la sal, que tenia la propietat de la solidesa i la solubilitat. Aquests tres elements o principis, la *tria prima*, substituïren als quatre elements aristotèlics durant l'Edat Mitjana. En el segle XVI Paracels (1493-1541) creà la iatroquímica, predecessora la l'actual quimioteràpia. Alguns dels seus seguidors, com ara Jan Baptist van Helmont (1580-1644) s'oposaren a la teoria d'Aristòtil (384 aC-322 aC) eliminant el foc i la terra com a principis. Ja en el segle XVII Georg-Ernst Stahl (1659-1734) reconeix dos principis, l'aigua i la terra. D'aquesta n'hi ha de tres tipus: terra vitrificable, que proporciona als minerals el seu pes; la terra flogística, lleugera i inflamable; i la terra mercurial o metàl·lica, que dona als metalls la seva maleabilitat i brillantor (Bensaude-Vincent i Stengers, 1997).

Els químics de mitjans del segle XVIII seguien acceptant la teoria dels quatre elements d'Aristòtil en alguna de les seves variants. Guillaume-François Rouelle (1703-1770), el professor de química de Lavoisier, definia els elements o principis al seu *Cours de Chymie* de la mateixa manera que ho

feia Aristòtil: «*cossos simples, homogenis, indivisibles, immutables i insensibles, més o manco mòbils segons els diferents tipus, mides, masses, que es diferencien pel seu volum i per la seva forma. És impossible trobar-los aïllats i separats d'altres, excepte si són reunits en una gran quantitat numèrica; és impossible descobrir la seva forma particular i és ridícul intentar-ho com han fet molts de físics. El què es pot tenir per segur, és que són pocs i que les seves combinacions són suficients per formar tots els cossos de la natura. Hi ha quatre principis o elements: el flogist o foc, la terra, l'aigua i l'aire*». El químic Pierre-Joseph Macquer, membre de l'*Académie* i professor de química del *Jardin du Roi*, també era un defensor de la teoria dels quatre elements (Poirier, 1993).

El 1771 la majoria dels químics acceptaven la teoria dels quatre elements malgrat no tots estaven d'acord amb la possibilitat de la transmutació, és a dir, en la possibilitat de canviar d'identitat els metalls, per exemple plom en or que tenien densitats semblants, mitjançant alguna tècnica de laboratori que modifiqués les qualitats fonamentals dels cossos, la qual cosa variaria les proporcions dels quatre elements i s'aconseguiria una transmutació. Algunes observacions fetes per destacats científics, com Robert Boyle (1627-1791), Johann-Theodor Eller (1689-1760) i Andreas-Sigismund Marggraf (1709-1782), confirmaven aquesta hipòtesi (Bertomeu i García, 2006). Químics com ara Johann-Gottschalk Wallerius (1709-1785) o Rouelle, creien en la transmutació dels metalls, com ho havien fet els antics alquimistes. En el seu *Cours de Chymie*, Rouelle deixa un lloc per a les idees de l'antiga alquímia: «*Els químics comuns posen en dubte la veritat dels principis d'aquesta ciència, però no poden ser jutges en un assumpte que és totalment desconegut. [...] Jo no vull dubtar del testimoni dels grans homes que van afirmar haver vist transmutacions, m'agradaria veure algú per completar la destrucció d'alguns dubtes que tinc encara, però no aconsellaria a ningú temptar treballs tan dispendiosos per la incertesa on s'és èxit, a falta d'un guia segur per portar-se en una operació que no s'ha conservat més que per tradició*». Així mateix el 1783, després dels treballs de Lavoisier, l'enginyer James Watt (1736-1819) encara pensava que l'aire es podia transmutar en aigua i viceversa. Fins i tot un científic suec Bengt Ferner (1734-1802), atribuïa a una transformació de l'aigua en terra la baixada del nivell de la mar des de l'origen de la Terra. Aquesta transmutació d'aigua en terra era acceptada per molts químics que, després de l'ebullició prolongada i l'evaporació d'aigua, observaven en la part inferior dels recipients on s'havia produït el procés un residu de terra. També hi havia un altre fenomen que feia pensar en la transmutació d'aigua en terra, el creixement dels vegetals. Científics importants, com Jan Baptist van Helmont o Robert Boyle havien estudiat la variació de massa durant el creixement dels vegetals i havien observat que la terra on estaven sembrats no reduïa de forma apreciable la seva massa mentre que el vegetal l'augmentava en una quantitat molt significativa. L'explicació era que l'increment de massa dels vegetals provenia de l'aigua de reg o de pluja i, com que els vegetals quan es cremaven produïen

cencre, doncs hi havia hagut una transmutació de l'aigua en terra (Poirier, 1993).

Però no tots els químics eren del mateix parer, Hermann Boerhaave (1669-1738) en els seus *Elementa chemiae*, Henri-Louis Duhamel du Monceau (1700-1782) en la seva obra *Physique des arbres* i Jean Baptiste Le Roy (1720-1800), en una memòria a l'*Académie*, dubtaven de la transmutació de l'aigua en terra (Poirier, 1993).

L'AIGUA NO ES TRANSMUTA EN TERRA

Lavoisier començà a interessar-se pel tema de la transmutació dels elements el 1766 després de llegir els treballs de Johann-Theodor Eller (1689-1760). L'octubre de 1768 decidí posar en marxa una experiència per aclarir el tema de la transmutació d'aigua en terra. Introduí una certa quantitat d'aigua dins d'un recipient anomenat pelicà, un alambí amb uns conductes que retornaven a la part inferior el vapor format en el procés. El pelicà estava hermèticament tancat i l'escalfà a ebullició durant cent-un dies sense cap

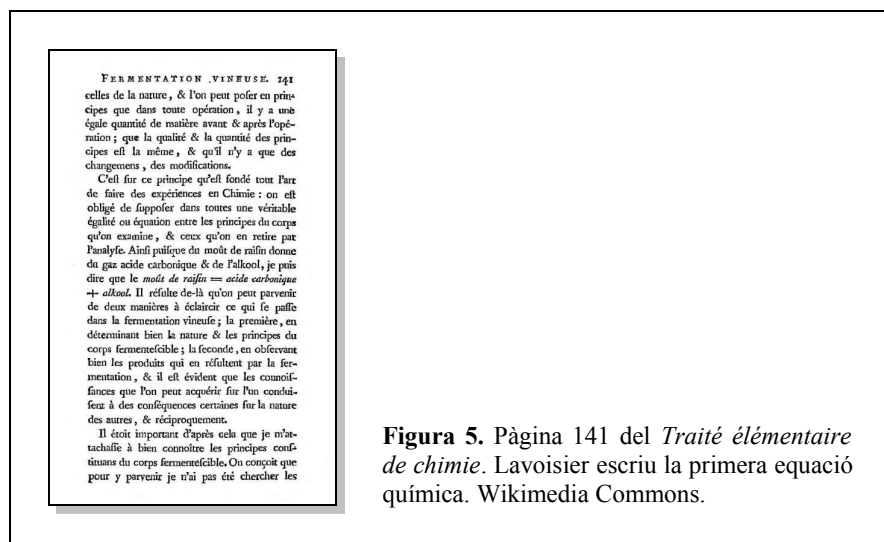


Figura 5. Pàgina 141 del *Traité élémentaire de chimie*. Lavoisier escriu la primera equació química. Wikimedia Commons.

interrupció. En acabar aquest temps pesà el conjunt, amb una balança de gran precisió, (Bertomeu i García, 2006) i observà que no hi havia hagut variació de pes, per la qual cosa el foc no incrementava la massa, com havia proposat Joseph-Justus Scaliger (1540-1609). Observà, també, el residu sòlid en el fons del recipient i el separà de l'aigua. Pesà residu, aigua i recipient per separat i descobrí que el pes de l'aigua no havia variat però que el pes del recipient havia disminuït en una quantitat igual a la del residu sòlid. Era evident que el

residu sòlid no provenia de l'aigua sinó de la lixiviació d'alguns components del vidre. Tanmateix no en realitzà un estudi qualitatiu per comprovar-ne la seva composició degut a que la quantitat de residu era massa petita per poder analitzar-lo amb els medis d'aquell temps (Pellón, 2002).

Comunicà aquesta investigació a l'*Académie* el 14 de novembre de 1770 en dues memòries que duen per títol *Sur la nature de l'eau et sur les expériences par lesquelles on a prétendu prouver la possibilité de son changement en terre* (Comité Lavoisier) i en les quals ja s'observa una part del mètode de treball que, finalment, es basarà en tres principis:

- Tota reacció química és una equació; aquesta igualtat és de naturalesa quantitativa; es verificada per la pesada dels reactius químics abans de la reacció i la dels composts obtinguts després d'haver tingut lloc la reacció. La primera equació química l'escriu al seu llibre *Traité Élémentaire de Chimie* (1789), a la pàgina 141 (Fig. 5), quan parla de la fermentació del raïm (Lavoisier, 1789). L'escriu així:

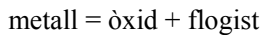
most del raïm = àcid carbònic + alcohol

- La validesa d'una anàlisi química ha de ser validada per una síntesi que produeixi els composts analitzat a partir dels seus constituents (Poirier, 1993).
- La llei de conservació de la matèria és una llei matemàtica de valor general, aplicable a totes les ciències i no un simple concepte filosòfic. A química es verifica per l'ús sistemàtic de la balança. Aquesta llei era coneguda des de l'antiguitat, Anaxàgores de Clazomene, la formulà vers el 450 aC: «*Res apareix o desapareix, però les coses existents es combinen, després es tornen separar*». El 1630 Jean Rey (1583-1645), metge de Périgourdin, escriví en un assaig: «*El pes està estretament unit a la primera matèria dels elements que, passant-se'l els uns als altres, ells retenen sempre el mateix pes*». El 1678 l'abad Edme Mariotte (1620-1684) indicà al seu *Assaig de lògica*, «*És una màxima o regla natural que la naturalesa no fa res a partir de res i que la matèria no es perd*». Aquesta llei la formularà explícitament el 1789 Lavoisier en el seu *Traité Élémentaire de Chimie* (Poirier, 1993).

LA TEORIA DEL FLOGIST

Aquesta teoria fou formulada per Johann-Joachim Becher (1635-1682) i desenvolupada per Georg-Ernst Stahl (1660-1734). El seu propòsit era

explicar la combustió i la calcinació⁵ dels metalls. Aquests fenòmens, segons Stahl, tindrien l'efecte d'alliberar el principi inflamable i subtil en el contingut d'aquests materials: el *flogist*. La pèrdua de flogist transforma els metalls en calç (òxids de metall) amb propietats físiques molt diferents (brillantor, ductilitat, mal·leabilitat). Ara bé, aquesta és la manera, en forma d'òxids, que el metal·lúrgics obtenen de les mines els minerals metàl·lics. Per obtenir el metall pur, la teoria de Stahl diu que s'ha de tornar als òxids el flogist que han perdut els metalls. I en la pràctica aquesta operació és inversa a la calcinació, és a dir, s'ha de fer una reducció en presència de carbó (Poirier, 1993). Emprant les equacions químiques de Lavoisier ambdós processos es poden representar així:



La teoria de Stahl té l'avantatge de tenir en compte no només els fenòmens de la combustió i la calcinació, sinó també la reducció dels òxids, la dissolució dels metalls pels àcids, i fins i tot la respiració dels éssers vius. Però el seu major defecte és que és purament qualitatiu, no quantitatiu. Si es torna a calcinació per dur a terme el flogist contingut en un metall, cal observar una disminució del pes del producte resultant i no un augment. I en la realitat és justament al contrari: els productes de la calcinació dels metalls són més pesats que els metalls originals. Això ho explicava Stahl dient que el flogist feia més lleugers els cossos. L'augment de pes en les calcinacions era, en tot cas, una qüestió menor entre els químics als quals no els preocupava en excés que la massa dels òxids fos superior a la dels metalls encara que es perdés flogist durant la transformació (Poirier, 1993).

Els químics contemporanis de Lavoisier eren defensors de la teoria del flogist.

- Macquer, en la segona edició del seu *Dictionnaire de chymie* publicat el 1778, defensa la realitat material del flogist i s'oposa als filòsofs que el consideren una quimera en base a que no es podia obtenir «lliure i pur en un recipient». Assimilava el flogist a la llum i el distingia de la calor, considerant aquesta com una simple vibració de les partícules sota la influència del flogist (Pellón, 2002).
- Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816) suggeria que el flogist deixa el metall en la calcinació i se substitueix per aire, més pesat que ell i que el flogist tindria un pes negatiu (Poirier, 1993).
- Priestley el 1781 escalfà tetraòxid de triplom, Pb_3O_4 , amb carbó dins un recipient de vidre, i pogué extreure del carbó *aire inflamable*, és

⁵ Calcinió: En aquest context la calcinió és un tractament a alta temperatura a què hom sotmet un metall per provocar-li una oxidació.

a dir hidrogen. Interpretà que havia aconseguit extreure el flogist del combustible, que després havia absorbit l'òxid de plom per després tornar al seu estat de plom metàl·lic, era la prova definitiva de l'existència del flogist en els metalls (Pellón, 2002).

- L'enginyer James Watt (1736-1819) el 1783 afirmava que l'aigua estava composta d'*aire deflogisticat* i *aire inflamable*, o flogist desproveït de part del seu calor latent (Bertomeu i García, 2006).

LA CALCINACIÓ I LA COMBUSTIÓ ABSORBEIXEN AIRE

Lavoisier s'interessà per l'augment de pes en les calcinacions després de llegir la memòria de Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816) titulada *Dissertació sobre el flogist*, publicada durant la primavera del 1772. En la memòria, Guyton considerava que l'augment de pes era un fenomen general i causat pel flogist. Però Lavoisier l'elevà a qüestió fonamental. El mes d'agost Lavoisier dissenyà un programa complet d'experiments. En un principi tenia pensat dur a terme un experiment amb plom, però necessitava un instrument, un *mirall ardent* (un mirall còncau per concentrar la llum), que hi havia a l'*Académie* però que no estava disponible en aquell moment. Esperant disposar d'aquest instrument redactà un informe sobre un treball del farmacèutic Pierre-François Mitouard (1733-1768) que suggeria l'absorció d'aire durant la combustió del fòsfor. El 10 de setembre Lavoisier comprà fòsfor a Mitouard amb la intenció de repetir els seus experiments (Bertomeu i García, 2006).

El 20 d'octubre de 1772 Lavoisier deposità davant el secretari de l'*Académie* un escrit amb varis treballs preliminars sobre la combustió del fòsfor (Fig. 6) on plantejava la hipòtesi que l'**aire era absorbit** durant la seva combustió, per la qual cosa el pes del producte era major que el pes inicial del fòsfor. El procés segons la teoria del flogist i segons la de Lavoisier es pot representar com:

Teoria del flogist: fòsfor = òxid + flogist

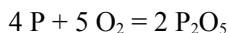
Teoria de Lavoisier: fòsfor + aire = òxid

Havia dipositat dins d'un flascó obert mig gram de fòsfor, ho pesà tot i ho introduí tot sota una campana de vidre; mitjançant una lent convergent concentrà la llum sobre el fòsfor, el qual cremà dins dels recipient produint pentaòxid de difòsfor, P_2O_5 , que amb l'aigua donà àcid fosfòric, H_3PO_4 . Al final de l'operació resultà que l'aire de la campana s'havia reduït en 0,3 litres i el pes del flascó havia augmentat 0,3 grams. Era clar que l'aire havia estat fixat pel fòsfor la qual cosa explicava l'augment de pes (Poirier, 1993).



Figura 6. Muntatge emprat per Lavoisier per a realitzar la combustió del fòsfor. Gravat d'Anne-Marie Paulze al *Traité élémentaire de chimie* (1789). Wikimedia Commons.

Les equacions químiques segons la notació actual són:



Però les seves investigacions requerien més rigor (Pellón, 2002). Els gasos no havien estat estudiats pels químics francesos però sí pels britànics, destacant els treballs de Robert Boyle, John Mayow (1645-1679), Joseph Black (1728-1799), Joseph Priestley i Henry Cavendish, treballs desconeguts per Lavoisier, que només coneixia els de Stephen Hales (1677-1761) sobre els nous mètodes de manipulació dels gasos recollits sota una campana tancada amb aigua. En aquest temps llegí les obres de Joseph Black i de Joseph Priestley, i en quedà impressionat (Bertomeu i García, 2006). Com que hi havia altres químics que estudiaven el mateix tema i ell volia dur-se'n la glòria del descobriment, Lavoisier lliurà al secretari de l'*Académie* un sobre lacrat l'1 de novembre de 1773, que no podia obrir-se, i en el qual explicava que havia realitzat experiments de combustió amb el sofre i que havia observat que també augmenta de pes en formar-se àcid sulfúric. També indicava que suposava que en la calcinació dels metalls passava el mateix i explicava que ho havia comprovat amb el plom i amb l'estany. Són fets que contradieien la teoria oficial del flogist de Stahl. El 5 de maig s'obrí el sobre lacrat. Segons Lavoisier aquesta carta representà l'inici de la revolució química com indicà en una sessió de l'*Académie* l'abril de 1773, però en ella encara no atacà la teoria del flogist. El setembre de 1773 realitzà els experiments davant els membres d'una comissió de l'*Académie*, la qual cosa serví per donar a conèixer els seus punts de vista a químics influents com Pierre-Joseph Macquer (1718-1784) (Bertomeu i García, 2006) i elaborà el seu primer llibre, *Opuscules physiques et chimiques* (Fig. 7), on tampoc atacà la teoria del flogist (Pellón, 2002).

L'OXÍGEN ÉS ABSORBIT EN LA CALCINACIÓ I EN LA COMBUSTIÓ I ÉS EL GENERADOR DELS ÀCIDS

El febrer de 1774, Lavoisier seguí amb l'estudi de la calcinació dels metalls i la reducció dels seus òxids emprant carbó. Repetí experiments de Boyle que aquest havia fet cent anys abans però introduint un important canvi: **la mesura de les masses abans i després de la reacció**. Observà clarament que la massa no canviava si la reacció es realitzava en recipients tancats i que l'aire participava en les reaccions.

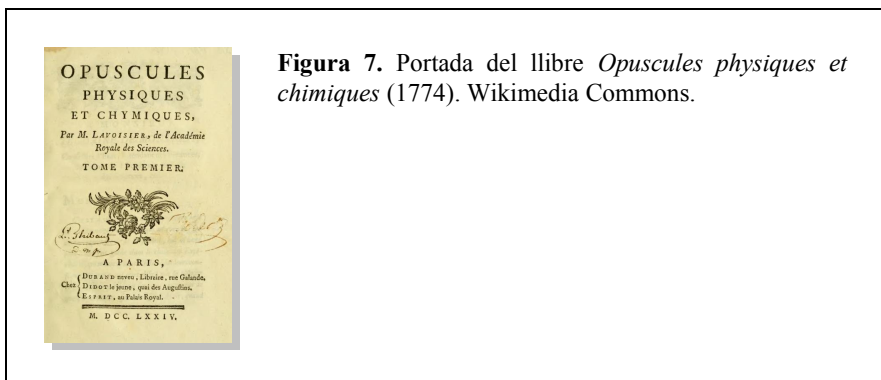


Figura 7. Portada del llibre *Opuscules physiques et chimiques* (1774). Wikimedia Commons.

L'òxid de mercuri (II), de color vermell, era un òxid difícil d'obtenir a partir del mercuri. Calia escalfar mercuri durant molt de temps (segons Macquer uns tres mesos) i a una temperatura de 350 °C, una vegada obtingut si se l'escalfava suauement per damunt dels 400 °C tornava a transformar-se en mercuri (Poirier, 1993). El químic francès Pierre Bayen (1724-1798) reduí l'òxid de mercuri (II) aplicant calor i emprant carbó. Segons ell s'obtenia un gas que era igual en els dos casos (Bertomeu i García, 2006). L'*Académie* nomenà un comitè encapçalat per Lavoisier per realitzar una investigació més exhaustiva. Fou en el mateix any 1774 que Joseph Priestley viatjà a París i informà Lavoisier i a altres membres de l'*Académie* que havia obtingut un nou tipus d'*aire* escalfant òxid de mercuri (II). El dia 1 d'agost realitzà els seus experiments davant els membres de l'*Académie*. Aquest nou aire (l'oxigen) facilitava la combustió molt més que l'aire de l'atmosfera (Bertomeu i García, 2006).

L'any següent, el 1775, Priestley publicà els seus resultats anomenant al nou gas, *aire desflogisticat*, ja que tenia molta tendència a llevar el flogist de les substàncies en les calcinacions i combustions que es produïen amb ell. Lavoisier repetí els experiments de Priestley i descobrí que:

- Si s'escalfava l'òxid de mercuri (II) amb carbó s'obtenia un gas que es dissolia fàcilment en aigua, provocava la mort dels animals,

apagava les candeles, precipitava l'aigua de calç i es combinava fàcilment amb els àlcals neutralitzant-los. Amb equacions químiques el procés és:

òxid de mercuri (II) + carbó = mercuri + diòxid de carboni

- Tanmateix si escalfava òxid de mercuri (II) sense carbó obtenia un altre gas, de propietats clarament diferents: no precipitava l'aigua de calç, no neutralitzava els àlcals, afavoria la vida,... Ara podem escriure el procés com:

òxid de mercuri (II) = mercuri + oxigen

- Lavoisier també comprovà que el carbó podia transformar un gas en l'altre (BERTOMEU i GARCÍA, 2006), és a dir:

oxigen + carbó = diòxid de carboni

El 2 d'abril publicà una memòria sobre els seus resultats anomenant a aquest gas: «*aire atmosfèric molt pur*». Posteriorment, el 1778, en una revisió de les memòries el denominà: «*la part més saludable i més pura de l'aire i aire eminentment respirable*» (Pellón, 2002), la qual cosa indica que Lavoisier ja intuïa que **l'aire estava format per una mescla de gasos** (Bertomeu i García, 2006).

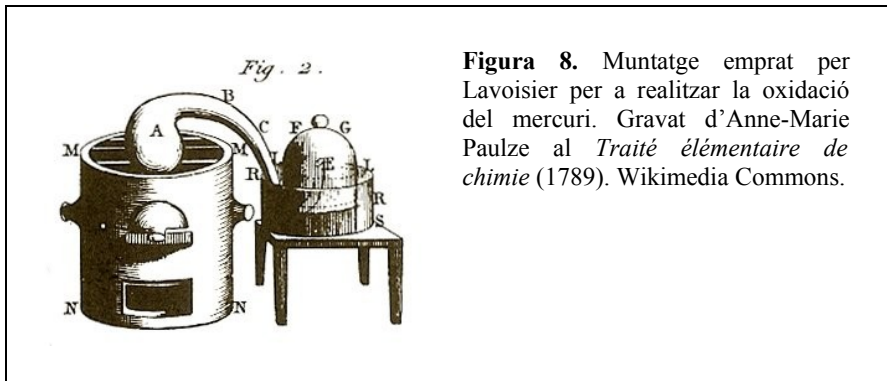


Figura 8. Muntatge emprat per Lavoisier per a realitzar la oxidació del mercuri. Gravada d'Anne-Marie Paulze al *Traité élémentaire de chimie* (1789). Wikimedia Commons.

Lavoisier el 7 d'abril de 1776 començà a realitzar una experiència (Fig. 8) introduint mercuri dins d'una retorta el qual tub finalitzava dins una campana invertida plena d'aire i tancada amb aigua, segons el mètode inventat per Hales i perfeccionat per Cavendish i Priestley. Escalfant durant dotze dies i dotze nits (Poirier, 1993) observà la formació d'una pel·lícula vermella damunt del mercuri, o sigui òxid de mercuri (II), i observà que l'aire del recipient havia disminuït en $\frac{1}{6}$. Comprovà que l'aire que quedava no precipitava l'aigua de calç (no era CO_2). Després comprovà que, mesclant l'aire que havia quedat amb l'aire obtingut quan s'escalfava l'òxid de mercuri

(II) a 400 °C (l'O₂) s'obtenia un «aire més o manco com l'aire normal». Així completà l'anàlisi i la síntesi de l'aire (Bertomeu i García, 2006). Per tant, si s'escriu amb equacions químiques, Lavoisier proposa:

mercuri + oxigen = òxid de mercuri (II)

òxid de mercuri (II) = mercuri + oxigen

El 1776 llegí davant l'acadèmia una memòria, *Mémoire sur l'existence de l'air dans l'acide nitreux* (Comité Lavoisier), on explicà l'existència del gas de Priestley en l'àcid nítric. Com que amb el sofre i el fòsfor es produïa el mateix deduí que la naturalesa àcida era deguda a aquest nou gas. Fou l'any següent, el 1777, que en una memòria presentada a l'*Académie, Considérations générales sur la nature des acides et sur les principes dont ils sont composés*, (Comité Lavoisier) decidí emprar per el gas de Priestley el nom de *principi acidificant* o, en grec, *principi oxigen* (compost de ὄξύς 'àcid' i -γενός 'engendrador'). Aquí Lavoisier **identificà l'oxigen com un principi, això és, un element químic, en contra de la teoria dels quatre elements d'Aristòtil**. En ella demostrà que l'oxigen forma part dels àcids i que podia crear àcids per ell mateix. Ho demostrà fent reaccionar sucre amb àcid nítric que produí àcid oxàlic, l'àcid del sucre. Però amb els metalls no passava el mateix i Lavoisier suposà que era perquè no s'havia trobat el camí idoni per produir àcids de metalls (actualment se'n coneixen, per exemple l'àcid cròmic). Posteriorment es descobriren àcids que no tenien oxigen en la seva composició, com l'àcid clorhídric, Hcl.

El descobriment de l'oxigen ha estat motiu de controvèrsia durant més de dos-cents anys. Es pot dir que el químic suec Carl-Wilhelm Scheele (1742-1786) fou el primer que l'aïllà conscientment el 1772, Priestley en definí les seves propietats el 1774 i Lavoisier fou qui l'identificà com un element químic el 1776 (Poirier, 1993).

LA RESPIRACIÓ ÉS UNA COMBUSTIÓ. LA COMPOSICIÓ DE L'AIRE

El 1777 presentà *Mémoire sur la combustion en général* (Comité Lavoisier), en ella començà a atacar la teoria del flogist considerant que explicava la combustió emprant un cercle viciós: «*Els cossos combustibles contenen matèria del foc perquè cremen... cremen perquè contenen matèria del foc*». Com alternativa, avançà la hipòtesi que considerava més probable i més apropiada per explicar la combustió: la *substància del foc* o calor té efectes repulsius i un paper d'expansió, mentre que amb la teoria de Stahl el foc era un principi fix, que es trobava sempre combinat. Lavoisier realitzà una inversió de l'esquema de la combustió: no més desunió que allibera flogist, sinó combinació amb una part de l'aire, que era la que generava la *matèria del foc* o calor.

En aquest mateix any començà a estudiar el fenomen de la respiració (Fig. 9). Suposà que en ella es consumia *aire eminentment respirable* (oxigen) i es produïa *àcid calcari aeriforme* (diòxid de carboni), però no explicà quin era l'origen de la calor animal ni si el procés era degut a una reacció química o consistia simplement en un intercanvi de gasos en l'interior dels pulmons (Pellón, 2002). Després de les experiències amb Laplace, durant el període 1781-1783, publicà la *Mémoire sur la chaleur* (Comité Lavoisier) on considera que la respiració és un procés de combustió similar al del carbó, si bé més lent. La calor produïda en combinar-se l'oxigen i el carboni subministrat per la sang a partir dels aliments, es repartia per tot el cos. La part no respirable de l'aire, *mofeta* o *azot*⁶, neologisme de Lavoisier a partir del grec *a-* i *ζωτ-*, 'viu', privat de vida, s'exhalava sense sofrir cap tipus de variació (Pellón, 2002). Més endavant publicà una *Premier mémoire sur la respiration des animaux* (Comité Lavoisier) on amplià aquestes idees. **L'aire, doncs, segons Lavoisier, està format per nitrogen (azot) i oxigen.**

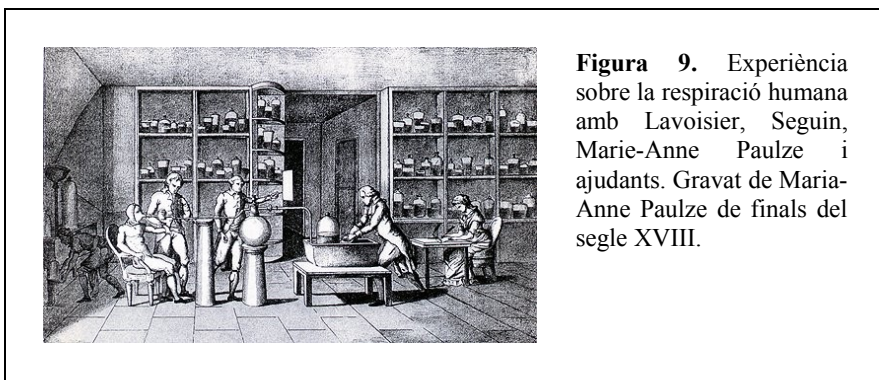


Figura 9. Experiència sobre la respiració humana amb Lavoisier, Seguin, Marie-Anne Paulze i ajudants. Gravat de Maria-Anne Paulze de finals del segle XVIII.

LA CALOR

El 1777 començà els estudis sobre la calor amb Laplace. En un principi estudiaren l'evaporació d'etanol i èter i descobriren que el procés d'evaporació dels líquids està sotmès a dues forces oposades:

- la matèria de la calor, que intenta evaporar els líquid; i
- la pressió atmosfèrica, que impedeix l'evaporació.

Segons predominàs una o altra força les substàncies es trobaven en estat líquid o vapor (Pellón, 2002).

⁶ El 1790 Jean-Antoine Chaptal (1765-1832) l'anomenà *nitrogen*, ja que es produïa en calcinar nitrats. És el nom que s'empra majoritàriament, si bé a França encara se'l anomena *azote*, i en química orgànica la partícula *az(o)* s'empra per designar als composts nitrogenats.

Aquestes idees proporcionaven una explicació més clara que la teoria del flogist d'Stahl. Considerant que les substàncies estaven formades per *matèria de la calor* associada a una altra matèria específica pròpia de cadascuna, anomenada *base*, no era necessari la intervenció del flogist per explicar la seva combustió. Així l'oxigen està format per matèria de la calor unida a la base pròpia de l'oxigen, i la combustió s'explica perquè les substàncies combustibles tenen més afinitat per la base de l'oxigen, i s'hi combinen, alliberant la calor (Pellón, 2002).

L'interès d'ambdós científics es dirigí cap a l'estudi de la calor latent, l'estudi de la qual havia estat pioner Joseph Black. Aquest havia observat que quan el gel es transforma en aigua la temperatura es manté constant per molt que s'escalfi. Aquestes investigacions arribaren a Lavoisier a principis de la dècada de 1780. Per a repetir-les inventaren el **calorímetre** (Fig. 10), aparell per a mesurar la calor, nom que li donà Lavoisier al seu *Traité Élémentaire de Chimie*, de 1789, i experimentaren durant els anys 1781-1783 (Pellón, 2002).

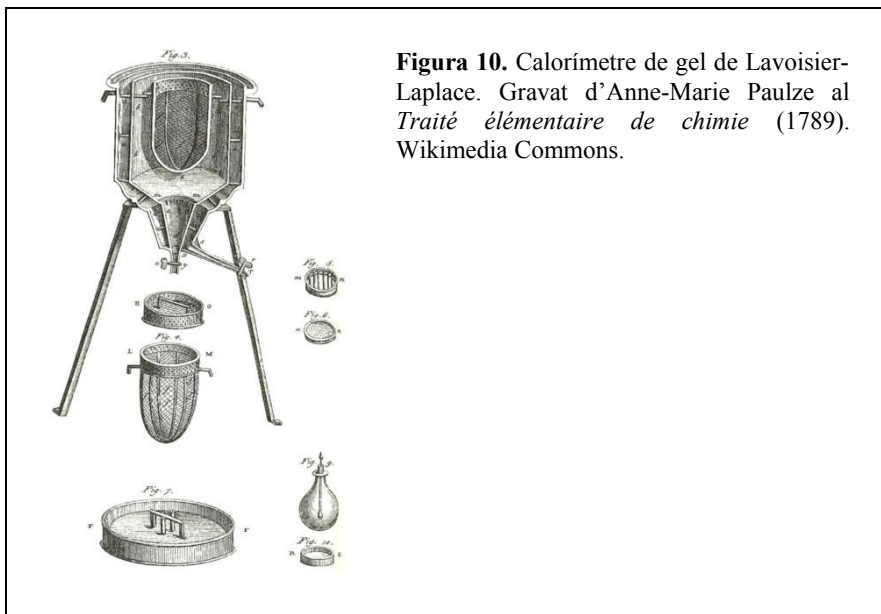


Figura 10. Calorímetre de gel de Lavoisier-Laplace. Gravats d'Anne-Marie Paulze al *Traité élémentaire de chimie* (1789). Wikimedia Commons.

El 1782 publicaren la *Mémoire sur la chaleur* (Comité Lavoisier) on anomenen a la calor *fluid igni, matèria del foc, de la calor i de la llum*, i on diuen que té tendència a posar-se en equilibri en tots els cossos, però sense penetrar-los a tots amb igual facilitat, que existeix tant en llibertat com combinat amb d'altres cossos. En estat lliure es pot mesurar amb els termòmetres però combinada no es pot detectar, ni amb els sentits ni amb els termòmetres (Pellón, 2002). A aquest darrer tipus de calor l'anomenaren *calor específica* de cada cos (Bertomeu i García, 2006).

L'AIGUA NO ÉS UN PRINCIPI, ÉS UNA COMBINACIÓ D'OXIGEN I HIDROGEN

El 1781 Henry Cavendish combinà *aire inflamable* (hidrogen) amb aire dins un recipient tancat, un eudiòmetre⁷ dissenyat per Alessandro Volta (1745-1827), el qual permetia generar un espira elèctrica al seu interior i produir explosions. Observà que el volum de la mescla disminuïa en una cinquena part i també observà que es formaven gotetes d'aigua en la superfície del recipient, cosa que ja havien observat altres investigadors com Macquer. Cavendish interpretà aquestes experiències amb la teoria del flogist indicant que l'*aire inflamable* (hidrogen) era flogist pur o, més probablement, flogist unit a l'aigua; i que l'*aire desflogisticat* (oxigen) era aigua privada de flogist (Bertomeu i García, 2006).

Priestley repetí les experiències de Cavendish l'hivern de 1783 en millors condicions. Millorà els mètodes de producció deshidratant a consciència els gasos emprats. Recollí l'aigua absorbint-la en un paper de filtre prèviament pesat i després el tornà pesar. Així pogué comprovar que l'aigua formada tenia un pes exactament igual al pes de l'aire que s'havia transformat. Priestley ho explicà aplicant la teoria del flogist (Bertomeu i García, 2006).

Lavoisier realitzà experiències combinant *aire inflamable* (hidrogen) amb *aire desflogisticat* (oxigen) el 1777 amb Jean-Baptiste Bucquet (1746-1780) pensant que obtendria un àcid, ja que segons la seva teoria l'oxigen en combinar-se amb una substància produïa un àcid. El 1781 i 1782 amb Philippe Gengembre (1764-1838) realitzà nous experiments però no pogué obtenir tampoc l'àcid desitjat. El 1782, Volta viatjà a París i col·laborà amb Lavoisier i Laplace intentant detectar càrregues elèctriques en l'evaporació dels líquids. Probablement informà dels resultats que havia obtingut amb el seu eudiòmetre. En la primavera de 1783, Charles Blagden (1748-1820), assistent de Cavendish, secretari de la *Royal Society*, explicà els experiments de Cavendish a l'*Académie*. Lavoisier també tingué coneixement dels treballs de Priestley gràcies a les informacions de l'espia Joao-Jacinto de Magalhães (1722-1790)⁸ (Bertomeu i García, 2006). Lavoisier repetí els experiments i demostrà davant els membres de l'*Académie* el 24 de juny de 1783 que es formava aigua. Un experiment que realitzà de manera semblant Gaspard Monge (1746-1818) professor de física de l'*École Royale du Génie de*

7 Eudiòmetre: Instrument utilitzat en l'anàlisi volumètrica de certes mescles de gasos. Consta d'una proveta graduada, de vidre gruixut, amb aixetes que tanquen tots dos extrems, o bé l'extrem inferior és introduït dins un recipient amb aigua o mercuri.

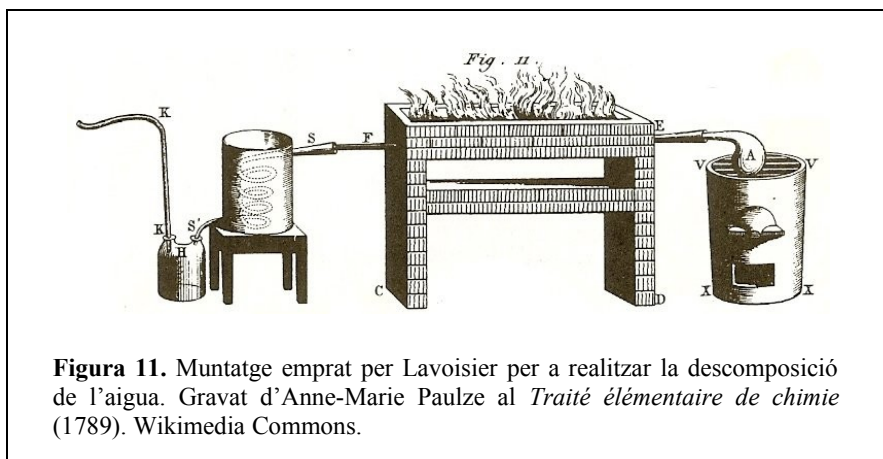
8 Joao-Jacinto de Magalhães rebé l'encàrrec de Jean-Charles-Philibert Trudaine de Montigny (1733-1777), director del *Bureau de Commerce* de París i membre de l'*Académie*, d'informar-lo de les darreres novetats científiques i tècniques angleses. Gràcies a aquesta feina d'espionatge Lavoisier disposà d'informació privilegiada de les investigacions dels químics anglesos.

Mézières i que elogià Lavoisier, poc donat a elogiar els treballs d'altres investigadors. És a dir:

hidrogen + oxigen = aigua

S'havia sintetitzat aigua però ara calia descompondre-la i així tenir la prova completa de la composició de l'aigua. Lavoisier revisà experiències que indicassin com es podia descompondre l'aigua (Fig. 11). Potser llegí les de Tobern Bergman (1735-1784) que havia observat que els filaments de ferro tractats amb aigua destil·lada produïen grans quantitats d'*aire inflamable* (hidrogen). Lavoisier ho confirmà i amb Jean Baptiste Meusnier (1754-1793) realitzaren un disseny experimental per a obtenir hidrogen mitjançant un canó de fusell de ferro escalfat al vermell en un forn que permetia la descomposició de l'aigua (Bertomeu i García, 2006).

aigua = hidrogen + oxigen



Lavoisier amb el constructor d'instruments Pierre Mégnié (1751-1807) dissenyà un altre aparell, el gasòmetre, amb l'objectiu de mesurar les quantitats de gasos que intervenien en experiències com la síntesi de l'aigua (Fig. 12) i que permetia, també, realitzar un subministrament continu de gasos de manera uniforme dins del recipient on es produïa la reacció. El 27 i 28 de febrer de 1785 realitzà les experiències de síntesi i descomposició de l'aigua a gran escala davant d'una trentena de personalitats, entre les que destacaven el rei Louis XVI, un ministre i dotze membres de l'*Académie*. Lavoisier conclougué que 86 parts d'oxigen es combinen amb 14 parts d'hidrogen per donar 100 part d'aigua (amb les dades actuals són 89 parts d'oxigen i 11 d'hidrogen). Anomenà a l'*aire inflamable* hidrogen, (compost de la forma prefixada del mot grec ὕδωρ *aigua* i de γένος *origen*) és a dir generador d'aigua (Bertomeu i García, 2006).

Aquest doble experiment, de descomposició i síntesi, fou el que provocà que alguns dels científics francesos més destacats acceptassin el conjunt dels punts de vista teòrics de Lavoisier. Després de dotze anys de treballs variats que crearen dubtes sobre les bases de la química dels elements, aquesta fou la *gota d'aigua* que apagà definitivament el flogist (Bensaude-Vincent i Stengers, 1997).

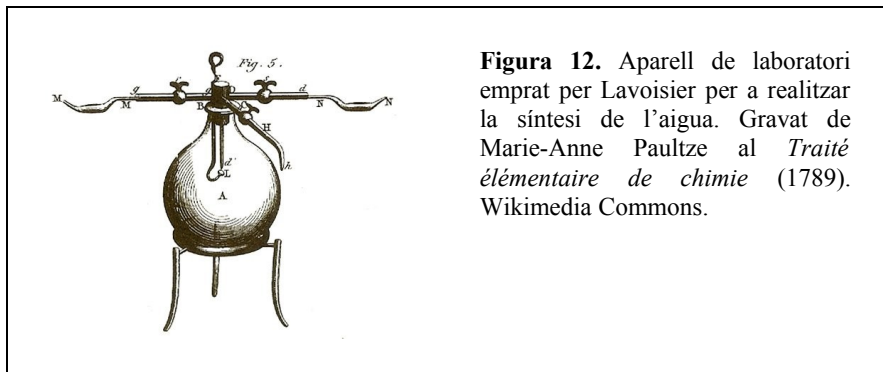


Figura 12. Aparell de laboratori emprat per Lavoisier per a realitzar la síntesi de l'aigua. Gravats de Marie-Anne Paultze al *Traité élémentaire de chimie* (1789). Wikimedia Commons.

EL NOU MÈTODE DE NOMENCLATURA QUÍMICA

El 1787 Lavoisier i un grup de químics que havien acceptat les seves idees, Louis-Bernard Guyton de Morveau, Claude-Louis Berthollet (1748-1822) i Antoine-François Fourcroy (1755-1809), publicaren un nou sistema de nomenclatura química, *Méthode de nomenclature chimie*. Abans de la publicació d'aquest mètode les substàncies s'anomenaven amb substantius en base a les seves característiques físiques, com l'olor, el sabor (*sucré de Saturn*, ara acetat de plom (II)), *oleum dulce vitrioli* o *licor de Frobenius* ara dietilèter), el color (*magnesia alba* ara carbonat de magnesi, *magnesia nigra* ara carbonat de manganès, *cal roja del mercuri* ara òxid de mercuri (II)), pel mètode de preparació (*flor de sofre*, *precipitat de sofre*), pel nom del seu descobridor (*sal de Glauber*, *liquor de Libavius*, *sal de Seignette*, ara tartrat de potassi i sodi), pel lloc on s'havien descobert (*vidriol romà*, *vidriol húngar*, *vidriol de Xipre* ara sulfat de coure (II), *guix de París*, *sal de la Rochelle* ara tartrat de potassi i sodi, *àcid de la sal marina* o *àcid marí* o *àcid muriàtic* ara àcid clorhídric). Aquest sistema era totalment incoherent, les substàncies rebien diferents noms en diferents llocs o per part de diferents científics (el diòxid de carboni i l'àcid carbònic foren anomenats *aire mefític* per Black, *àcid fix* per Priestley, *àcid aeri* per Bergman, *àcid de la creta* per Guyton de Morveau) la qual cosa impedia la comunicació.

Abans d'aquesta obra hi hagué químics, com Rouelle, Macquer, William Cullen (1710-1790), Torben Bergman i d'altres, que intentaren corregir la nomenclatura tradicional des de la meitat del segle XVIII, eliminant redundàncies i introduint noms genèrics, com per exemple *vidriols*,

els actuals sulfats. El 1782 Guyton de Morveau començà la tasca d'establir una nova nomenclatura a partir del principi que el nom d'una substància ha d'indicar la seva composició. Els partidaris de Lavoisier el varen convèncer que realitzàs el treball en equip i és formà el grup de quatre químics encapçalats pel mateix Lavoisier. Aquest introduí dues modificacions al mètode de Guyton:

- Totes les denominacions es basen en la teoria de Lavoisier, transformant així la nomenclatura en un arma contra la teoria del flogist.
- La nomenclatura ha de reflectir la naturalesa. Llenguatge i coneixement són indissociables, per la qual cosa, refer la llengua és refer la ciència, en línia amb el filòsof Étienne Bonnot de Condillac (1715-1780) (Bensaude-Vincent i Stengers, 1997).

La nomenclatura es basa en un *alfabet* de 33 noms simples per a les substàncies simples: les familiars conserven els noms tradicionals (coure, sofre,...), les substàncies noves, com ara els gasos, s'anomenen a partir d'una propietat característica (oxigen, hidrogen,...). Les substàncies simples, o elements, ho són de manera provisional perquè Lavoisier defineix els elements com a les substàncies que la química ja no pot descompondre més amb els mètodes del moment. Per la qual cosa són elements de manera provisional, ja que no es pot garantir que, amb nous mètodes, en el futur puguin ser descompostes en altres més simples (Lavoisier, 1789).

Les substàncies compostes es designen amb un nom compost que juxtaposa els noms dels seus constituents i es classifiquen en gèneres i espècies: el nom del gènere (p.e. àcid), que designa les propietats

Figura 13. Taula d'elements segons la nova nomenclatura. *Traité élémentaire de chimie* (1789). Wikimedia Commons.

| TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES. | |
|---------------------------------|--|
| Noms nouveaux. | Noms anciens correspondans. |
| Lumière..... | Lumière. |
| Calorique..... | Chaleur. |
| | Principe de la chaleur. |
| | Fluide igné. |
| | Fer. |
| | Matière du feu &c de la chaleur. |
| | Air épurifié. |
| | Air emporté. |
| | Air vital. |
| | Gaz de l'air vital. |
| | Gaz phlogistique. |
| | Mafce. |
| | Gaz de la mafce. |
| | Gaz inflammable. |
| | Gaz de l'azote. |
| | Gaz inflammable. |
| | Gaz du gaz inflammable. |
| | Sulfure. |
| | Phosphore. |
| | Chaux pure. |
| | Radical muriatique. |
| | Incenna. |
| | Radical fluorique. |
| | Incenna. |
| | Radical boracique. |
| | Incenna. |
| | Ammoniac. |
| | Ammoniac. |
| | Argent. |
| | Argent. |
| | Arfenic. |
| | Bismuth. |
| | Bismuth. |
| | Cobalt. |
| | Cobalt. |
| | Cuivre. |
| | Cuivre. |
| | Etain. |
| | Etain. |
| | Fer. |
| | Fer. |
| | Manganèse. |
| | Mercure. |
| | Mercure. |
| | Nickel. |
| | Nickel. |
| | Or. |
| | Or. |
| | Platine. |
| | Platine. |
| | Plomb. |
| | Plomb. |
| | Tungstène. |
| | Tungstène. |
| | Zinc. |
| | Zinc. |
| | Chaux. |
| | Terre calcaire, comae. |
| | Magnésie, base du fel d'Epsem. |
| | Baryte. |
| | Argile, terre de pefime. |
| | Alumine. |
| | Argile, terre de l'alan, base de l'Alun. |
| | Silice. |
| | Terre-flintée, terre vitrifiable. |

comuns a tota una classe, s'especifica amb un adjectiu (p.e. àcid carbònic). Quan dues substàncies s'uneixen formant composts diferents, es distingeixen amb sufixes: *ic*, *ós* pels àcids (p.e. àcid sulfúric, àcid sulfurós), *urs*, *its*, *ats* per a les sals (p.e. sulfurs, sulfits, sulfats) (Bensaude-Vincent i Stengers, 1997).

Dos segles després encara perviuen els principis de la nomenclatura. En el moment de la seva publicació, el 1787, es considerà una ofensiva contra el flogist i generà una violenta controvèrsia. Tanmateix, vint anys després, malgrat crítiques sobre algunes denominacions, la nova nomenclatura (Fig. 13) s'adaptà a totes les llengües europees i començà a ensenyar-se a la majoria de països europeus (Bensaude-Vincent i Stengers, 1997).

CONCLUSIONS

Sens dubte Antoine-Laurent Lavoisier és un dels químics més destacats de la història, les seves aportacions suposaren una revolució en la química de finals del segle XVIII. Gràcies a la gran fortuna que acumulà pogué dissenyar i fabricar instruments científics la qual precisió superava la dels aparells que havien disposat els químics que el precediren; gràcies a la posició de prestigi que assolí en l'*Académie des Sciences* de París pogué donar a conèixer els seus treballs als científics francesos de major prestigi, aconseguir el seu aval, i difondre'ls entre els més destacats químics d'Europa i d'Amèrica; gràcies a la seva capacitat intel·lectual aconseguí donar noves explicacions a fenòmens que altres científics havien descobert però que havien interpretat de forma errònia, i crear noves teories que explicaven de manera més simple els fets que fins aquell moment s'explicaven amb teories derivades dels antics alquimistes i que cap altre destacat químic gosava contradir; gràcies a la utilització de la balança de precisió i dels balanços de masses en les reaccions químiques, segons la llei de conservació de la massa, pogué observar fets que havien passat desapercebuts a la resta de químics. La química canvià amb Lavoisier i prengué un camí que permetria a molts de químics posteriors realitzar importants descobriments durant el segle XIX. La seva nova nomenclatura racionalitzà el llenguatge químic i facilità la comunicació entre químics. La seva definició d'element químic aclarí un concepte que era confús fins aleshores. El seu llibre *Traité élémentaire de chimie* revolucionà el món de l'educació química, en pocs anys fou traduït a molts d'idiomes i fou emprat per a ensenyar la nova química a les universitats d'arreu del món. I així, les noves idees de Lavoisier, canviaren el món.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Bensaude-Vincent, B. i Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Addison-Wesley/Universidad Autónoma de Madrid.
- Beretta, M. i Scotti, A. (2009). *Panopticon Lavoisier*.
<http://moro.imss.fi.it/lavoisier/>

- Bertomeu, J.R. i García, A. (2006). *La revolución química. Entre la historia y la memoria*. Universitat de València.
- Comité Lavoisier de l'Académie des Sciences. *Les Œuvres de Lavoisier*.
<http://www.lavoisier.cnrs.fr/index.html>
- Fauque, D. (2003). *Lavoisier et la naissance de la chimie moderne*. Vuibert.
- Lavoisier, A.L. (1789). *Traité Élémentaire de Chimie*. Gaspard-Joseph Cuchet. Paris. Traducció a l'anglès, *Elements of Chemistry*,
http://ebooks.adelaide.edu.au/l/lavoisier/antoine_laurent/elements/complete.html
- Pellón, I. (2002). *Un químico ilustrado, Lavoisier*. Col. Científicos para la historia. Nivola.
- Poirier, J.P. (1993). *Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794)*, Paris: Éditions Pygmalion-Gérard Watelet.