

# El racó de la història: El naixement de la química moderna

Mercè Izquierdo

Departament de Didàctica de les Ciències – CEHIC, Universitat Autònoma de Barcelona

**E**n aquest article es fa coincidir el naixement de la química moderna amb l'inici de la tradició *de les substàncies*. Es mostra l'evolució d'aquesta tradició, que procedeix de la màgia natural renaixentista, amb l'emergència de conceptes com *substància simple* i *composta*, *element químic* i, especialment, *àtom químic*.

## Introducció

És molt difícil donar una data, ni tan sols aproximada, per al naixement de la química -una disciplina ben consolidada tant des d'un punt de vista teòric com pràctic-, perquè fer-ho significa trobar un fil conductor que ens porta des de la data escollida fins avui amb una certa continuïtat. Com acceptem des de Kuhn (1975), hi ha hagut *revolucions científiques* que han acabat amb *maneres de veure el món* ben arrelades i les *veritats* d'una època acaben sempre essent abandonades i substituïdes per unes altres. Per això no es pot pensar que hi ha determinades entitats que, intuïdes matusserament en temps antics, acaben per ésser descobertes a mesura que es perfeccionen les tècniques i les teories.

Dedicaré aquestes poques pàgines sobre la història de la química a destacar les característiques de la tradició de la *substància química* (en la qual ens trobem encara ara) a partir del moment que comença a aparèixer en llibres destinats a l'ensenyament. Desenvoluparé aquest plantejament en dos apartats i una reflexió final (Gyunng Kim, 1992).

## La iatroquímica i la nova farmàcia química: l'experimentació directa, un nou valor

Les ciències experimentals neixen durant el Renaixement i són filles de la màgia natural. S'anomena màgia natural la ciència renaixentista, que havia trencat ja amb la ciència aristotèlica pròpia de les universitats i buscava els seus propis paradigmes per orientar-se en un cosmos unificat (han acabat les distincions entre el món sublunar i el supralunar) en el qual els homes poden crear lliurement *artificis* tan dignes d'ésser estudiats com ho era la natura per als antics. Emergeix

així un visió màgica del cosmos, la qual, en el clima del Renaixement, permet una nova relació de l'home amb la naturalesa que, com veurem, justifica l'activitat manual i tècnica com a font de coneixement científic i que s'adiu molt bé amb la consciència nova del domini sobre la natura mitjançant la tècnica i la capacitat de pensar, de crear, d'imaginar noves realitats. El macrocosmos (els astres i els planetes) i el microcosmos (els esdeveniments a escala humana) estan relacionats perquè formen part d'un mateix Tot, el qual, com un organisme, es transforma segons un mateix pla general i segons unes lleis globals del món que el mag ha de descobrir i que pot utilitzar a favor de la humanitat.

La màgia natural és l'ambient intel·lectual en què es desenvolupa la química renaixentista. Les antigues pràctiques alquímiques (rebutjades per les universitats) i fins i tot el model de coneixement que els era propi (intuïtiu, vital, místic, però també manipulatiu i centrat en la transformació dels materials) adquireixen una importància molt gran, perquè proporcionen instruments i models adequats a la nova valoració de totes les tècniques.

«Llegir el llibre de la natura»

Philippus Aureolus Teophrastus Bombast von Hohenheim (1493-1541), anomenat Paracels perquè, segons ell mateix, era «més gran que Cels» (el metge romà), inicia la pràctica mèdica anomenada iatroquímica o química mèdica, que es proclama experimental dins el marc justificatiu de la màgia natural. Els metges iatroquímics defensen l'experimentació i l'observació directes i les noves pràctiques que se'n deriven, com l'ús de medicaments químics. Intenten configurar una sola *manera de mirar* els fenòmens relacionats amb el canvi dels materials i amb el control d'aquest canvi (inclosos els que es produeixen en els éssers vius, com la respiració, la digestió, la mort...). Per exemple, consideren que tots els materials estan formats per tres principis, associant-los a propietats que els químics consideren importants: la sal, que dóna la solubilitat i la capacitat de cristal·litzar, el sofre, que fa que els cossos siguin combustibles, o el mercuri, responsable de la fusibilitat i la fluïdesa. Aquesta atenció a les propietats condueix a identificar mixtures que es poden obtenir repetidament i que formen part dels nous medicaments.

La *Basilica Quimica* d'O. Croll (1608) es pot considerar el darrer llibre de la química renaixentista vinculada a la màgia

natural. L'epistemologia d'O. Croll integra la medicina paracelsista i la filosofia hermètica a través de la seva doctrina de la Paraula en la natura, revelada per la llum de la natura, i la Paraula encarnada en Crist, que és revelada al metge pietós per la llum de la gràcia. Andreas Libavius s'oposa a aquesta concepció de Croll i dels alquimistes i iatroquímics paracelsistes, tot i que està molt interessat per les seves aportacions pràctiques. Per a Libavius, l'epistemologia de Croll és individualista i obscurantista. Escriu el llibre *Alchemia*, publicat el 1597 i reeditat el 1606, per rebatre Croll i per presentar la doctrina química (que és la del mateix Croll!) de tal manera que la comunicació sigui possible. Per aconseguir-ho, selecciona els temes més importants de la química: les operacions químiques i les substàncies (Hannaway, 1975).

A partir d'aquest moment es divulga el nom de *química*. El Renaixement ha deixat una gran herència: l'experimentació directa i l'ús d'instruments que fan que els productes *artificials* siguin tan dignes d'estudi com els naturals, perquè tots segueixen les mateixes lleis en un Cosmos unificat.

## La consolidació de la química de les substàncies: de Béguin a Lavoisier

L'obra de Jean Béguin mostra les característiques del nou període que trenca ja amb la màgia natural, però que n'aprofita l'orientació pràctica.

Analitzarem ara un petit extracte corresponent al llibre *Tyrocinium Chemicum* (1610) (traduït al francès amb el títol *Éléments de chimie*), que mostra la precisió del treball pràctic i teòric de Béguin. És un fragment de l'apartat que porta per títol: «Una altra calcinació de l'antimoni, anomenada pólvores emètiques o mercuri de vida», que mostra com es representen els químics farmacèutics la reacció química:

«Pren quatre unces d'antimoni polvoritzat i vuit unces de mercuri sublimat, mescla-ho tot i destil·la-ho en una retorta sobre un foc de cendres, adaptant-hi un recipient mig ple d'aigua, després augmenta gradualment el foc i si el licor (que és com una goma o una mantega) queda enganxat al coll de la retorta, fes-lo lliscar amb una brasa; i quan es trobi amb l'aigua precipitarà en forma de pols blanca [...] Després d'això,

vés donant a poc a poc foc de supressió (que es fa amb brases col·locades sobre sorra o cendres que cobreixen la retorta) [...] fins que el cinabri sublimarà al coll de la retorta [...] Després es farà digerir durant tota la nit la pols precipitada fins que quedi sense acrimònia, renta-la amb aigua cordial i asseca-la a foc molt lent...

» [...] No puc deixar de sorprendre'm quan molts savis, que demostren no ésser experts, opinen que aquesta pols emètica prové del mercuri sublimat i no del règul d'antimoni. Perquè jo he demostrat a tothom qui ha visitat el meu petit laboratori, fonamentant-me en l'experiència (perquè no admeto cap altra raó, en aquest art), que la pols emètica no és altra cosa que el règul d'antimoni, dissolt i calcinat per l'esperit vitriòlic del sublimat [...] Jo dic que l'esperit vitriòlic té una gran simpatia pels metalls [...] I com que el règul d'antimoni té més naturalesa metàl·lica que el mercuri, en destil·lar el mercuri sublimat amb l'antimoni, l'esperit vitriòlic del sublimat deixa el mercuri i s'uneix al règul d'antimoni. I, sentint-se pressionat i desplaçat per la calor del foc, dissol i calcina el règul i passa en forma de licor gomós o oliós pel bec de la retorta. En la retorta no queda més que el mercuri del sublimat i el sofre de l'antimoni: com que tenen una gran simpatia l'un per l'altre, en escalfar-los se sublimen conjuntament al coll de la retorta formant cinabri. La meva conclusió, a partir d'aquestes experiències infal·libles, és que la pols emètica no és més que el règul d'antimoni calcinat per l'esperit vitriòlic que hi ha en el sublimat.»

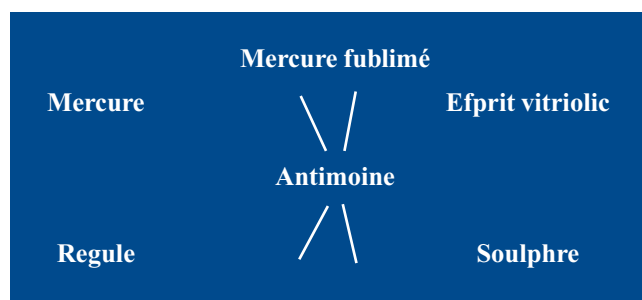


FIGURA 1.

L'esquema amb el qual Béguin il·lustra l'argumentació és la primera equació química de la història amb la qual es fa un balanç del procés segons la tradició emergent de les *substàncies* que donarà lloc a la química moderna.<sup>1</sup> Ell es representa

1. Béguin descriu el canvi que es produeix quan reaccionen el «mercuri sublimat» (el nostre clorur de mercuri (II)) i l'antimoni (el nostre sulfur d'antimoni).

el mercuri sublimat «com si estigués format per mercuri i un àcid», i l'antimoni, «com si estigués format per règul d'antimoni (el nostre antimoni) i sofre». Com veiem, li resulta ben evident que hi ha unes *substàncies* ben identificades i que n'hi ha algunes (el cinabri, el mercuri sublimat, l'antimoni i les *pólvores emètiques*<sup>2</sup> que són més compostes que unes altres (el mercuri, el sofre, el règul d'antimoni, l'esperit vitriòlic), que són més simples. Per això es representa el *canvi químic*<sup>3</sup> com un intercanvi d'aquestes substàncies simples, totes ben conegudes per ell; ja no es parla de transmutació, sinó d'una reordenació especial, química, i els suposats ingredients simples de les substàncies compostes només serveixen per portar el compte del que tenim i, així, poder preveure que se'n pot obtenir en canvis posteriors.

L'explicació atòmica, de moda entre els científics renovadors,<sup>4</sup> permet imaginar com s'efectua el canvi (aquesta serà l'aportació de Newton, uns anys més tard<sup>5</sup>). Els arguments químics més rellevants proposats en suport de la teoria atòmica es basaven en proves a partir de la recuperació dels components d'un compost; per exemple, la del coure a partir del vitriol (sulfat de coure), que permetia suposar que existien àtoms de coure permanents. Però aquests arguments no constituïen en cap cas una prova experimental: l'experimentació seguia la lògica de la pràctica i no la dels àtoms, que no es podien conèixer. Els àtoms s'anaven fent compatibles amb la química de les substàncies a mesura que es consolidava i trobava les seves pròpies lleis (Meinel, 1988).

Així, no és la filosofia mecànica (l'atomisme) la teoria que ajuda la química, sinó una altra de més genuïna, basada en el

concepte de substància i d'element i que va donar lloc a la teoria de les afinitats i a les lleis estequiomètriques.

### *Les taules d'afinitat i la química dels gasos*

Les idees de Newton (1642–1727) sobre química, exposades a les qüestions 30 i 31 de l'*Òptica*, van influir molt en la mentalitat dels químics. Newton interpreta el fenomen del desplaçament d'uns metalls per altres (del coure pel ferro, per exemple, ben conegut de feia temps i que havia estat interpretat correctament per Sennert<sup>6</sup>) en termes d'atraccions més o menys fortes, però permanents, entre les partícules constituents. Aquesta manera de veure el canvi químic, que no contradiu la descripció de Béguin sinó que la complementa, va tenir una influència enorme i les reaccions químiques es van començar a interpretar com a atraccions i desplaçaments entre uns cossos simples que s'unien per formar-ne d'altres de més compostos.

El 1728, E. F. Geofroy l'Ainé (1672–1731), fill d'un apotecari de París (i ell mateix químic i metge), publica una «Table de rapports» (1718) al llibre de memòries de l'Académie, que li permet ordenar les dades de reactivitat química i formular com a conseqüència una «Llei dels desplaçaments» que es va desenvolupant fins a donar lloc a la «Teoria de les afinitats o atraccions electives». Aquesta teoria va ésser utilitzada per explicar les reaccions químiques fins al començament del segle XIX. (Vegeu la «Table des rapports» a la figura 2.)

A la Taula no hi ha encara cap substància simple gasosa,<sup>7</sup> però sí que hi apareix el *flogist* o principi inflamable,<sup>8</sup> la recerca del qual va portar a aprendre com *capturar gasos* amb les «tram-

2. En altres farmacopees, rebia el nom de mantega d'antimoni.

3. No se li dona encara aquest nom.

4. P. Gassendi (1592–1655) va traduir, comentar i interpretar el llibre de Lucreci De rerum Natura, que revivia l'atomisme de Demòcrit fent-li perdre les connotacions atees que tenia. L'atomisme de Gassendi va ésser rebut amb un gran interès pels filòsofs naturals, perquè permetia una representació clara i racional dels canvis materials, que coincidia també amb la visió mecanicista del funcionament del món que s'anava imposant.

5. Les qüestions 30 i 31 de l'*Òptica* i les dues pàgines de De Natura Acidorum de Newton es dediquen a la química, partint del supòsit que els materials estan fets de partícules dotades de principis que les fan actives. Tot i que no s'hi aprofundeix gaire, les partícules estan fetes de materials irreductibles els uns als altres: terra, aigua. La primera edició de l'*Òptica* va aparèixer el 1704 i la darrera, amb anotacions de Newton, el 1730.

6. Amb això, Sennert rebutjava la interpretació derivada de la percepció directa, que sembla indicar que el ferro s'ha transmutat en coure.

7. En la química del segle XVII no es considerava l'existència de substàncies gasoses: l'aire era l'únic material amb aquestes peculiars propietats i podia absorbir emanacions dels cossos, però no intervenir químicament en els processos. J. B. Van Helmont (1577–1644), un metge que vivia a Brussel·les, va ésser el primer a identificar un nou aire, l'Esperit Silvestre (l'actual diòxid de carboni), observant el procés de fermentació de la malta en una fàbrica de cervesa i va utilitzar per primera vegada la paraula gas.

8. El flogist forma part de la teoria de Stahl, que modifica la dels tres principis donant-los noms que no es puguin confondre amb substàncies reals i hi afegeix l'aigua. Els quatre principis de Stahl són la terra mercurial, la terra inflamable o flogist, la terra vítria i l'aigua.

**TABLE DES DIFFERENTS RAPPORTS**  
observés entre différentes substances

↔	⊖	⊙	⊕	▽	⊕	⊕	SM	♁	♀	♁	♀	☾	♂	♁	▽
⊕	♁	♂	♁	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊙	☾	♀	♁	♁	♂	♁
⊕	♁	♀	⊕	⊙	⊙	⊙	⊕	♂	☾	♀	PC	♀	♁	♁	⊕
▽	♀	♁	⊕	⊕	⊕	⊕	⊙	♁	♁						
SM	☾	♀	▽		♁		♁	♁	♀						
	♀	☾	♂		♁			☾	♁						
			♀					♁	♁						
			☾					♀							
	⊙							⊙							

- ↔ Esprits acides .
- ⊖ Acide du sel marin .
- ⊙ Acide nitreux .
- ⊕ Acide vitriolique .
- ⊕ Sel alcali fixe .
- ⊕ Sel alcali volatil .
- ▽ Terre absorbante .
- SM Substances metalliques .
- ♀ Mercure .
- ♁ Regule d'Antimoine .
- ⊙ Or .
- ☾ Argent .
- ♁ Cuivre .
- ♂ Fer .
- ♁ Plomb .
- ♁ Etain .
- ♁ Zinc .
- PC Pierre Communaire .
- ♁ Soufre mineral .
- ♁ Principe huileux ou SoufrePrincipe
- ♁ Esprit de vinaigre .
- ▽ Eau .
- ⊕ Sel .
- ♁ Esprit de vin et Esprits ardents

FIGURA 2.

pes pneumàtiques inventades per Hales i utilitzades amb èxit pels químics».<sup>9</sup>

La Taula de Geoffroy va donar lloc a altres taules similars, entre les quals les més importants són les de Torbern Bergmann (1735-1784) (professor de química i rector de la Universitat d'Uppsala), on apareix ja el nostre diòxid de carboni, i també el flogist. Bergmann confegeix dues taules diferents, en les quals figuren més de 30.000 reaccions químiques: en l'una s'ordenen les reaccions per via seca i en l'altra es recullen les reaccions en solució.

*Els «elements», segons Lavoisier*

Un cop acceptada ja l'existència de substàncies gasoses, totes les quals amb massa, el flogist, l'única substància amb massa negativa, es feia cada vegada més incòmode fins que Lavoisier va proposar prescindir-ne. D'aquesta manera els experiments de J. Priestley, a Anglaterra, i K. Scheele, a Suècia, que havien identificat la part de l'aire que intervé en la combustió anomenant-la, respectivament, *aire desflogitzat* i *aire del foc*, van permetre a Lavoisier d'identificar l'*aire vital* (que serà finalment l'oxigen o *generador d'àcids*) i, finalment, declarar la guerra al flogist.<sup>10</sup>

9. Per J. Black (1723-1799), per exemple.

10. Abans de poder-ho fer, Lavoisier va haver de conèixer els experiments de Caven-

TAULA DE LES SUBSTÀNCIES SIMPLES		
	Noms Nous	Noms antics corresponents
Substàncies simples que pertanyen als tres regnes i que es poden considerar els elements dels cossos.	Llum ... ..	Llum Calor Principi de la calor Fluid igni Foc Matèria del foc i de la calor
	Calòric ... ..	Aire deflogisticat Aire empiri Aire vital Base de l'aire vital
	Oxigen ... ..	Gas flogisticat Mofeta Base de la mofeta
	Nitrogen ... ..	Gas inflamable Base del gas inflamable
	Hidrogen ... ..	Sofre
Substàncies simples no metàl·liques, oxidables i acidificables.	Fòsfor ... ..	Fòsfor
	Carboni ... ..	Carbó pur
	Radical muriàtic ... ..	Desconegut
	Radical fluòric ... ..	Desconegut
	Radical bòric ... ..	Desconegut
Substàncies simples metàl·liques, oxidables i acidificables.	Antimoni ... ..	Antimoni
	Arsènic ... ..	Arsènic
	Bismut ... ..	Bismut
	Cobalt ... ..	Cobalt
	Coure ... ..	Coure
	Estany ... ..	Estany
	Ferro ... ..	Ferro
	Manganès ... ..	Manganesa
	Mercuri ... ..	Mercuri
	Molibdè ... ..	Molibdena
	Níquel ... ..	Níquel
	Or ... ..	Or
	Plata ... ..	Plata
	Platí ... ..	Platina
	Plom ... ..	Plom
Tungstè ... ..	Tungstena	
Zinc ... ..	Zinc	
Substàncies simples salificables, terroses.	Calç ... ..	Terra calcària, calç
	Magnèsia ... ..	Magnèsia, base de la sal d'Epsom
	Barita ... ..	Barot, terra pesant
	Alúmina ... ..	Argila, terra d'alum, base de l'alum
	Silice ... ..	Terra silícia, terra vitrificable

FIGURA 3.

A partir d'aquell moment, Lavoisier consolida la química de les substàncies amb una nova teoria dels elements o principis dels cossos, que són les *substàncies simples* o substàncies que encara no han estat descompostes.<sup>11</sup> Ho va fer de manera

dish de síntesi i descomposició de l'aigua; Lavoisier creia que el gas que ell mateix va anomenar hidrogen podia ésser flogist i ell mateix no havia aconseguit identificar l'aigua com a producte final de la combustió de l'hidrogen.

11. Els quatre elements i els quatre principis ja no s'utilitzaven en la pràctica química, però tenien encara un significat teòric, que perden en aquest moment.

gens traumàtica, col·locant simplement en una llista els caps de columna de les taules d'afinitats i consolidant així el concepte de *substància més simple que d'altres* que ja havia insinuat Béguin. Malgrat que és poc creïble que les trenta-tres substàncies simples de la taula de Lavoisier (figura 3) siguin els *elements de tots els materials*, s'imposa el pragmatisme que ja practicaven els químics des de Béguin. *La química de l'oxigen* i el nou concepte d'element, identificat a *substància simple*, van permetre analitzar la composició de les substàncies en termes dels seus *elements* i, a mesura que les dades experimentals es perfeccionaven cada vegada més, enunciar noves lleis estequiomètriques (Izquierdo, 1997; Paneth, 1962).

La teoria clàssica d'afinitats deixa de constituir el marc teòric de la química perquè les aportacions de Berthollet, que la desenvolupa, entren en polèmica amb l'estequiometria i són deixades de banda (Grapí i Izquierdo, 1997).

## Reflexió final: dels «àtoms químics» a la nova química quàntica

Amb la química de les substàncies ja consolidada, emergeix una determinada concepció d'àtom genuïnament química, gràcies a la teoria atòmica de Dalton, que Berzelius i altres faran funcionar fins que l'àtom químic esdevindrà la unitat de mesura de la magnitud pròpia de la química: la quantitat de substància (Izquierdo, en tràmit de publicació; Rocke, 1984). En el congrés de Karlsruhe (1860) i gràcies a les aportacions de Cannizzaro,<sup>12</sup> es va disposar d'una taula de masses atòmiques definitives, que va permetre dues aportacions més, importantíssimes i relacionades entre elles: la consolidació definitiva de la teoria de *valència* de Frankland i de Kekulé i la classificació periòdica dels elements de Mendelejev i de Meyer. Ambdues, plegades, aporten un nou concepte d'element, diferenciat del de substància simple, perquè se li poden atribuir propietats, com la valència, que no pertanyen a cap substància en concret. Amb tot això, els àtoms reals, encara desconeguts, són cada vegada més creïbles.

12. Hi ha una traducció del *Sunto di un corso di chimica* feta per Lluís Blancafort el 1992 a partir de la traducció alemanya que va ésser més divulgada, que no ha estat publicada encara.

La història de la *química de les substàncies* podria acabar amb Mendelejev. En efecte, l'atomisme actual és ja molt diferent. Podríem preguntar-nos com és que totes les aportacions de la química del segle XIX s'han pogut mantenir després dels descobriments de la radioactivitat, dels raigs anòdics i catòdics, de les noves espectroscòpies d'infraroigs, de masses... La meua opinió és que la química era ja tan important, que les noves aportacions experimentals es van haver d'interpretar segons *manava* la química... i va ésser la física la que va haver de canviar els seus plantejaments.

La mecànica quàntica és ara la nova *explicació* de la química; però, com passava amb l'explicació atòmica del segle XIX, per donar-li sentit cal contrastar-la constantment amb l'experimentació *de les substàncies*. L'aportació nova i importantíssima són els nous instruments que permeten, ara sí, conèixer directament interaccions a nivell de partícules constituents dels materials.

Jo crec que encara estem en la mateixa tradició *de les substàncies*, però iniciant una etapa de desenvolupament nova, en la qual és fonamental el concepte de *sistema químic*. D'altra banda, l'aportació fonamental de la mecànica quàntica és la nova tecnologia a partir de la qual mesurem interaccions entre les partícules constituents dels materials i per això caldria que l'ensenyament de la química estigués més vinculat a la tecnologia, especialment pel que fa a la descripció de les estructures internes de les substàncies.

## Bibliografia

- GRAPÍ, P.; IZQUIERDO, M. (1997). «Berthollet's conception of chemical change in context». *Ambix*, núm. 44 (3), p. 113-130.
- GYUNNG KIM, M. (1992). «Layers of chemical language. I. Constitution of bodies v. structure of matter». *His. Sci.*, núm. XXX, p. 69-96.
- HANNAWAY, O. (1975). *The Chemist and the Word*. Baltimore i Londres: J. Hopkins University Press.
- IZQUIERDO, M. (1997). «El somni de Lavoisier». A: *Actes de les III Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. Barcelona: SCHCT, IEC, p. 365-376.
- (en tràmit de publicació). «La emergencia de la explicación cuantitativa en química». A: *Actas del Congreso de la Sociedad Española de Historia de la Ciencia y de la Técnica*.
- MEINEL, C. (1988). «Early seventeenth century atomism. The-

ory, epistemology and the insufficiency of experiment». *Isis*, núm. 79, p. 68- 103.

PANETH, F. A. (1962). «The epistemological status of the chemical concept of element» (I i II). *British Journal for the Philosophy of Science*, núm. 49, p. 1-14; núm. 50, p. 144-160.

ROCKE, A., 1984. *Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro*. Columbus. Ohio State University Press.