

# Dels «aires» als «gasos» . Una aproximació històrica al procés de conceptualització de l'estat gasós

From 'airs' to 'gases'. A historical approach to conceptualization of gaseous states

Pere Grapí / Universitat Autònoma de Barcelona. Centre d'Història de la Ciència



## resum

El 1773, Lavoisier va escriure en el seu diari de laboratori que es disposava a «ocasionar una revolució en la física i la química» reexaminant tot allò que s'havia fet i dit sobre l'aire que es desprenia i es fixava en els cossos. Efectivament, la reconstrucció de la química que va propugnar Lavoisier va proporcionar, entre altres coses, una comprensió de l'estat gasós, fins aleshores indiferenciat dels estats sòlid i líquid. Aquest article presenta una exploració històrica del procés que va conduir al reconeixement d'un tercer estat de la matèria a final del segle XVIII.

## paraules clau

Aires, gasos, estat gasós, flogist, calòric, oxigen.

## abstract

In 1773, Lavoisier wrote in his laboratory notebook his intention to "cause a revolution in physics and chemistry" by reviewing everything that had been done and by talking about the air released and how it is fixed by different materials. Indeed, the reconstruction of chemistry as advocated by Lavoisier provided, among other things, an understanding of the gaseous state previously undifferentiated from solid and liquid states. This article presents an exploration of the historical process that led to the recognition in the late eighteenth century of a third state of matter.

## keywords

Airs, gases, gaseous state, phlogiston, caloric, oxygen.

### Presentació: raons per a un oblit

El problema dels gasos és el del reconeixement de l'estat gasós com un tercer estat de la matèria. La química va romandre fins a mitjan segle XVIII com una pràctica o una disciplina bidimensional, tot fixant l'atenció bàsicament en els materials sòlids i líquids i negligint el que ara coneixem com a *gasos* (Brock, 1992, p. 89). La varietat de termes

utilitzats en el passat per referir-se als gasos (*esperits, aires, exhalacions, fums, vapors o mofetes*, entre d'altres) és representativa de la manca de comprensió de l'estat gasós.

Cal tenir en compte que les «exhalacions» observades en les destil·lacions, coves, mines, fermentacions, putrefaccions, aigües pantanoses o aigües minerals potser es podien distingir per la

seva inflamabilitat o per l'olor, però no, en general, pel seu color. Aquest fet encara va contribuir més a la seva invisibilitat i, per tant, a dubtar de la seva existència material. Hi havia, però, altres raons per ignorar els gasos.

Una primera raó d'índole pràctica estava relacionada amb el seu potencial explosiu i amb les pràctiques destil·latòries. La destil·lació és una operació irre-

meiablement vinculada als orígens de la química. Tot i que una destil·lació es fonamenta en la condensació dels vapors obtinguts en escalfar un material (habitualment, en estat líquid), en alguns casos era possible que es produïssin descomposicions que alliberessin substàncies gasoses inesperades i no volgudes, irrelevants per al destil·lador. D'altra banda, els destil·ladors estaven preocupats per aspectes més pràctics i prosaics de l'operació, com ara els desperfectes que podien sofrir l'aparell o ells mateixos, atès que un excés de pressió en el destil·lador era un perill per l'explosió de l'aparell. Per solucionar aquests inconvenients, els destil·ladors van adoptar el costum de fer un forat prop del col·lector per alleugerir la sobrepressió i deixar escapar aquells «gasos» inesperats. Allò que es deixava escapar no tenia, doncs, gaire importància i, per tant, es menyspreava.

Un altre motiu per ignorar els gasos va ser la seva dificultat de confinament. El fet que es cregués que era realment difícil, per no dir impossible, aïllar i recollir gasos va tenir una conseqüència epistemològica important. Si els gasos no es podien recollir i guardar d'alguna manera, tampoc no es podrien examinar i, per tant, mai no s'arribaria a conèixer del tot la seva naturalesa (Crosland, 2000, p. 92).

A diferència dels sòlids i els líquids, els gasos van romandre intangibles durant molt de temps. D'alguna manera, el fet d'estudiar els gasos era vist com endinsar-se en un món més enllà del món material, la qual cosa, en cercles cultes i erudits, suposava una mena de regressió del

món físic cap al metafísic, molt més especulatiu. Assolir la idea de sòlid i de líquid va resultar més fàcil perquè l'observació i l'experimentació amb una varietat de materials que tenien en comú la pertinença a aquests estats de la matèria va facilitar, per la via de la inducció, la construcció d'ambdós conceptes. En canvi, la manca de diferenciació i caracterització de diferents espècies de gasos va resultar un obstacle important en el seu procés de conceptualització.

### Robert Boyle: allò que és invisible s'ignora

Tot i el desconeixement que va haver-hi sobre l'estat gasós fins a mitjan segle XVIII, el terme *gas* va sorgir pel segle XVII en relació amb els «esperits salvatges» que es manifestaven en operacions com les destil·lacions, les combustions o les fermentacions. El mèrit d'encunyar el terme es deu a Johannes Baptista van Helmont (1579-1644) quan va dir: «Anomeno aquest Esperit, desconegut fins ara, amb el nom de Gas, que no pot ser ni confinat en recipients ni convertit en un cos visible». En realitat va utilitzar la paraula grega *chaos*, que significa 'sense forma'. Segurament, però, el primer personatge que els llibres de text associen a l'estudi dels gasos és el filòsof natural irlandès Robert Boyle (1627-1691), conegut, sobretot, per la llei que porta el seu nom.<sup>1</sup>

Boyle, però, no estava interessat en els productes gasosos de les reaccions químiques de difícil confinament, sinó en l'aire atmosfèric. Per a Boyle, l'aire era «el cos prim, fluid, diàfan, compressible i dilatable que respirem, per on ens movem i que envolta

la Terra per tots els costats». Els experiments de Boyle amb l'aire estaven pensats per mostrar fets constatables, com la compressibilitat i la dilatabilitat, relacionats per la mateixa llei de Boyle. Aquesta llei (o lleis) es va establir en un annex de la segona edició dels seus *New experiments physico-mechanical, touching the spring of the air, and its effects*, publicada el 1662 (Solís, 1985, p. 48-49). La llei, tot i que actualment s'interpreta com una descripció del comportament ideal dels «gasos», per a Boyle era una interpretació del comportament tan sols de l'aire.

Boyle considerava qualssevol dels gasos actuals com «aire impur o modificat», és a dir, només existia aire atmosfèric en diferents estats de puresa, atès que aquest era permeable a diferents exhalacions. D'alguna manera, doncs, es perpetuava la idea de l'aire com un dels quatre elements aristotèlics. Una prova d'aquesta concepció és la següent: quan es va aïllar el monòxid de carboni i es van observar els seus efectes letals, no es va creure que fos una nova substància, sinó «aire atmosfèric infectat pels fums del carbó ardent».

En alguns dels seus experiments, Boyle va sotmetre animals, ocells i espelmes enceses al buit, tot mostrant que l'aire era necessari per a la respiració i la combustió. No obstant això, no va arribar a copsar el paper de l'aire ni en la respiració ni en l'augment del pes dels metalls en calcinar-se. Potser Boyle no va contribuir gaire a la diferenciació química dels gasos, però els seus experiments van ser una de les causes de l'interès que els «aires»<sup>2</sup> despertarien a

1. El 1676, el clergue francès Edme Mariotte va fer veure que la proporcionalitat inversa entre pressió i volum només era vàlida si la temperatura es mantenia constant. Per aquesta raó, la llei que regula el comportament dels gasos ideals en processos isotèrmics és també coneguda com a llei de Boyle-Mariotte.

2. D'ara endavant, utilitzaré el terme en singular, *aire*, per referir-me a l'aire atmosfèric o aire comú, mentre que el seu plural, *aïres*, l'utilitzaré per referir-me a qualsevol altre gas.



Figura 1. Il·lustració de la primera bomba de buit de Boyle mostrant els seus components.

Anglaterra a principi del segle XVIII (fig. 1).

Va ser a Anglaterra i a Escòcia, a partir de la dècada de 1720, on es van escenificar dos episodis que acabarien tenint una transcendència cabdal per a la comprensió de l'estat gasós: el reconeixement de la participació de l'aire en les reaccions químiques i l'abandonament de la creença en el caràcter elemental de l'aire atmosfèric. Els estudis de Robert Boyle van suposar un referent important en l'especial atenció que van merèixer els aires; no obstant això, cal tenir en compte altres aspectes contextuais per entendre millor aquest interès.

Un primer aspecte a considerar cal localitzar-lo en les comunitats amb explotacions de mines de carbó, prou abundants a Anglaterra. En aquestes mines, era ben coneguda l'existència de «bosses d'aire» amb un comportament químic diferent i que suscitaven preocupacions diferents.

Aquestes bosses es coneixien com a *fire-damps*, si provocaven

combustions o explosions en contacte amb l'aire, i com a *choke damp*s o *black-damp*s, si, contràriament, sufocaven combustions.

Un segon aspecte a tenir en compte, tot i no ser exclusiu d'Anglaterra, va raure en la tradició higienista de l'època. Un mètode per eliminar els càlculs renals, alternatiu a l'extirpació quirúrgica i al tractament amb medicaments alcalins agressius, era «prendre aigües» als balnearis. El suposat valor terapèutic de les aigües minerals per a aquest i altres casos va iniciar un interès per conèixer-ne la composició. Atès que moltes d'aquestes aigües contenien aires dissolts, es pot entendre l'interès que va existir per recollir i analitzar aquests aires. Aquesta mateixa tradició higienista sostenia la creença que algunes malalties eren provocades per les miasmues que contaminaven l'aire. Això va dur a la posada a punt de mètodes i instruments (eudiòmetres) per determinar la bonesa o salubritat de l'aire, una recerca que va suposar, inevitablement, un millor coneixement de les propietats dels aires.

### Stephen Hales: una aproximació quantitativa i instrumental a l'estat gasós

Les idees d'Isaac Newton sobre els aires no eren pas gaire diferents de les de Boyle. Però Newton, no obstant això, estava més interessat per qüestions com ara saber si l'aire expel·lit per un material sòlid o líquid canviava d'un estat atractiu a un de repulsiu, o si aquests materials podien contenir el seu propi volum d'aire. Newton va expressar aquestes inquietuds en la *Query 31* de la seva *Opticks* del 1730 i va ser aquesta part de l'obra de Newton la que va estimular Stephen Hales (1677-1761), vicari de Teddington, a realitzar una

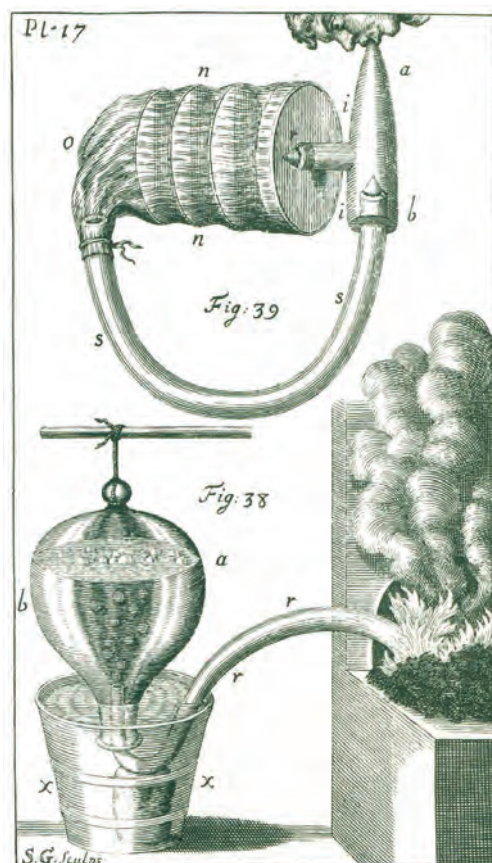
sèrie d'experiments sistemàtics que va publicar en l'obra *Vegetable staticks* el 1727. Aquesta obra, que era, en principi, un tractat de fisiologia vegetal, dedica quasi una tercera part del text a l'estudi dels aires. Hales, tot interessant-se per funcions com la del mecanisme de creixement de les plantes mitjançant l'estudi del moviment de la saba, va descobrir que les plantes i els minerals podien retenir grans quantitats d'aires.

La propietat que més interessava Hales d'aquests aires no era pas la seva composició, sinó la seva elasticitat. En concordança amb les idees de Newton, l'aire estaria format per partícules que es repel·lien mútuament (la qual cosa explicaria la seva elasticitat) i que activaven altres substàncies en entrar-hi en contacte. No obstant això, aquest aire atmosfèric podia contenir partícules d'altres materials, com ara àcids o sals, que, en atreure les de l'aire, modificarien la seva elasticitat.

En determinades circumstàncies, les partícules de l'aire podien estar fixades per contribuir a la unió d'altres partícules dels cossos. Aleshores, mitjançant fermentacions (amb àcids i àlcalis) o destil·lacions, aquest aire fixat podia recuperar la seva elasticitat. Amb el rerefons d'aquest marc teòric, Hales va executar un programa sistemàtic per extreure aires de tota una varietat de materials vegetals, minerals i animals.

Hales va ignorar l'experimentació qualitativa dels aires que extreia a favor d'un tractament estrictament quantitatiu. Estava tan convençut d'estar tractant amb una substància única (aire atmosfèric) que el seu únic interès va ser mesurar els aires alliberats en fermentacions i destil·lacions. Se sap que Hales va aïllar i obtenir molts aires,

Figura 2. Muntatge dissenyat per Hales per recollir aires mitjançant el desplaçament d'aigua.



com, per exemple, òxids de carboni, nitrogen i sofre, amoníac, hidrogen i oxigen, però no es va preocupar d'examinar-los. La concepció d'aquests aires com a quasiaire atmosfèric va suposar un veritable obstacle epistemològic per imaginar-se'n la diversitat. En definitiva, els aires es veien més semblants que no pas diferents.

A pesar d'aquestes limitacions, l'experimentació duta a terme per Hales va proporcionar dues fites transcendents per a la comprensió de l'estat gasós: la consolidació dels gasos com a entitats materials i el desenvolupament d'una instrumentació adient per a la seva recollida. Els aires procedents de destil·lacions i fermentacions eren recollits sobre aigua, se'n mesurava el volum, se'n calculava el pes suposant que tots tenien la mateixa densitat (la de l'aire atmosfèric) i es comparava aquest pes amb el del material de

procedència. Finalment, però, se'ls deixava lliures. Així, doncs, la possibilitat de poder confinar els gasos (encara que fos provisionalment) va permetre fer-ne una certa quantificació que va facilitar la creença en la seva materialitat. Tot això va ser possible gràcies a la posada a punt d'una instrumentació dissenyada, també, amb una altra finalitat.

S'atribueix a Hales el fet d'haver inventat una instrumentació (prototipus de cubeta pneumàtica) per recollir gasos. Tot i que amb aquesta finalitat va ser àmpliament utilitzada posteriorment, Hales va dissenyar-la també com un estri per «rentar» (purificar) els aires procedents de destil·lacions i fermentacions, perquè recuperessin la seva elasticitat. Així, quan Hales descriu el funcionament d'un muntatge per recollir gasos (fig. 2), apunta que:

L'aire procedent de la destil·lació passa a través de l'aigua cap al receptacle *ab* i, d'aquesta manera, una bona part de l'esperit àcid i dels fums sulfurosos és interceptada i retinguda per l'aigua i, com a conseqüència, el nou aire generat continua disposant d'una elasticitat permanent (Hales, 1727, p. 105).

Les idees prèvies no tan sols poden condicionar les explicacions científiques, sinó que també poden influir en els dissenys experimentals.

Aparentment, les extraccions d'aires dutes a terme per Hales no van ser suficients com per fer sospitar de l'existència d'aires químicament diferents. A banda de les consideracions que s'han esmentat sobre els obstacles que van impedir la conceptualització de l'estat gasós, cal afegir-ne una altra de relativa al material de procedència dels aires. Des d'antic, la pràctica de la química havia ensenyat que mostres de substàncies semblants però de procedències geogràfiques diferents no es comportaven exactament igual. Així, per exemple, l'alum (sulfat doble d'alumini i potassi) procedent de Tolfa (localitat italiana de la província de Roma) era reconegut com un mordent més bo (segurament perquè era més pur) que els alums procedents d'altres llocs (i que probablement eren menys purs). Aleshores, un aire que no procedís de l'atmosfera no tenia perquè ser essencialment diferent de l'aire atmosfèric. Era una qüestió de puresa. Així, per exemple, gasos com els dos òxids de carboni no es percebien com a essencialment diferents, sinó que simplement un d'ells (diòxid de carboni) era aire atmosfèric més pur que l'altre (monòxid de carboni).



En definitiva, els gasos eren tan semblants físicament que el fet d'apreciar les seves similituds era molt més fàcil que no pas apreciar les seves diferències (Crosland, 2000, p. 86). No és estrany, doncs, que Hales s'interessés per observar allò que feia els aires semblants (la seva quantitat de matèria) i no pas allò que els feia diferents.

### **A la caça dels aires! El desenvolupament de la química pneumàtica**

A mitjan segle XVIII, s'inicià a tot Europa (continental i insular) una veritable competició per cercar i estudiar aires. Filòsofs naturals abocats a la pràctica de la química, com Henry Cavendish i Joseph Priestley, a Anglaterra; metges amb vocació de químics, com Joseph Black, a Escòcia; farmacèutics, com Karl-Wilhelm Scheele, a Suècia, o advocats convertits en químics, com Lavoisier, a França, van constituir un entramat de centres de recerca (reforçat pel creixent nombre de publicacions científiques) que va afavorir l'intercanvi d'informació sobre la química que practicaven i, notablement, sobre els aires que investigaven.

Si tota cursa ha de tenir un punt de sortida, el de la competició per col·leccionar aires començaria a la Universitat d'Edimburg, on, durant la dècada de 1750, Joseph Black (1728-1799) estava immers en la seva tesi sobre la causa de la causticitat de determinades substàncies alcalines. Black havia escollit com a substància d'estudi la magnèsia alba (carbonat de magnesi), que ja s'utilitzava com a laxant en medicina. Els experiments duts a terme per Black es van publicar el 1755 en l'assaig *Experiments on magnesia alba, quicklime and other alkaline substances*. A partir dels experiments realitzats amb pedres calcàries, cal viva (òxid de calci) i cal

apagada (hidròxid de calci), Black va arribar a la conclusió que, a banda de l'aire atmosfèric, existia un altre «aire diferent» contingut a la magnèsia alba i als materials calcaris, que podia ser fixat per la cal apagada i que va anomenar *aire fix* (diòxid de carboni) (Bertomeu et al., 2006, p. 52-55). Cal apuntar que l'instrument essencial del descobriment de l'aire fix no va ser ni la bomba de buit ni la cubeta pneumàtica, sinó la balança. Black va inferir l'existència de l'aire fix a partir dels canvis de pes que ocasionava en travessar una solució de cal apagada (Crosland, 1980, p. 401), atès que l'aire fix, a diferència de l'aire comú, provocava la formació d'un precipitat. El descobriment de Black sol associar-se a l'inici de la química dels gasos (la química pneumàtica) i com la clau de volta de la història dels gasos. Sense voler restar mèrits al seu descobriment, cal dir que aquesta no va ser exactament la percepció que va tenir la majoria dels seus col·legues contemporanis.

En qualsevol cas, la cacera d'aires que es va desencadenar a partir del 1755 va servir perquè cada cop es comencessin a remarcar més les diferències amb l'aire comú, tot i que els aires es continuessin interpretant com a meres variants de l'aire atmosfèric. El procés de reinterpretació va resultar llarg i confús, a pesar de disposar d'un nombre creixent de resultats experimentals favorables. En ciència, però, els fets, tant si són observacionals com si són experimentals, no proven res per si sols. Al final, són els esquemes conceptuals dels experimentadors que els fan significatius. A mitjan segle XVIII, els químics disposaven no tan sols de les idees corpusculars i les atraccions newtonianes de curt abast per interpretar el seu món, sinó que, a més, també tenien al seu abast una doctrina

per interpretar la composició de les substàncies (la teoria del flogist) que no ajudaria gaire a la diferenciació química dels aires.

El flogist va ser un dels fluids subtils, invisibles, imponderables i portadors de propietats que van sorgir en el context de la filosofia natural del segle XVIII. A alguns se'ls coneixia amb el nom genèric d'èter i van servir per explicar fenòmens gravitacionals, elèctrics i magnètics. D'altres van rebre noms propis, com ara *calòric*, per designar la matèria de la calor, o *flogist*.

El flogist es va convertir en una peça clau de tota una teoria que va proporcionar explicacions racionals i coherents de diversos fenòmens, però, molt especialment, de la combustió i la calcinació dels metalls. Tot i que aquesta teoria s'associa generalment a la figura de Georg Stahl (1660-1734), no va ser precisament ell qui va introduir aquest terme en la química, però sí qui va elaborar una teoria més articulada al seu entorn. La teoria va néixer en el context de les pràctiques metal·lúrgiques a Alemanya i explicava la calcinació dels metalls i la combustió del carbó per l'alliberament del flogist contingut en aquests materials. Contràriament, la metal·lització (reducció) d'una calç metàl·lica requeria la reincorporació del flogist que podia proporcionar el carbó. Cal adonar-se que la teoria del flogist va negligir completament el paper de l'aire per explicar tant les combustions com les calcinacions.

El 1766, un any després que Black donés el tret de sortida a la caça d'aires, Henry Cavendish (1730-1810), prototipus del filòsof natural adinerat i autodidacte dedicat exclusivament al treball experimental, va publicar la seva primera memòria sobre un «aire inflamable» (hidrogen) obtingut per l'acció de l'esperit de vidriol

dil·luint sobre un metall com el zinc i que va identificar amb el mateix flogist. A més, Cavendish va inventar una instrumentació que permetia transferir aires entre recipients abocant-los «cap amunt» sota l'aigua (fig. 3), alhora que va ser el qui primer va començar a recollir els aires sobre mercuri en comptes de ferro sobre aigua.

El descobriment de Black i els estudis de Cavendish van estimular Joseph Priestley (1733-1804) per dur a terme un estudi sistemàtic de molts aires. Priestley era un clergue presbiterià que el 1767 publicà l'obra *History and present state of electricity*, que va catapultar la seva carrera científica. Durant el temps que va exercir com a ministre presbiterià a Leeds, vivia prop d'una fàbrica de cervesa, un entorn que facilitaria el seu interès per les propietats dels aires. Una altra raó de caire més crematístic per entendre aquest interès va ser la poca inversió econòmica que, d'entrada, requeria aquest tipus d'investigació, a diferència de la inversió que havia hagut d'afrontar en els seus estudis anteriors sobre l'electricitat. Mentre Priestley va viure a Anglaterra, va gaudir del mecenatge que li proporcionava una renda anual. En aquestes condicions, va poder disposar d'una instrumentació que requeria una certa habilitat i perícia de funcionament (fig. 4) i que li va permetre realitzar una copiosa recollida d'aires (més de vint gasos diferents), alguns dels quals, en ser solubles en aigua (com l'amoníac i el clorur d'hidrogen), va recollir sobre mercuri en la seva cubeta pneumàtica. Les descripcions detallades d'aquests experiments les va publicar entre els anys 1774 i 1777 en l'obra *Experiments and observations on different kinds of air*.

Priestley era més proper al món de la filosofia natural que al

de la química i, d'altra banda, era un ferm partidari de la teoria del flogist. Aquest bagatge intel·lectual li va permetre elaborar una interpretació dels «diferents tipus d'aire» en termes de diferents proporcions del flogist en l'aire atmosfèric. Les diferents impureses (àcides, sulfuroses, etc.) contingudes en l'aire comú i que havien servit per interpretar els aires es veurien unificades pel flogist i caracteritzades per la seva proporció. D'aquesta manera, existien «aires deflogistats», com l'oxigen, amb una proporció baixa de flogist; «aires inflamables», com l'hidrogen, el metà o el monòxid de carboni, amb pro-

porcions altes de flogist, i «aires flogistats», com el nitrogen o el diòxid de carboni, completament saturats de flogist. No obstant això, aquestes denominacions basades en consideracions teòriques van conviure amb denominacions més comunes que feien referència a l'origen dels aires o a les seves propietats, com, per exemple, l'«aire nitrós» (monòxid de nitrogen), l'«aire de l'àcid vidriòlic» (una mescla d'òxids de sofre) o l'«aire alcalí» (amoníac). La teoria del flogist, doncs, no va acabar d'aportar ni una veritable diferenciació química dels gasos ni, per tant, una concepció plena de l'estat gasós.

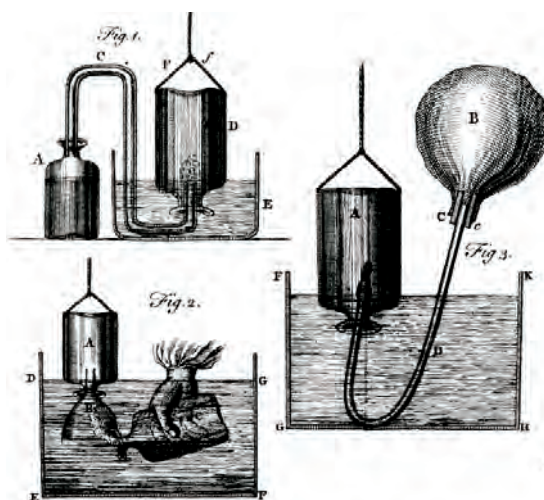


Figura 3. Aparells dissenyats per Cavendish per a la manipulació d'aires.

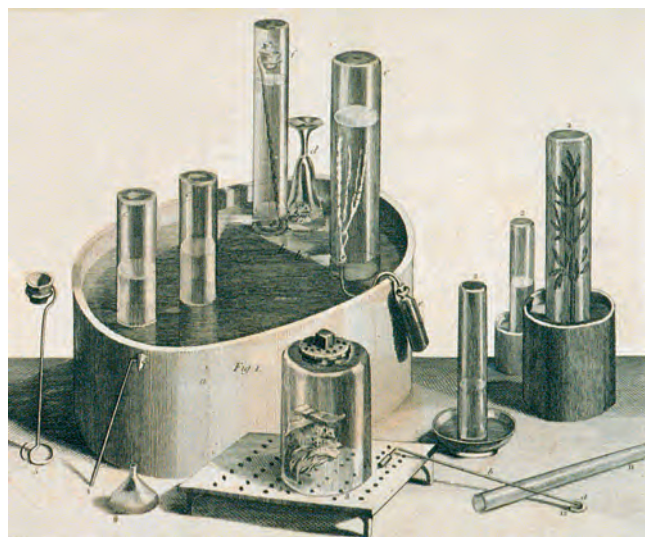


Figura 4. La cubeta pneumàtica de Priestley per a l'estudi de diferents aires.

### Lavoisier i el subministrament d'aigua a París: l'origen de la conceptualització de l'estat gasós

Durant el mes d'octubre de 1774, Priestley va visitar París i va informar personalment Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) d'un nou aire que havia trobat per descomposició tèrmica de la calç de mercuri vermella [òxid de mercuri (II)]. Priestley el va identificar com un aire deflogistat perquè proporcionava una flama més brillant i era més respirable que l'aire comú. Priestley descobria que entre els anys 1771 i 1772 Scheele ja havia aïllat aquest aire i l'havia anomenat *aire del foc* (*Feuerluft*). D'altra banda, pocs mesos abans, el farmacèutic Pierre Bayen ja havia fet parar l'atenció de Lavoisier sobre aquesta calç pel fet que, en escalfar-la, es reduïa a mercuri metàl·lic sense que necessités la presència de carbó vegetal. Aquests episodis i els experiments realitzats posteriorment van dur Lavoisier a establir, el 1777, la seva teoria de l'oxigen-calòric sobre la combustió (fig. 5). La teoria de l'oxigen-calòric va ser, però, força més que una teoria alternativa a la del flogist per interpretar la combustió i la calcinació. De fet, va ser una part d'una teoria més general sobre l'estat gasós. Aquesta nova i més àmplia perspectiva de la teoria de l'oxigen-calòric ens porta a reconèixer Lavoisier uns quants anys abans.

El 1768, el mateix any en què Lavoisier va ser escollit membre de l'Acadèmia de Ciències de París, es va qüestionar la potabilitat de l'aigua que se subministrava a la ciutat de París a través d'un canal. En aquells moments, l'únic assaig de puresa disponible consistia a examinar el residu sòlid que s'obtenia per evaporació fins a sequedat d'una mostra de l'aigua. Però aquesta prova va

aixecar sospites de fiabilitat, perquè encara persistia la creença aristotèlica de la transmutació del principi de l'aigua en el de la terra i, per tant, la determinació dels residus sòlids de l'aigua no seria significativa com a assaig de puresa, atès que el residu podria provenir de la mateixa aigua transformada en terra.

Lavoisier va emprendre l'experiment de la destil·lació contínua d'una gran quantitat d'aigua durant gairebé tres mesos. Al final de l'experiment, es va detectar la formació d'una sorra que Lavoisier va atribuir a l'erosió del vidre del recipient on s'havia sotmès l'aigua a ebullició en comprovar que el pes de la sorra formada era pràcticament equivalent a la pèrdua de pes del recipient, sense arribar a comprovar si la sorra era del mateix material que el vidre. Tot i no ser del tot concloent, l'experiment va ser prou convincent per deixar sense sentit la idea de la transmutació de l'aigua. El 1772, Lavoisier va escriure una memòria, que no es va arribar a publicar, en la qual recopilava els resultats d'aquests experiments i en la qual les seves reflexions anaven més enllà de desacreditar la transmutació de l'aigua en terra.

A partir del 1773, Lavoisier va començar a tenir clara l'existèn-

cia de tres estats diferents per a la matèria i, en particular, la del tercer estat, que va designar com un «estat d'expansió» o «estat de vapor». En concret, en referir-se al cas de l'experiment de l'aigua, la calor (la matèria del foc o flogist), en combinar-se amb l'aigua, podia expandir les seves partícules fins a adquirir la condició aèria. I a l'inrevés: si el vapor alliberava aquesta calor, perdia el seu estat aeri i condensava. En definitiva, quan Lavoisier va començar els seus experiments amb la calç de mercuri, ja tenia la idea que un mateix cos podia passar pels tres estats en combinar-se amb una determinada proporció de matèria de la calor o flogist (Brock, 1992, p. 98-100).

El 1777, Lavoisier va establir la forma definitiva de la seva teoria de l'oxigen-calòric admetent el paper actiu que tenia l'aire comú en la combustió i la calcinació dels metalls. Una part de l'aire comú, la «més respirable i més adequada» per a la combustió, s'unia als metalls formant la calç corresponent responsable de l'augment de pes detectat. Aquesta part «més saludable i pura de l'aire» la va anomenar *oxigen* (generador d'àcids), en creure que entrava en la composició de tots els àcids i que era responsable de la seva acidesa.

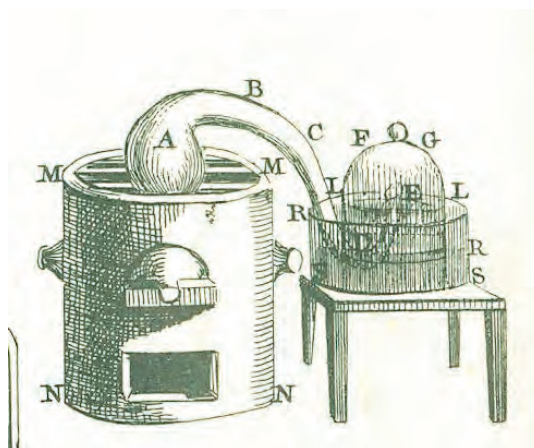


Figura 5. Il·lustració de l'experiment de la calcinació del mercuri en el *Tractat elemental de química*.



Lavoisier va quedar tan impressionat per la calor alliberada en les combustions que no podia deixar-la de banda en el seu esquema teòric. Lavoisier va designar la causa de la calor, el fluid elàstic que la produïa, amb la paraula *calòric*. Aquest fluid imponderable que envoltava les partícules de tots els cossos (en particular, les de l'oxigen) s'alliberava quan aquest es combinava amb un cos inflamable i la seva acumulació a l'aire donava lloc a la sensació de calor.

El 1789, Lavoisier va publicar el seu *Tractat elemental de química* quan la seva teoria de l'oxigen-calòric, el vaixell insígnia de la revolució química de final del segle XVIII, estava pràcticament completada. En aquest llibre de text, Lavoisier va proporcionar una visió consolidada de la nova química i clarificadora pel que fa a la conceptualització de l'estat gasós, tot fent extensible les seves idees a totes les substàncies capaces de transformar-se en fluids aeriformes:

Tots aquests fets particulars, els exemples dels quals em seria fàcil multiplicar, m'autoritzen a fer transformar en principi general allò que ja he anunciat anteriorment: que gairebé tots els cossos de la natura són susceptibles d'existir en tres estats diferents, en l'estat sòlid, en l'estat líquid i en l'estat aeriforme, i que aquests tres estats d'un mateix cos depenen de la quantitat de calòric que porten en combinació. D'ara endavant, designaré aquests fluids aeriformes amb el nom genèric de gas i diré, en conseqüència, que en qualsevol espècie de gas hom ha de distingir el calòric, que fa en certa manera l'ofici de dissolvent, i la substància que s'hi combina i que en forma la base (Lavoisier, 1789, p. 34).

## La reconstrucció de la química a final del segle XVIII no s'entendria sense la conceptualització de l'estat gasós com una nova dimensió de la química que contribuiria notablement a l'apropament dels territoris de la física i de la química en el segle següent

D'aquesta manera, Lavoisier, en desenvolupar el valuós concepte estructurant que la matèria podia presentar-se en els tres estats en funció de la quantitat de calòric present, va donar carta d'identitat a l'estat gasós com el tercer estat de la matèria llargament ignorat. Però, a més, va diferenciar químicament els «aires» convertint-los en «espècies de gasos» compostos de la base del gas amb el calòric. Certament, allò que feia cada espècie de gas químicament diferent d'una altra no era el calòric, sinó la seva base. Per això Lavoisier va proporcionar una definició operacional d'element químic acompanyada d'una taula de substàncies simples (*corps simples*) i de nombroses taules de combinacions entre substàncies diverses que permetien concebre com a químicament diferents els gasos que tenien bases (substàncies simples o compostes) amb propietats químiques diferents. Aquesta diferenciació es va plasmar designant cada gas amb el nom de la seva base: gas aquós, gas alcohòlic, gas muriàtic, gas amoníac, gas oxigen, gas azòtic, etc. La reconstrucció de la química a final del segle XVIII no s'entendria sense la conceptualització de l'estat gasós com una nova dimensió de la química que contribuiria notablement a l'apropament dels territoris de la física i de la química en el segle següent.

## Bibliografia

- BERTOMEU-SÁNCHEZ, J. R.; GARCÍA-BELMAR, A. (2006). *La Revolución Química. Entre la memoria y la historia*. València: PUV.
- BROCK, W. H. (1992). *Historia de la química*. Madrid: Alianza.
- CROSLAND, M. (1980). «Chemistry and the Chemical Revolution». A: ROUSSEAU, G. S.; PORTER, R. [ed.]. *The ferment of knowledge: Studies in the historiography of eighteenth century science*. Cambridge: CUP, p. 389-416.
- (2000). «“Slippery substances”: Some practical and conceptual problems in the understanding of gases in the Pre-Lavoisier Era». A: HOLMES, F. L.; LEVERE, T. H. [ed.]. *Instruments and experimentation in the history of chemistry*. Cambridge (Mass.): The MIT Press, p. 79-104.
- HALES, S. (1727). *Vegetable statics*. Londres: W. and J. Innys & T. Woodward.
- LAVOISIER, A. L. (1789) [2000]. *Tractat elemental de química*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Pòrtic; Vic: Eumo.
- SOLÍS, C. (1985). *Robert Boyle: Física, química y filosofía mecánica*. Madrid: Alianza, p. 35-50.



**Pere Grapí Vilumara**

És professor de física i química de secundària a l'INS Joan Oliver de Sabadell. Llicenciat en ciències químiques per la Universitat de Barcelona (1977) i doctor en filosofia i lletres per la Universitat Autònoma de Barcelona (1996). Membre del Centre d'Estudis d'Història de la Ciència (CEHIC) de la UAB. A. e.: pgrapi@gmail.com