

HISTORIA DE



LAS CIENCIAS Y ENSEÑANZA

LA CONTRIBUCIÓ DE LA TEORIA DEL FLOGISTE A L'ESTRUCTURACIÓ ACTUAL DE LA CIÈNCIA QUIMICA. IMPLICACIONS DIDÀCTIQUES

IZQUIERDO, M.

Departament de Didàctica de les Ciències i de les Matemàtiques. Universitat de Barcelona.

SUMMARY

In this article, the meaning of the Theory of Plogiston is analyzed in the context of the period in which it was formulated. Certain aspects of this theory, which contributed to the structuring of modern concepts of Chemistry are pointed out, as is the inappropriateness of linking this theory to a dark period of the Science of Chemistry—a step back from a former situation— overcome thanks to A.L. Lavoisier, who rejected the theory.

Similarly, it must be taken into account that some of the children's ideas about chemical phenomena, though not coincidental with currently accepted scientific theories, are valid starting points for planning an appropriate learning strategy which will lead to the understanding of present-day science.

INTRODUCCIÓ

És bastant freqüent de sentir dir que la química moderna es va estructurar a partir del rebuig de la teoria del flogiste, la qual cosa fou possible degut al treball quantitatiu derivat de l'ús sistemàtic de la balança.

En molts llibres de text de química es parla d'A. L. Lavoisier com l'artífex de la superació de la teoria del flogiste i, en conseqüència, és anomenat el pare de la química moderna.

La simplificació en temes com aquest, tot i que pot ser necessària en llibres de divulgació, té el perill d'oferir una perspectiva equivocada des de la qual l'evolució de les ciències queda exclusivament vinculada a algunes figures titllades de genials. Així mateix, fa creure que els aspectes quantitius d'un conjunt de fenòmens permeten descobrir automàticament una llei general. S'idealitza i es caricaturitza, alhora, l'activitat peculiar dels científics.

L'objectiu d'aquest article és presentar alguns aspectes de la teoria del flogiste que varen guiar l'experimentació química al llarg de tot el segle XVIII, en una època en la qual coexistien altres teories que, tot i semblar més properes als conceptes químics actuals, resultaren estèrils.

En els apartats següents es comentaran les diferents interpretacions de la calcinació dels metalls i de la combustió que van ser ofertes i coexistiren al llarg dels segles XVII i XVIII i es parlarà breument de la teoria del flogiste, que va fer possible per primer cop una interpretació única per a ambdós fenòmens. Aquesta va ser una fita important, a partir de la qual A.L. Lavoisier proposaria la interpretació moderna, en termes de combinació amb oxigen.

El coneixement d'esquemes explicatius dels fenòmens químics diferents dels actuals —però que en el seu moment foren dinamitzadors de l'experimentació científica— pot ajudar-nos a comprendre uns altres punts de vista que poden coincidir amb el pensament del nen, quan l'aplica a la interpretació dels fenòmens; això ens permetrà dissenyar per a ell estratègies d'aprenentatge que permetin arribar progressivament al domini de les teories actuals.

1. LA QUÍMICA EN ELS SEGLES XVII I XVIII. ELEMENTS I PRINCIPIS

La professió de «químico» es comença a definir al llarg del segle XVII, a mesura que els procediments experimentals, el llenguatge i els objectius s'unifiquen i van essent compartits per col·lectius cada cop més amplis. (Ningú, però, «s'hi guanya la vida» fent química. Per a sobreviure, cal ser professor o pertànyer a una família benestant o bé a l'administració pública). La química s'independitza de la medicina i de la farmàcia i passa de ser iatroquímica —ciència que proposava explicacions similars pels fenòmens en el cos humà i pels fenòmens químics i, encara, molt vinculada a l'alquímia— a ser considerada una disciplina científica, filosofia natural. (Mason, 1985).

Els laboratoris de química d'aquesta època no són gaire diferents dels actuals. Els químics coneixen ja molts «cossos» i identifiquen determinats processos. L'explicació dels fenòmens, en canvi, es presenta dispersa i són freqüents les teories «ad hoc». El «paradigma renaixentista» havia acabat ja amb el prestigi de l'Esco-

làstica, però no havia aconseguit crear un sistema explicatiu únic per als fenòmens de la Naturalesa (Yates, 1983 i Turró, 1985). En general, totes les teories pretenen explicar el canvi químic en funció d'un únic «principi generab» que n'és la causa; aquest no sempre s'identifica amb un cos material i s'admet que pot ser semblant a l'electricitat, a la llum o al magnetisme. Les diferents propostes pel que fa a aquest principi de la reacció química comporten diferents propostes respecte a la composició dels materials, atès que tots ells són susceptibles de canviar químicament.

L'esquema clàssic dels quatre elements va resultar inoperant en química. No servia per a interpretar els resultats de les anàlisis dels cossos materials, ni tampoc no ajudava a dissenyar procediments d'obtenció de noves substàncies.

Els químics el modificaren de diverses maneres. Postularen l'existència de «principis» els quals, tot i estar constituïts pels elements clàssics, presentaven característiques més properes a les que s'observaven en les diferents famílies de «cossos» que es començaven a caracteritzar. Als tres principis de Paracelsus: sofre, mercuri i sal, se n'hi afegiren d'altres: flegma, oli, esperit..., relacionats amb la destil·lació de les nombroses substàncies orgàniques amb les quals es treballava habitualment. S'atribuïren a aquests principis les mateixes propietats dels cossos dels quals s'obtenien i tant podien ser la causa d'aquestes propietats com s'hi podien arribar a confondre.

L'experimentació semblava demostrar que només alguns dels quatre elements constituïen els cossos (i els principis), mentre que d'altres eren simplement necessaris per a les operacions de la química. S'acceptava, si bé no unànimament, que eren l'aigua i la terra els que formaven els materials (elements actius), mentre que l'aire i el foc feien possible que aquests canviessin (elements passius).

Les raons que feien rebutjar l'aire com a component dels cossos es referien a l'evident pèrdua d'elasticitat que s'hauria de produir, per ser aquesta la propietat que definia l'aire, resultava per a alguns un autèntic contrasentit d'imaginar-lo a l'interior dels cossos. A més, l'aire es veia sempre igual a ell mateix. Els canvis que experimenta com a conseqüència d'alguns canvis físics i químics són transitoris (si no es treballa en condicions que permetin l'aïllament dels gasos) i eren explicats en el marc de la visió atòmico-mecanicista de la matèria, acceptant que l'atmosfera estava formada per moltes partícules diferents: llavors, gèrmens, vapors procedents dels cossos líquids i sòlids... i partícules d'aire. Aquestes últimes, d'una forma peculiar a la qual es devia la seva elasticitat, configuraven un material immutable en el qual existien diverses partícules que podien provocar i/o intervenir en els canvis químics.

El foc s'interpretava en general com a moviment de les partícules, però també hi havia qui el considerava format ell mateix per partícules materials, d'una forma

determinada. I encara d'altres que, a poc a poc, començaven a diferenciar foc-calor i foc-llum, associant diferents funcions a l'un i a l'altre.

Aquest esquema dels quatre elements, ja tan malmès, era modificat amb tota llibertat pels químics en funció de les explicacions que oferien dels fenòmens químics. En general, no s'augmentava el nombre d'elements sinó que es tendia a reduir-lo, cercant aquell que era el fonament de tots i que ja no havia de ser, necessàriament, un dels quatre elements clàssics.

Un dels principis que foren proposats i que ràpidament fou considerat com un «Principi Generab» fou el que s'obtenia en destil·lar el nitre, l'anomenat «esperit nitro-aeri» o «esperit del món», que «es troba difós a l'aire i és font de vida perquè intervé en la respiració». Servet (1511-1553) descobreix la circulació menor de la sang i el canvi de color d'aquesta quan passa pels pulmons, i ens parla així d'aquest principi: «... l'ale diví es troba en l'aire...; de la mateixa manera que mitjançant l'aire... Déu envermelleix la sang, així Crist fa que l'Esperit irradiï» (Mason, 1985).

Etmüller (1693) reconeixia l'existència d'«una sal difosa en la creació del món per tot l'univers i que s'anomena vulgarment esperit del món quan se'l confon amb l'aire. La sal universal engendra en matrius diferents la sal particular, que és de dues classes, àcid i alcalí» (Taton, 1975), Metzger, 1923).

Newton (1642-1727), ens en parla a l'Òptica d'una manera ja molt diferent: «En l'aire hi ha abundants vapors àcids adequats per a produir fermentacions, com és obvi per a la corrosió del ferro i coure exposats a la intempèrie» (Newton, 1977).

A finals del segle XVII queda definit ja un nou paradigma; els científics busquen, experimentalment, lleis generals matemàtiques que s'ajustin al comportament de la Natura i abandonen el vitalisme de l'època anterior per tal de buscar una solució mecanicista a totes les qüestions plantejades pels fenòmens físics i químics. Les explicacions en termes d'àtoms i moviment satisfan plenament i, alhora, es rebutgen totes aquelles que es refereixen a les propietats específiques dels cossos. Aquesta orientació racionalista no va donar fruits immediatament, en química: voler superar massa de pressa el comportament diferenciat dels cossos per tal de buscar una explicació general que els inclogui tots, però passant per alt les propietats específiques dels cossos, deixa la química sense objectiu (Kuhn, 1952). Les teories que es mantingueren més properes als esquemes vitalistes (les de l'escola alemanya: Becher, Stahl...) resultaren més adequades per a l'estudi de les característiques dels cossos i, per tant, més aptes per a impulsar l'experimentació química de l'època.

2. CALCINACIÓ DELS METALLS

El canvi d'aspecte d'alguns metalls (estany, plom, coure...) en ser escalfats era un fenomen ben conegut i ben

descriu des de l'alta edat mitjana. Es coneixia l'augment de pes que es produïa i la reversibilitat del procés: el metall es podia regenerar si era escalfat amb carbó. També s'acceptava que calia la presència d'aire i que aquest era modificat, d'alguna manera, durant el procés. La reversibilitat del canvi feia pensar que el metall no havia estat transformat profundament, sinó que havia sofert només una alteració superficial, a diferència del que passa en la combustió (Metzger, 1923).

Vannoccio Biringuccio (1480-1539) explica amb tota claredat que el Pb augmenta la seva massa en un 8% en ser escalfat. Ho atribueix al fet que el plom és un mal mixt del qual, en ser escalfat, són expulsades les parts aquoses i aèries i tapen els porus del metall, pels quals abans entrava l'aire. En mancar l'aire que per ser lleuger el sostenia, el plom cau, de la mateixa manera que el cos d'un animal mort pesa més que el cos d'un animal viu (Mieli, 1951).

Jean Rey (1575-1645) considera simplement que el metall s'omple d'aire «com la sorra absorbeix l'aigua... la calor del forn ha espessit l'aire i l'ha tornat més adherent... i s'uneix a les més petites parts de la calç... fins al límit que la naturalesa imposa sempre als seus fenòmens» (Rey, 1909).

John Mayow (1641-1679), proposa l'existència, en l'aire, d'unes partícules idèntiques a les que constitueixen el nitre i del qual es poden desprendre en escalfar-lo. Aquest «principi» del nitre, l'esperit nitro-aeri, s'uneix amb les partícules del metall degut a l'escalfor i és per això que augmenta la seva massa (Mayow, 1901).

Robert Boyle (1677-1691), com a conseqüència dels seus estudis sobre la flama creu que aquesta esdevé «fixa i ponderable» en unir-se a les partícules del metall. És l'element foc, format per partícules molt subtils, el que penetra en el metall a través de les parets del recipient que el conté (Boas, 1958).

Cal destacar que alguns químics manifesten la seva estranyesa per aquest efecte del foc sobre els metalls, ja que sempre consumeix els altres cossos sobre els quals s'aplica.

3. LA COMBUSTIÓ

El fenomen de la combustió era considerat una disgregació irreversible dels materials, acompanyada d'un espectacular despreniment de llum i de calor que requereix la presència de l'aire. Es reconeixia també la similitud entre aquest fenomen i la respiració.

La propietat de «ser combustible» que tenen en comú diversos cossos s'atribuïa a l'existència, en tots ells, d'un «principi de la combustibilitat» derivat del principi «sofre» dels alquimistes. Les explicacions que al llarg del segle XVII es donaven d'aquest fenomen en recollien precisament aquests trets.

D'entre totes les combustions conegudes és la de la pólvora la que impressiona més profundament els científics del segle XVII i la que suggereix els esquemes més nous, en els quals el canvi químic s'atribueix a la lluita entre substàncies oposades. Veiem, per ex. com la descriu Francis Bacon (1561-1626) en el *Novum Organum*: «La producció de flames d'aquesta espècie, semblants a vents ignis, té per causa el conflicte entre dues substàncies de natura radicalment contrària... el sofre... i el nitro». Més endavant, ens parla de la transitorietat de les flames (recollint l'observació que el foc comença a extingir-se per les vores i no pel centre) amb aquests termes «... és en els punts en què la flama és combatuda per l'aire ambient... l'aire és afí al fum, però és antagonic a la flama» (Bacon, 1979).

John Mayow, ajusta molt més les coses. Per a ell la combustió és la unió entre les partícules sulfúriques del cos combustible i les partícules nitro-aèries. La flama és l'efecte del moviment ràpid de les partícules nitro-aèries, que només pot produir-se quan s'uneixen les partícules de sofre dels cossos combustibles i les partícules nitro-aèries. A més, la unió d'aquest principi amb el principi «sal» dels cossos combustibles forma els àcids. La combustió s'acaba quan ja s'han esgotat les partícules nitro-aèries disponibles en l'aire.

Robert Hooke (1635-1703) i Thomas Willis (1621-75) són contemporanis de Mayow i utilitzen esquemes semblants. Per al primer, els cossos combustibles es dissolen en l'aire durant la combustió, gràcies a la presència, en ell, d'un cos semblant al que es troba fixat en el nitre; en el procés de dissolució es forma foc, que no és més que moviment ràpid de les partícules disperses. Per a Willis, les partícules sulfúriques surten dels cossos durant la combustió i entren en col·lisió amb les partícules nitro-aèries (Mayow, 1901).

Per a Hooke i per a Willis, la combustió s'acaba quan l'aire s'ha saturat.

Robert Boyle accepta també l'existència d'una substància fluida dispersa en l'aire, «l'anomenada nitro volàtil, o alguna altra», la qual implicaria la necessària presència de l'aire durant la combustió. Però no és partidari de la teoria del seu contemporani Mayow (que ha estat citat sovint com a precursor de Lavoisier), la qual no prosperà.

4. LA TEORIA DEL FLOGISTE

Per a Joachim Becher (1637-1682) els cossos estan formats pels elements terra i aigua, mentre que l'aire i el foc, tot i ser necessaris per als canvis, no participen en la reacció i no són constituents dels cossos. Però considera que l'element terra es diversifica en tres terres diferents: la terra vitrificable, la terra grassa i la terra volàtil, cada una d'elles amb unes característiques pròpies que comunica als cossos dels quals formen part (Metzger, 1927). Veiem que aquestes tres terres recor-

den els tres principis de Paracelsus, sal, sofre i mercuri, però ara no existeix ja la confusió entre el principi i el cos del mateix nom. La terra grassa i la terra volàtil van adquirint cada cop més rellevància en l'explicació-interpretació de la reactivitat química. Georg Ernst Stahl (1660-1734), deixeble de Becher, anomenarà la terra grassa flogiste, l'aliment del foc, i considerarà que és constituent de totes les substàncies que són combustibles (Beck, 1960).

L'escola química alemanya, a la qual pertanyen Becher i Stahl, es caracteritza per la seva atenció primordial als fenòmens químics, per la qual cosa les seves generalitzacions són sempre operacionals. Hereva de la tradició iatroquímica iniciada amb Paracelsus (tot i que ha trencat amb ella), proposa explicacions que parteixen del comportament individualitzat dels cossos, les quals, tot i tenir clars vestigis vitalistes resulten d'un interès enorme per a la química, que no podia incorporar encara el llenguatge matemàtic ni un model atòmic, excessivament abstractes, a fenòmens sense classificar en els quals intervenen individualitats mal definides. Stahl mateix ho formula clarament «... la matemàtica és l'estudi més savi si es basa en un terreny sòlid; malgrat tot, voler fer-la penetrar en la química... és voler estendre massa el seu domini... Quan diem que una sal està formada per terra i aigua, sabem el que això significa... però si ens diuen que un àcid està format per àtoms més llargs que amples, angulosos, etc... i ens demanen de buscar aquesta sal, certament ja no podré fer-ho ni ningú no podrà dir-me on trobar-la» (Metzger, 1926).

L'ús que fan del principi flogiste és operacional, i caracteritza individualitats químiques i diferents processos. El flogiste surt dels cossos combustibles quan aquests es cremen i surt, també, dels metalls quan es calcinen. El flogiste és acollit per l'aire, pot acceptarlo fins un límit, la saturació. L'aire flogitzat no pot mantenir la combustió ni la respiració dels éssers vius; en canvi, l'aire desflogitzat és el més apte per a la combustió. Els cossos que han perdut flogiste (per ex. els metalls) poden recuperar-lo mitjançant la interacció amb cossos que el contenen, com ara el carbó o l'hidrogen. Les plantes són les úniques que poden tornar a fixar el flogiste que ha quedat dispers a l'aire després de la calcinació i de la combustió (Beck, 1960).

L'aportació de la teoria del flogiste a la comprensió dels fenòmens químics és importantíssima, almenys en tres aspectes diferents. En primer lloc, és una única explicació, experimental, de fenòmens que fins aleshores es consideraven diferents: la combustió i la calcinació, (i les reaccions dels àcids amb els metalls). En segon lloc, la reversibilitat dels processos en els quals intervé el flogiste, poder seguir el pas d'aquest principi d'un cos a l'altre, poder-lo recuperar després d'haver estat dispersat... confereix definitivament materialitat a aquest i als altres principis i els fa perdre les característiques de qualitats hipostasiades. I, finalment, fa de la química una ciència experimental, que deixa de ser una ciència

única, és a dir, que es proposa d'acceptar les afirmacions de la mecànica i de l'astronomia respecte a la matèria, així que es vegi la manera de fer-ho. Per tot això, permet el plantejament de nombroses preguntes que han de trobar resposta al laboratori: efectivament, aquesta teoria impulsa nombrosíssimes experimentacions que fan que, a finals del segle XVIII, es pogués dir de la química que és ja «un edifici científic consolidat i acabat».

Entre les preguntes plantejades, cal destacar la que finalment trobaria la resposta en Lavoisier: Per què la massa sembla que disminueix en les combustions i en canvi augmenta en les calcinacions?

Quant a l'experimentació, cal destacar aquella destinada a recollir i a estudiar el flogiste, que va permetre recollir i estudiar nombrosos gasos i, finalment, comprendre la naturalesa de l'aire.

La materialitat del flogiste semblava ben evident, per a Stahl i els seus deixebles. Però calia determinar quina era la magnitud física directament relacionada amb la quantitat de matèria, ja que la massa no semblava ser-ho.

5. LA CONSERVACIÓ DE LA MATÈRIA I LA CONSERVACIÓ DE LA MASSA

La conservació de la matèria és un requisit indispensable perquè un estudi racional dels canvis dels materials sigui possible. És per això que l'acceptació d'aquest principi ha estat la base de totes les propostes explicatives referents al comportament del món físic.

L'ús sistemàtic de la balança és també molt antic i, a partir del segle XIV, es va convertint en una pràctica habitual en els laboratoris alquímics.

Newton es declara empirista i deixeble de Bacon (tot i que està integrat ja en un nou paradigma diferent); en conseqüència, accepta l'estil d'apropament a la naturalesa que és propi dels artesans i fonamenta la seva teorització en la pràctica experimental.

Quan cal determinar quina es la magnitud relacionada amb la «materialitat», opta per la que era utilitzada ja en aquest sentit en la pràctica artesanal i alquímica: «allò» que és mesurat amb la balança, la massa.

Descartes, també des d'una perspectiva racionalista, però més conscient del trencament que aquesta suposa respecte al paradigma renaixentista, considera que és el volum la magnitud que mesura la quantitat de matèria. La seva anàlisi, abocada igualment a l'explicació dels fets reals, parteix en canvi dels «a priori» que es presenten amb claredat com a veritables a l'enteniment humà: l'extensió respecte a la materialitat i el moviment respecte al canvi. El volum és doncs la magnitud que es relaciona amb la quantitat de matèria i el buit no pot existir.

El desacord entre dos científics d'un enorme prestigi respecte a com mesurar la quantitat de matèria (per la seva massa o pel seu volum?) desorienta els químics del segle XVII, degut al fet que les mesures de massa i volum, en diferents materials, no es corresponen. La magnitud massa, a més, no pot ser captada d'una manera immediata pels sentits, i sí que ho és, en canvi, la massa específica, que canvia sense cap regularitat quan un cos es transforma en un altre. Aquestes dues magnituds es confonen fàcilment i el seu diferent significat es va anar establint amb dificultat.

No ens ha d'estranyar, per tant, que els «flogicistes» no es prenguessin seriosament que la calcinació d'un metall (pèrdua de flogiste) produís un guany de massa. Els semblava que el comportament químic de les calçs, és a dir, la regeneració del metall per interacció amb el carbó, ric en flogiste, demostrava clarament i suficient la materialitat del flogiste, i més aviat consideraven que voler associar aquesta materialitat a la massa era un perjudici del sentit comú contra una evidència científica.

6. EVOLUCIÓ I CONSEQÜÈNCIES DE LA TEORIA DEL FLOGISTE DURANT EL SEGLE XVIII

En els apartats anteriors ens hem apropiat al pensament químic en el segle XVII, en el context del qual la teoria del flogiste presenta les característiques fonamentals d'una teoria científica: permet unificar les explicacions que es donaven a fenòmens diferents, posant en evidència els seus aspectes comuns; i suggereix noves experimentacions, les quals, alhora que augmenten el poder explicatiu de la teoria i contribueixen així a desenvolupar-la, van assenyalant quins són els fenòmens que no s'inclouen correctament en el seu marc interpretatiu.

La teoria de flogiste es va estendre lentament per Europa. Boerhaave (1668-1738) no menciona encara el flogiste en les seves lliçons a la Universitat de Leiden ni en el seu llibre «Elementa Chymia», publicat el 1732. De fet aquesta teoria mai no va ser acceptada unànimament en tots els seus detalls pels químics. Així i tot, l'experimentació química que va ser interpretada en el marc de la teoria del flogiste va arribar a ser abundantíssima, i incloïa les reaccions que ara anomenaríem «redox». Així, per exemple, es considerava que un metall no podia dissoldre's en un àcid fins que s'havia produït una pèrdua suficient del flogiste del metall. En la reacció d'una sal dissolta en aigua amb un metall, que produeix una altra sal i un altre metall, és el metall prèviament «dissolt» el que recupera el flogiste, a expenses del que contenia el metall afegit.

El flogiste va anar adquirint les característiques d'un element, és a dir, d'un component dels cossos naturals (sobretot dels orgànics). Es considerava que la coloració era un indicatiu de la presència del flogiste en el cos.

Si bé no s'aconseguia d'obtenir-lo lliure, els químics sabien seguir perfectament la seva transferència d'un cos a l'altre.

El flogiste és perfectament compatible amb una visió atòmica de la matèria, ja àmpliament acceptada pels científics de les acaballes del segle XVII. Podia ser considerat un determinat tipus de partícules, les quals, junt amb les de les altres «terres» i les de l'aigua formaven «principis principiatos». Aquests, per combinació, formaven «compostos» i «supercompostos». La teoria de Stahl fou també perfectament compatible amb la interpretació que fa Newton dels fenòmens físics i químics. En efecte, la transferència de flogiste pot ser interpretada considerant diferents forces atractives, específiques, entre el flogiste i els diversos principis principiatos i compostos. L'expansió de la teoria del flogiste a Europa va anar de bracet amb la incorporació dels principis de Newton a la química, que deixava així de ser la ciència «única» que havia estat l'alquímia. En moltes universitats del segle XVII s'ensenyava química «segons els principis de G. Stahl i I. Newton» (Metzger, 1930). Ben aviat això portaria a la incorporació definitiva de les «afinitats» (que mesuraven les forces atractives entre els diferents àtoms) als esquemes teòrics de la química i a considerar, finalment, també en Química, que és la massa la propietat de la matèria que en mesura la quantitat, com deia Newton.

A finals del segle XVIII Scheele (1742-1786) afirma que «l'aire té dues parts, i només una d'elles atreu el flogiste». Bergman i Turnberg (Schuffe, 1972) en la mateixa època, són capaços de calcular les diferents quantitats de flogiste en els metalls i d'ordenar-los segons aquest criteri (en el llenguatge actual diríem que varen calcular les masses equivalents dels metalls). No sembla, en conseqüència, que l'ús de la teoria del flogiste fos un fre ni per a l'estudi de l'aire ni per a la introducció de les mesures de massa en química.

La teoria dels elements, ja en crisi durant el segle XVII, es va continuar modificant durant el segle XVIII. En aquest sentit té un interès especial la reconsideració de la suposada no intervenció de l'aire i del foc en les reaccions químiques. Boerhaave, i sobretot Black (1728-99) (Neave, 1936) consideren que hi ha dues menes de foc, una de les quals sí que pot ser un component dels cossos materials. D'altra banda, l'interès per recollir flogiste va impulsar la recerca sobre els «cossos elàstics» i el gran nombre d'aquests que apareixien en les reaccions químiques varen fer reconsiderar la suposada immutabilitat de l'aire, l'únic responsable de l'elasticitat dels cossos. Lavoisier, finalment, va considerar que tots els elements poden existir o bé formant part dels cossos o bé lliures i aeriformes, si es combinen amb calòric. Aquesta va ser la peça que li va permetre reorganitzar el marc teòric de la química del seu temps, una ciència que era considerada per molts contemporanis de Lavoisier plenament madura, consolidada i d'un notable poder interpretatiu.

La lluita de Lavoisier contra el flogiste sembla una mica artificial. Eren tants els fenòmens que s'explicaven per la intervenció del flogiste que aquest havia anat perdent a poc a poc el seu caràcter particular per fondre's en un concepte molt general, inconcret, d'ús múltiple i poc rigorós. No existia ja una teoria del flogiste com un cos teòric ben delimitat i amb un llenguatge definit en base als seus principis fonamentals. ¿Podem pensar que Lavoisier va esforçar-se a reconstruir la teoria del flogiste per destacar més clarament la vàlua de la seva proposta? (Lavoisier, 1783). Crec que la resposta és afirmativa i, a més, sembla ben legítima aquesta actitud, que és valuosa fins i tot des d'un punt de vista didàctic.

7. CONCLUSIONS I IMPLICACIONS DIDÀCTIQUES

La interpretació de la ciència d'una època tenint com a punt de referència l'actual li confereix un cert teleologisme que, d'altra banda, res no demostra que sigui real (la ciència d'ara no «és» en funció de la ciència del futur, i el seu valor no pot definir-se a la llum de les noves teories que s'arribaran a formular). En considerar els diversos factors, de característiques molt diverses, que intervenen en la determinació de les línies de progrés de les ciències, perd sentit el qualificatiu de vertader o fals aplicat als diversos esquemes teòrics que s'han utilitzat al llarg de la història per a interpretar el comportament de la natura.

En aquest treball s'ha intentat destacar la contribució positiva de la teoria del flogiste al treball científic de la seva època, i resituar la de Lavoisier, el qual només des d'una perspectiva molt condicionada per la química del segle XIX pot ser considerat el pare de la Química. Amb ell es pretén aportar documents que afavoreixin la visió de la ciència no teleològica que ens proposen els filòsofs de la ciència en l'actualitat (Lakatos, 1982) (Toulmin, 1977), perquè aquest enfoc condiciona profundament l'ensenyament de les ciències. En lloc de menysprear una teoria obsoleta, cal pensar que ha fet possible el pas a una teoria millor. La teoria del flogiste forma part de la història de les construccions humanes que han permès interpretar la realitat, tal com aquesta ha estat percebuda per la comunitat científica en diferents èpoques.

Si estenem aquest paral·lelisme al pensament del nen, hem de dir que tampoc ell «és» en funció del que serà. Cal que la seva educació es planifiqui a partir de la comprensió dels esquemes conceptuals o miniteories amb les quals el nen interpreta la «seva» realitat. (Driver i Erickson, 1983). Aquests esquemes no són errors, sinó esquemes alternatius als oficials; a partir d'ells s'haurà de dissenyar un camí de progrés per a nens, que comportarà la verificació o el rebuig de les hipòtesis i que el portarà a la comprensió de la ciència actual. Veurem com molt sovint es repeteixen els obsta-

cles epistemològics, com són ara la no consideració de l'aire en l'oxidació dels metalls, en alumnes de BUP, o la interpretació de la corrosió dels metalls com si fos deguda a l'extracció «d'alguna cosa» que ells contenien, en alumnes de cicle superior d'EGB.

No es fàcil de provocar el canvi dels esquemes interpretatius del nen per tal que ell mateix els substitueixi per uns altres. Molt sovint els professors creiem que un senzill experiment és suficient per a desautoritzar una miniteoria dels nostres alumnes (Hodson, 1985) i això no és cert. Així per ex., en el nostre cas, els professors podríem esperar que l'alumne indueixi la realitat de la participació substancial de l'oxigen de l'aire en l'oxidació del metall per formar l'òxid, a partir de la pesada del metall i de la seva calç (l'òxid). Però això comporta, no només la comprensió del terme «substància», sinó també el reconeixement de tres substàn-

cies diferents, una d'elles gasosa i dues de sòlides, a més del domini del model atòmic-molecular pels processos químics. ¿No són excessives les idees que pretenem extreure d'un sol experiment?

El cas de Lavoisier es presenta per un estil, amb un excés de simplificació, quan es diu que l'ús de la balança va invalidar la teoria del flogiste. Aquest enfoc empirista i inductivista ha de superar-se, perquè és poc realista; ha de ser substituït per un altre en el qual la consideració de la influència dels valors, de la cultura ambiental, de les experiències prèvies en les explicacions que s'utilitzen ens permeti valorar-les (sense etiquetar-les precipitadament com a «verdaderes» o «falses») com a estructuradores de l'experiència i suggeridores d'activitat creativa. Aquesta haurà de ser canalitzada com cal, per tal que arribi a produir un aprenentatge autèntic i una comprensió cada cop més satisfactòria dels fenòmens de la Natura.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- BACON, F., 1979, *Novum Organum* (Fontanella: Barcelona).
- BOAS, M., 1958, *Robert Boyle and Seventeenth Century* (Cambridge University Press: Cambridge).
- BECK, C.W., 1960, Georg Ernst Stahl, 1660-1673, *Journal of Chemical Education*, Vol. 37, 506.
- DRIVER, R. y ERICKSON, G., 1983, Theories-in-action: some theoretical and empirical issues in the study of students conceptual frameworks in science, *Studies in Science Education*, Vol. 10, 37-66.
- HODSON, D., 1985, Philosophy of Science, Science and Science Education, *Studies in Science Education*, Vol. 12, 25-57.
- KUHN, T.S., 1952, Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century, *Isis*, Vol. 43, 12-36.
- LAKATOS, I., 1982, *Historia de la Ciencia y de sus reconstrucciones racionales*, (Tecnos: Madrid).
- LAVOISIER, A.L., 1783, Reflexions sur le flogistique, pour servir à la suite à la théorie de la combustion et de la calcination *Mémoires de l'Académie des Sciences*.

- MAYOW, J., 1901, *Untersuchungen über den Salpeter und den salpetrigen Luftgeist, das Brennen und das Athmen*, (Breitkopf-Härtel: Leipzig).
- METZGER, H., 1923, *Les doctrines chimiques en France du début de XVII à la fin du XVIII*, (Les Presses Universitaires de France: Paris).
- METZGER, H., 1926, *La Philosophie de la matière chez Stahl et ses disciples Isis* Vol. 8, 427.
- METZGER, H., 1927, *La théorie de la composition des sels et la théorie de la combustion, d'après Stahl et ses disciples. Isis*, Vol 8, 294.
- METZGER, H., 1930, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, (Alcan: Paris).
- MIELE, A., 1951, *Panorama General de la Historia de las Ciencias*, (Espasa Calpe: Madrid).
- NEAVE, E.W.J., 1936, *Joseph's Black Lectures on the Elements of Chemistry Isis*, (Vol 25, 372).
- NEWTON, I., 1977, *Optica* (Alfaguara: Madrid).
- REY, J., 1909, *Abhandlungen Jean Rey's. Über die Ursache der Gewichtszunahme von Zinn und Blei beim Verkälten*, (Breitkopf-Härtel: Leipzig).
- SOHUFLE, J. A., 1972, *The different quantities of Phlogiston in Metals Journal of Chemical Education*, Vol 49, 810.
- TATON, R., 1975, *Historia General de las Ciencias* (Destino: Barcelona).
- TOULMIN, S., 1977, *La comprensión humana I. El uso colectivo y la evaluación de los conceptos*. (Alianza Universidad: Madrid).
- TURRÓ, S., 1985, *Descartes. Del hermetismo a la nueva ciencia*, (Anthropos: Barcelona).
- YATES, F., 1983, *Giordano Bruno y la tradición hermética*, (Ariel: Barcelona).