



PRINCIPIS, ELEMENTS I SUBSTÀNCIES

LA INFLUÈNCIA FILOSÒFICA EN LA REVOLUCIÓ QUÍMICA

Nicholas W. Best

Quan Lavoisier parla d'oxigen no té en ment la mateixa idea que un químic contemporani. La diferència entre un concepte i l'altre és un problema fonamental a l'hora d'estudiar les teories químiques anteriors i posteriors a la revolució química. La filosofia empirista –la idea que tot el coneixement del món s'obté a través dels sentits– va portar Lavoisier a redefinir els objectius de la química i a insistir a defensar que només s'havia d'ocupar de substàncies tangibles. I fou precisament aquesta convicció compartida que la química s'ha de dedicar només als materials de la nostra experiència la que ens permet dir que l'oxigen que observem avui és la mateixa substància descrita durant la revolució química.

Un aspecte fonamental del moviment il·lustrat del segle XVIII va ser la desconfiança cap a la construcció de sistemes elaborats però molt especulatius com els que havien estat l'orgull dels filòsofs naturals racionalistes del segle XVII. Destacats pensadors com Denis Diderot i l'*abbé* de Condillac promogueren que les ciències naturals foren més empíriques, que es confiara més en l'experimentació i menys en la raó pura.

Condillac sostenia que el coneixement es construeix totalment a partir de l'experiència sensorial, però es conforma per mitjà de l'anàlisi lògica, com ara la descomposició d'una idea en parts més simples i, al contrari, la síntesi d'allò complex a partir d'allò més simple. Defensava que el llenguatge representa un paper important en aquest procés i que un llenguatge lògic clar és necessari per a elaborar les idees complexes implicades en les teories científiques.

Antoine Lavoisier (1743-1794) va estar molt influït per pensadors empiristes com Condillac i Gabriel-François Venel, i va incorporar les idees d'aquests al seu mètode d'investigació. Els seus experiments, tan elegants, van ser crucials a l'hora de sentenciar les teories químiques que proposaven principis invisibles, com la teoria del flogist per a la combustió. D'altra banda, Lavoisier va

posar en pràctica al laboratori el mètode de Condillac d'anàlisi per descomposició i recomposició i va demostrar que l'aigua es compon d'ingredients més bàsics, va mostrar que podia ser descomposta en hidrogen i oxigen, però també es va proposar produir-ne una nova mostra obtinguda a partir d'aquests gasos a fi que la seua conclusió fóra irrefutable.

Altres reformadors com Louis-Bernard Guyton de Morveau, Antoine-François Fourcroy i Claude Louis Berthollet van admetre que la nomenclatura química necessitava desesperadament una normalització. Quan Lavoisier es va sumar a aquest moviment revolucionari va aportar objectius més específics: fer realitat l'ambició de Condillac de produir un llenguatge científic pur i consagrar-se a la nova química desflogitzada.

**«ELS DESCOBRIMENTS
EXPERIMENTALS DE FINALS
DEL SEGLE XVIII VAN
CAPGIRAR COMPLETAMENT
LA MANERA COM ELS
QUÍMICS VEIEN ELS
MATERIALS»**

**■ ELEMENTS, PRINCIPIS
I TEORIA DEL CANVI**

Els descobriments experimentals de finals del segle XVIII van capgirar completament la manera com els químics veien els materials: no sols es va canviar el nom de les substàncies, els elements es van convertir en compostos i molts compostos es van reconèixer com a elements. Els dràstics canvis teòrics que constitueixen

A l'esquerra, Uiso Alemany. Sèrie «Químic entotsolat», 2010. Tècnica mixta, 27 x 35 cm.

la revolució química a vegades han estat subestimats com si foren una mera oposició a la teoria anterior. En reconsiderar el procés de combustió, per exemple, l'alliberament del flogist (l'anterior principi del foc) es pot substituir per l'absorció d'oxigen (i l'alliberament de calòric, com el nou principi de la calor). Això sembla particularment simple en el cas de la combustió i la reducció de metalls, però el canvi conceptual que implica aquesta inversió era en realitat bastant radical. Abans de la revolució química les menes es consideraven substàncies simples, mentre que els metalls es tenien per compostos; a partir de la revolució els metalls van passar a ser substàncies simples i els minerals, compostos. Segons la teoria química del flogist de Georg Ernst Stahl (1659-1734), el mineral d'un metall (la *calç*, com en deia ell) es podia transformar a un estat metàl·lic (*règul*) per mitjà de l'addició de flogist (o d'una quantitat de material ric en flogist, com el carbó). És a dir, $\text{calç} + \text{flogist} \rightarrow \text{metall (règul)}$.

I a la inversa, un metall en el seu estat metàl·lic no natural pot oxidar-se o calcinar-se, és a dir, tornar al seu estat natural de calç, alliberant el flogist: $\text{metall (règul)} \rightarrow \text{calç} + \text{flogist}$. La teoria de la combustió per oxigen va capgirar aquest procés completament: la reducció dels metalls es va considerar com l'eliminació de l'oxigen d'un mineral (l'òxid): $\text{òxid de metall} + \text{carbó} \rightarrow \text{òxid de carbó} + \text{metall}$. I la combustió d'un metall era simplement l'addició d'oxigen de l'aire: $\text{metall} + \text{oxigen} \rightarrow \text{òxid de metall (+ calòric)}$.

Aquesta esmena no és tan simple com pot semblar a simple vista. El canvi de representació teòrica també és un canvi de mentalitat, de visió del món. Encara que molts metalls no van canviar de denominació, els conceptes químics van ser molt diferents abans i després.

La redefinició de processos tan familiars va anar acompanyada d'un canvi encara més radical pel que fa als elements químics. Al llarg de l'Edat Mitjana, els aristotèlics terra, foc, aire i aigua eren l'únic repertori ortodox d'elements. Ja alguns alquimistes havien proposat llistes alternatives de principis elementals: Paracels i els seus seguidors pensaven que tots els canvis

químics es devien a la combinació de mercuri, sofre i sal, i molts alquimistes francesos afirmaven que hi havia cinc principis: esperit (mercuri), oli (sofre), sal, flegma (aigua) i terra. Els defensors d'aquests sistemes reconeixien que els quatre elements d'Aristòtil eren els constituents últims, però que amb els seus principis, construïts a partir dels elements, hi havia prou per explicar tots els fenòmens químics.

Encara que feren servir noms comuns per designar-los, els alquimistes i els primitius químics que utilitzaven aquests sistemes de principis no pensaven que foren aigua, sal o mercuri ordinaris, ni tan sols mostres molt pures d'aquestes substàncies tan comunes. Ben altrament consideraven aquests principis com a arquetips místics: el mercuri filosòfic o *sòfic* dels alquimistes era el principi de la volatilitat, que es troba en el mercuri comú però també en altres substàncies volàtils; el sofre sòfic es trobava en tots els cossos inflamables i la sal sòfica, en els cossos sòlids. Fins i tot en una data tan tardana com el segle XVII aquesta mena de principis formaven part de la química, de fet el flogist no era més que el nom que Stahl donava al sofre filosòfic, el principi de la inflamabilitat.



Étienne Bonnot, *abbé* de Condillac (1715-1780), va adoptar l'empirisme de John Locke, el punt de vista filosòfic del qual assegura que tot coneixement prové originàriament dels sentits. Condillac afirmava que és el llenguatge el que ens permet ordenar les nostres sensacions per convertir-les en coneixement i, per tant, va inspirar la reforma de la terminologia química de Lavoisier.

«ANTOINE LAVOISIER VA ESTAR MOLT INFLUÏT PER PENSADORS EMPIRISTES COM CONDILLAC I GABRIEL-FRANÇOIS VENEL, I VA INCORPORAR LES IDEES D'AQUESTS AL SEU MÈTODE D'INVESTIGACIÓ»

■ LA SIMPLIFICACIÓ DE LAVOISIER

Els químics francesos van continuar fidels, encara que fóra només de boca, al sistema aristotèlic dels quatre elements fins a la generació precedent a la revolució química, però Lavoisier hi va posar fi per sempre quan va aconseguir demostrar que l'aigua es podia

descompondre en els dos gasos que més tard anomenaria *hidrogen* i *oxigen*. La reforma terminològica que es va dur a terme durant la revolució química no tractava només de normalitzar els noms; Lavoisier va substituir els sistemes anteriors de principis per la seua pròpia taula de substàncies simples, però sense pronunciar-se sobre quins eren els elements fonamentals. Igual com Condillac, dubtava que algú sabera quins eren els components més petits de la matèria, i en compte de tractar d'esbrinar-ho, va optar pel pragmatisme i va donar una definició empírica dels elements: «Si utilitzem el terme

elements o principis dels cossos per expressar la nostra idea sobre l'últim punt que una anàlisi és capaç d'assolir, llavors totes les substàncies que no hàgem pogut descompondre les considerarem elements.» Ací la innovació de Lavoisier era la insistència en el fet que allò que nosaltres anomenem elements són coses reals, substàncies tangibles, a diferència del mercuri sòfic i el flogist de les generacions anteriors.

Aquesta definició empírica de «substàncies simples» li va permetre reformular els límits de la química: «el principal objectiu de la química experimental és descompondre els cossos naturals, amb l'objecte d'examinar separadament les diferents substàncies que entren en la seua composició.» Aquesta distinció entre la química pràctica i la teoria metafísica de la matèria és més clara que en la majoria dels predecessors de Lavoisier. Per exemple,

Sthal havia tractat de definir la química com la ciència de *mixts* (substàncies producte de components íntimament units), en contraposició a la física, que s'ocupava d'*agregats* (conjunts de compostos merament juxtaposats).

El distanciament respecte a la metafísica ha contribuït en gran manera a l'alt grau de progressió de què la química ha gaudit des d'aquesta revolució colossal. En admetre que no tenia un coneixement fidedigne dels àtoms i limitar-se a descriure fenòmens observables, Lavoisier va aconseguir evitar debats sobre com reduir les reaccions químiques i interaccions mecàniques entre partícules de formes intricades que tingueren lloc en la frontera entre la química i la física de finals del segle XVII i començament del XVIII (abans es consideraven camps completament independents). Així doncs, la química es va convertir en una ciència de laboratori, cada vegada més allunyada dels aspectes més especulatiu de la «filosofia natural».

■ EL PROBLEMA FILOSÒFIC DE LA REFERÈNCIA EN QUÍMICA

Els químics moderns parlen de combustió amb un llenguatge quasi idèntic al de Lavoisier, però completament diferent de la terminologia basada en el flogist, anterior a la revolució química. No obstant això, hi ha diferències teòriques tan grans que hem de parar atenció de no interpretar la química post-revolucionària com conceptualment idèntica a la nostra. Hi ha tres diferències importants que ens aconsellen estar-nos fins i tot de dir que l'oxigen de Lavoisier és el mateix que el nostre.



Aparells de Lavoisier per a la descomposició de l'aigua. Aprofundint en el treball experimental de James Watt i Henry Cavendish a Gran Bretanya i de Gaspard Monge a França, Lavoisier va demostrar de manera conclouent que l'aigua no era un element; per fer-ho va descompondre l'aigua en els seus constituents i en acabat els va recompondre en aigua.

«ELS QUÍMICS FRANCESOS VAN CONTINUAR FIDELS AL SISTEMA ARISTOTÈLIC DELS QUATRE ELEMENTS FINS A LA GENERACIÓ PRECEDENT A LA REVOLUCIÓ QUÍMICA»

Ara sabem que l'oxigen es compon de molècules de dos àtoms, amb una estructura interna encara més profunda; el nostre oxigen no és el principi de l'acidesa, com ho era per a Lavoisier, ni té res a veure amb el calòric, mentre que per a Lavoisier ambdós estaven íntimament relacionats.

Ara sabem que l'oxigen és un gas compost de molècules biatòmiques, que cada àtom es compon de vuit protons amb un cert nombre de neutrons i electrons. Però això té poc d'interès; Lavoisier quasi va admetre que el futur podia oferir aquesta classe de descobriments i la seua negativa a especular sobre els nivells més fonamentals d'anàlisi suggerix que esperava un futur estudi per a dilucidar una estructura més detallada. Per tant podem dir que els estudis més profunds sobre l'element que avui anomenem *oxigen* no refuten per si sols les seues afirmacions.

Però la qüestió no és simplement que el nostre concepte d'oxigen siga més complex que el que tenia Lavoisier –no oblidem que la teoria de la combustió que va plantejar estava íntimament lligada a la seua teoria de l'acidesa–. Quan, el 1777, Lavoisier va publicar per primera vegada la seua teoria de la combustió, el va anomenar el «principi d'oxigen», a partir del prefix grec *oxi-*, que significa “àcid” i el sufix *-gens*, “generador”. Des de feia molt de temps se sabia que els no-metalls inflamables com el sofre produeixen àcids (el que avui anomenem *anhídrids d'àcid*), per això Lavoisier va inferir que l'oxigen obtingut per mitjà de la combustió és la causa de l'acidesa. No obstant això, ara ja no pensem que tots els àcids contenen oxigen, ni tampoc que l'oxigen és la causa immediata de l'acidesa

Plan de l'ouvrage.

Tableau des Substances Simples, ou de ceux
qui sont les seuls de son genre, non composés.
à l'usage de ceux qui
sont curieux de la Chimie.

The manuscript page contains a handwritten table of simple substances. The table is organized into several sections, with handwritten notes in French explaining the classification. The substances listed include elements like Air, Feu, Eau, and various acids and bases. The handwriting is in cursive, and there are some corrections and additions throughout the text.

© Museo Galileo. Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze

PARTIE II. DES SUBSTANCES SIMPLES. 135

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	NOM NOUVEAU.	NOM ANCIEN CORRESPONDANT.
Substances simples qui appartiennent aux trois règnes, et qu'on peut regarder comme les éléments de tous.	Lumière.....	Lumière, Chaleur, Principe de la chaleur, Fluide igné, Feu.
	Calorique.....	Matière du feu et de la chaleur, Air déphlogistique, Air empyrématique, Air vital.
	Oxygène.....	Base de l'air vital, Gaz phlogistique, Matière.
	Azote.....	Base de la poudre, Gaz inflammable, Base du gaz inflammable.
Substances simples, non métalliques, oxydables et azotables.	Hydrogène.....	Hydrogène.
	Sulfure.....	Sulfure.
	Phosphore.....	Phosphore.
	Carbone.....	Charbon pur, Lacume.
	Radical azotique.....	Lacume.
	Radical boracique.....	Lacume.
Substances simples, métalliques, oxydables et azotables.	Radical boracique.....	Lacume.
	Antimoine.....	Antimoine.
	Argent.....	Argent.
	Arrière.....	Arrière.
	Étain.....	Étain.
	Galium.....	Galium.
	Calcaire.....	Calcaire.
	Étain.....	Étain.
	Fer.....	Fer.
	Magnésium.....	Magnésium.
	Mercur.....	Mercur.
	Molybdène.....	Molybdène.
Nickel.....	Nickel.	
Or.....	Or.	
Platine.....	Platine.	
Plomb.....	Plomb.	
Tungstène.....	Tungstène.	
Zinc.....	Zinc.	
Substances simples, oxydables, terreuses.	Chaux.....	Terre calcaire, chaux.
	Magnésium.....	Magnésium, base de sel d'Épouse.
	Érythre.....	Érythre, terre pesante.
	Thaumas.....	Argile, terre de Felsch, base de Felsch, Terre siliceuse, terre vitifiable.

© Museo Galileo. Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze

«Taula de substàncies simples», *Elements de química* de Lavoisier (1789). Encara que moltes substàncies van conservar els seus antics noms, van ser redefinides en el marc del nou sistema: molts elements es van convertir en compostos i molts compostos van passar a considerar-se «substàncies simples».

en els compostos àcids que contenen oxigen. Si *oxigen* sempre va significar «principi d'acidesa», hauríem de denominar *oxigen* qualsevol substància que considerem agent actiu de l'acidesa. Quan Humphrey Davy va descobrir que l'hidrogen era el component determinant dels àcids, hauria d'haver-lo anomenat *hidrogen oxigen*. Gilbert Lewis va definir un àcid com una substància química que pot acceptar un parell d'electrons, per la qual cosa podria haver usat la paraula *oxigen* per referir-se a tota una sèrie d'electròfils.

Fins i tot en cas que deixem de costat la qüestió dels àcids i considerem l'oxigen només en qualitat d'agent de la combustió —que encara pensem que ho és—, no es pot dir que el concepte modern d'oxigen basat en la combustió siga el mateix que el que apareix en la teoria de Lavoisier perquè el seu model també incloïa el calòric, un «fluid subtil». Seria completament erroni suggerir que, quan Lavoisier va parlar de «calòric», volia referir-se a alguna cosa semblant a la noció moderna de calor; de fet coneixia perfectament la teoria

que defineix la calor com a energia cinètica però la va desestimar. L'intercanvi net d'energia procedent de la ruptura i la reagrupació dels enllaços químics, allò que els químics avui dia solen explicar com a calor alliberat en les reaccions de combustió, és molt diferent del fluid calòric de Lavoisier, una suposada substància física que s'escalfa introduint-se entre les molècules. I l'equivocació de Lavoisier no és només aquesta, tota la seua noció d'oxigen es basa en aquest error.

■ L'EMPIRISME GARANTEIX EL DEBAT CIENTÍFIC

No obstant això, els químics actuals continuen usant la paraula de Lavoisier, *oxigen*. Ho poden fer gràcies a la definició empírica que Lavoisier va fer d'«element».

Abans de la revolució química, els qui defensaven els tres elements i els models de cinc elements mantenien debats molt poc significatius perquè les seues entitats teòriques eren una mica místiques i difícils de definir i perquè cada teoria manejava entitats di-



Portada de la *Physica Subterranea* de J. J. Becher i G. E. Stahl (Lipsiae, Gleditsch, 1738) en què s'exposaren les primeres formulacions de la teoria del flogist. La figura humana representa la terra, a les entranyes de la qual es formen els set metalls, sempre sota la influència dels set planetes.

ferents, que només representaven un paper en els seus respectius sistemes. Igualment, pot ser molt difícil per a qualsevol després de la revolució química criticar de manera consistent la teoria del flogist.

Si l'oxigen tan sols era un principi químic com els dels alquimistes i els químics primitius, negar l'existència del calòric o refutar el paper de l'oxigen en l'acidesa és com negar l'existència de l'oxigen, però l'empirisme il·lustrat va canviar la naturalesa de les teories químiques. Cap al 1789 Lavoisier havia renunciat a la paraula *principi* i havia optat per anomenar-lo simplement *oxigen (oxygène)* i l'havia inclòs en la seua taula de «substàncies simples», d'acord amb la seua adhesió a l'empirisme. És a dir que, tot i que químics anteriors i posteriors hagen discrepat sobre algunes de les seues característiques, encara es pot parlar amb propietat

sobre l'oxigen o sobre qualsevol altra substància que poguen assenyalar.

Només gràcies a la noció tan tangible d'element que va aportar Lavoisier podem creure en la continuïtat de les nostres entitats químiques, a desgrat dels canvis tan fonamentals que ha experimentat la teoria química posteriorment. Aquests avenços no haurien estat possibles amb tres, quatre o cinc sistemes de principis. Ni tan sols amb les versions posteriors de la química flogística. Aquests principis mai no han estat aïllats –ni tan sols hipotèticament–, mai ningú no ha pogut assenyalar un flascó i dir: «això és el flogist». I encara menys ha tornat a fer acte de presència aquest nom en les reconceptualitzacions teòriques posteriors. El coneixement pràctic va permetre a Antoine Lavoisier refutar l'existència del flogist, però va ser la filosofia il·lustrada el que va canviar la manera de treballar en química. Més que qualsevol altra cosa, va ser el trajecte que va recórrer Lavoisier des dels principis alquímics fins a les substàncies el que va adreçar la química pel camí cap al concepte modern d'element. ☺

BIBLIOGRAFIA

- BENSAUDE-VINCENT, B., 2009. «Philosophy of Chemistry». In BRENNER, A. i J. GAYON (eds.). *French Studies in the Philosophy of Science*. Springer. Heidelberg, Dordrecht, Nova York.
- HENDRY, R. F., 2005. «Lavoisier and Mendeleev on the Elements». *Foundations of Chemistry*, 7: 31-48.
- McEVoy, J. G., 1988. «Continuity and Discontinuity in the Chemical Revolution». *Osiris*, 4: 195-213.
- PYLE, A., 2001. «The Rationality of the Chemical Revolution». In NOLA, R. i H. SANKEY (eds.). *After Popper, Kuhn and Feyerabend: Recent Issues in Theories of Scientific Method*. Kluwer. Dordrecht.
- SANKEY, H., 1991. «Translation Failure between Theories». *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 22: 223-236.
- WISE, M. N., 1993. «Mediations: Enlightenment Balancing Acts, or the Technologies of Rationalism». In HORWICH, P. (ed.). *World Changes: Thomas Kuhn and the Nature of Science*. The MIT Press. Cambridge, Mass.
- Nicholas W. Best. Departament d'Història i Filosofia de la Ciència, Indiana University (EUA).

interglobe.es

editing and translation services

www.interglobe.es

info@interglobe.es