

# De com els químics varen començar a parlar d'àtoms: el corpuscularisme de la química del segle XVIII com a preludi de l'atomisme químic de Dalton

How chemists began to talk about atoms: the chemical corpuscularism of the 18th century as a prelude to Dalton's chemical atomism

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



## resum

La ubiqüitat de la teoria atòmica en l'ensenyament de la química, a certs nivells elementals, és un tema qüestionable per a una adequada comprensió dels fenòmens químics. Conèixer com els químics del segle XVIII varen fer seva una imatgeria corpuscular pels materials amb què treballaven, com aquesta imatgeria va permetre una interpretació limitada dels canvis químics, com aquells mateixos químics varen ser capaços de superar aquestes limitacions amb un discurs alternatiu i, finalment, conèixer com Dalton va concebre a principi del segle XIX la seva teoria atòmica química pot aportar elements per complementar un debat sobre el posicionament didàctic de la teoria atòmica en l'ensenyament de la química.

## paraules clau

Atomisme químic, ensenyament de la química, història experimental, corpuscularisme.

## abstract

The ubiquity of atomic theory in chemistry teaching in certain elementary levels is a debatable issue for an adequate understanding of chemical phenomena. Knowing how 18th century chemists endorsed a corpuscular imagery for the materials with which they worked, how such imagery enabled a limited interpretation of chemical change, how those same chemists were able to overcome these limitations with an alternative discourse and, finally, knowing how Dalton conceived, in the early 19th century, his chemical atomic theory may bring additional elements for discussion about the didactical positioning of the atomic theory in the teaching of chemistry.

## keywords

Chemical atomism, teaching chemistry, experimental history, corpuscularism.

## Introducció

La concepció corpuscular de la matèria ha esdevingut un recurs omnipresent en l'ensenyament de la química a nivells elementals. L'aplicació del principi de conservació de la matèria en una reacció química, és a dir, la igualació d'una equació química, es realitza

mitjançant un balanç dels àtoms de cadascun dels elements en joc en la reacció. Les lleis de les proporcions constants i múltiples de combinació se solen presentar com a corol·laris de la teoria atòmica de Dalton. El concepte *mol de partícules* (àtoms, molècules, ions i, fins i tot, electrons) es

troba a la base dels càlculs estequiomètrics. Els canvis químics s'interpreten com una mera reordenació de partícules (àtoms i/o ions) dels reactius que reapareixen en els productes, sense poder explicar satisfactòriament l'emergència de propietats noves en aquests últims.

## La química del XVIII no va ser exclusivament ni una història natural ni una filosofia experimental. L'estudi i la pràctica de la química d'aquella època s'entenen millor en el context d'una història experimental constituïda per la col·lecció d'experiments que exhibien, alteraven i preparaven els materials naturals

No obstant això, val a dir que el principi de conservació de la matèria ja era acceptat i utilitzat pels químics abans que Lavoisier l'explicités el 1789, i que la formació de compostos en proporcions constants era una creença fermament arrelada entre els químics abans que Proust la presentés formalment entre els anys 1795 i 1797. Tot això, evidentment, abans que Dalton fes pública la seva teoria atòmica. De la mateixa manera, fins a mitjan segle XIX, coincidint amb el desenvolupament de l'esmentada teoria atòmica, els químics podien realitzar determinats càlculs estequiomètrics sobre la base del concepte *pes equivalent*, popularitzat per Wollaston el 1814.

Aquest article pretén proporcionar una perspectiva històrica entorn d'aquests temes amb la intenció de col·laborar a fer una valoració de les fortaleses i febleses de la teoria atòmica per a l'ensenyament de la química. Per això, primer, situarem la pràctica de la química durant el segle XVIII en la tradició de la història experimental. Segon, es constatarà la persistència, implícita o explícita, d'una imatgeria corpuscular en

l'esquema mental dels químics d'aquell període. Tercer, mostrem com la interpretació dels canvis químics va sobrepassar les limitacions d'aquest corpuscularisme latent i, finalment, es contextualitzarà la gestació de la teoria atòmica de Dalton a principi del segle XIX a través del seu quadern de laboratori i s'apuntaran alguns dels reptes que va haver d'afrontar.

### Aproximacions a l'estudi de la natura al segle XVIII. La posició de la química

A tall de simplificació, es poden destacar al llarg del segle XVIII dues grans aproximacions a l'estudi de la natura: d'una banda, l'aproximació de la història natural, basada en l'observació de plantes, animals, roques, minerals, accidents geogràfics, formacions i fenòmens atmosfèrics. Aquests naturalistes, a més de col·leccionar espècies animals, vegetals i minerals per descriure'ls i ordenar-los en els gabinets, podien utilitzar instruments (com ara lupes o microscopis) per apreciar diminuts espècimens, les fines estructures d'animals i vegetals, així com cristalls. El tret distintiu d'aquesta aproximació era observar i col·leccionar objectes creats i distribuïts per la natura.

L'altra aproximació seria la de la filosofia natural, que va créixer impulsada pel newtonianisme, tot i que amb diferents matisos. El newtonianisme no va ser una doctrina uniforme, sinó que va permetre diferents interpretacions: des de focalitzar l'atenció en les formulacions matemàtiques per estudiar la natura, representada pels *Principia* del 1687, fins a centrar-se en l'observació i l'experimentació, representada per l'*Opticks* del 1704 (Crosland i Smith, 1978). Aquesta darrera aproximació, la filosofia experimental, es

fonamentava en l'ús d'instruments (bomba de buit, màquines elèctriques, termòmetres, baròmetres...) i en la intervenció sobre la natura per distorsionar-la o manipular-la, i així forçar la manifestació d'entitats ocultes i imperceptibles. El filòsof experimental es dedicava, doncs, a construir fenòmens desconeguts fins aleshores tot establint relacions causals entre aquests fenòmens i uns objectes d'estudi imperceptibles (el buit, forces o afinitats, corpuscles, fluids elèctrics, èters...).

La química del XVIII no va ser exclusivament ni una història natural ni una filosofia experimental. L'estudi i la pràctica de la química d'aquella època s'entenen millor en el context d'una història experimental constituïda per la col·lecció d'experiments provinents de les arts, com ara l'agricultura, la cuina, la química, el tintatge, les manufactures del vidre o l'esmaltat, i manufactures diverses, com la del sucre, la pólvora, els focs d'artifici o el paper, que exhibien, alteraven i preparaven els materials naturals (Klein, 2003, p. 538-543).

Robert Boyle (fig. 1), un seguidor incondicional de Bacon, va tenir força interès a demarcar la història experimental de la filosofia experimental, i va fer èmfasi en el punt crucial de la història experimental: no buscar ni una unitat conceptual ni articular explicacions i especulacions a partir de moviments ocults o altres causes. Encara més, l'èmfasi en la importància atorgada als artefactes tècnics i les operacions artesanals en la narració de les històries experimentals es va incrustar en un altre moviment cultural, aleshores en marxa, que valorava el paper que desenvolupaven els mètodes i els èxits dels artesans en l'adquisició de coneixement sobre la natura.



Figura 1. The Shannon Portrait of the Hon. Robert Boyle (1627-1691), pintat per Johann Kerseboom.

Així, doncs, la química va adoptar l'estil d'una història experimental, interessada en fenòmens que proporcionava la intervenció en la natura. Els químics s'interessaven en la preparació, els usos pràctics i les propietats de les substàncies (color, olor, gust, consistència, propietats físiques mesurables i químiques en general), i aprofitaven tots els espais pràctics possibles, des dels artesanals i els de la vida quotidiana fins als laboratoris més acadèmics. En definitiva, una extensió dels objectes de la història natural al laboratori. Els seus objectius no eren ni les causes ocultes ni les entitats imperceptibles, sinó la

dimensió perceptible dels materials i les operacions químiques. No es buscava un coneixement filosòfic dels materials, sinó de les seves varietats, propietats, transformacions químiques i usos pràctics (Klein i Lefèvre, 2007, p. 22-26).

Ara bé, això no vol dir que els químics del XVIII només estudiesin les substàncies com a objectes perceptibles i en el context de la història experimental i de les millores tecnològiques, sinó també com a objectes naturals que disposaven d'una certa dimensió imperceptible. Es tractava de fer una reflexió des de la perspectiva de la química sobre hipotètics components de les

substàncies, les afinitats recíproques i els seus moviments ocults en les reaccions químiques. Aquesta reflexió, tot i desenvolupar-se en el context de les pràctiques artesanals i experimentals, no va restar pas desconnectada de la reflexió més filosòfica (de caire atomístic o corpuscularista), que prenia en consideració un coneixement sensorial no sempre determinat per l'observació i l'experimentació.

### La visió corpuscular de la matèria. Una imatge persuasiva per a la interpretació dels canvis químics

La tradició mecanicista va afavorir l'explicació dels fenòmens observables en termes de mecanismes materials que podien visualitzar-se de forma semblant als mecanismes dels instruments, màquines o aparells de la vida quotidiana, que funcionaven sense cap recurs immaterial o misteriós, obeint determinades lleis encara per descobrir. Si bé és cert que el declivi del sistema aristotèlic (contrari a una concepció corpuscular de la matèria) a la primera meitat del segle XVII va coincidir amb l'auge de les teories mecanicistes, hi ha altres factors que faciliten una comprensió més àmplia de la seva espectacular acceptació. Així, el redescobriments durant el segle XV de textos dels atomistes grecs (Demòcrit i Epicur), del poema de Lucreci *De rerum natura* (segle I aC) i l'aparició de traduccions en llatí i en llengües vernacles de la *Pneumàtica* d'Heró van posar a l'abast dels pensadors del segle XVII els textos de referència del mecanicisme corpuscularista. A més, el desenvolupament de la doctrina dels *minima naturalia* (originada pels comentaristes d'Aristòtil) va donar lloc a unes entitats, els *minima*, que, en representar les parts més petites d'un cos capaces de retenir totes les seves

proprietats, van proporcionar arguments suficients per consolidar una visió corpuscular de les substàncies.

Per entendre millor com s'interpretava el canvi químic des del mecanicisme, és millor acudir, precisament, als químics que van adoptar aquesta orientació en les seves obres. En concret, l'obra de Nicolas Lémery (fig. 2) és particularment representativa, atès que el seu principal text, el *Cours de chymie*, va tenir un èxit notable i va exercir una gran influència en altres pensadors. La primera edició va aparèixer el 1675 i fins a la darrera edició francesa, del 1757, es pot dir que no tan sols França, sinó també una gran part d'Europa, va aprendre química gràcies a aquest text.

En aquest text, els àlcalis, definits com a substàncies que reaccionen amb els àcids provocant efervescències, estaven formats per partícules poroses. D'altra banda, els àcids estaven formats per partícules que es diferenciaven per l'agudeses de les seves puntes. La diferència entre els diversos àlcalis s'atribuïa a la diferència dels seus porus, i perquè un àcid reaccionés amb un àlcali havia d'existir una proporció entre les puntes de l'àcid i els porus de l'àlcali. La reacció de neutralització entre un àcid i un àlcali es considerava com un combat entre dues substàncies diferents i oposades per les formes de les seves partícules que acabava amb l'aniquilació dels combatents.

La influència dels filòsofs mecanicistes francesos, particularment Gassendi, va ser notable en l'obra de Robert Boyle, filòsof natural anglès generalment conegut per la llei sobre el comportament dels gasos a temperatura constant. Una de les principals contribucions de Boyle a la química va ser el continuat esforç per elevar l'estatus de la



Figura 2. Nicolas Lémery (1645-1715), segons el gravat de N. Pitau.

química tot emfatitzant la seva utilitat per la filosofia natural. El mecanicisme era la doctrina que estava en voga entre els filòsofs naturals anglesos del segle XVII, i Boyle va creure que el fet de presentar els fenòmens químics en termes d'accions purament mecàniques constituïria un argument prou persuasiu per aconseguir l'acceptabilitat de la química en el cercle de la filosofia natural. A pesar d'admetre que els cossos diferien fonamentalment en les afeccions mecàniques de les seves partícules constituents, no va confiar en les propietats mecàniques d'aquestes partícules per explicar les qualitats químiques dels cossos. Per això Boyle va recórrer més aviat a

partícules compostes dotades de propietats mecàniques, a més de químiques. En relació amb els canvis químics, Boyle tampoc no va dubtar a rebutjar interpretacions animistes o metafísiques. No obstant això, va arribar a admetre l'existència d'una certa base empírica per la idea que allò semblant s'uneix amb el seu semblant, sense arribar a acceptar, però, que això suposés una explicació de la seva combinació. Més aviat al contrari: Boyle era partidari d'una explicació nítidament mecanicista del canvi químic.

Caldria preguntar-se en aquest punt si el mecanicisme va ser rellevant per interpretar millor el canvi químic. Primer de tot, cal

constatar que la concepció de la matèria en termes de partícules no va constituir un obstacle cognitiu important per als químics. De fet, aquesta concepció va estar sempre present d'una manera més o menys explícita en els seus escrits i els va ser d'una certa utilitat en alguns aspectes. La creença en la naturalesa corpuscular de la matèria els va proporcionar, sens dubte, una imatge mental prou persuasiva del decurs de les reaccions químiques com per acceptar que les partícules retenien les seves característiques, inclòs el pes, durant la reacció. En contrapartida, l'objectiu dels químics mecanicistes d'intentar explicar els canvis químics a partir únicament de la forma i el moviment de les partícules de les substàncies amb prou feines va poder realitzar-se. Les seves interpretacions del canvi químic van resultar massa simples, tosques i arbitràries, i encara que es van poder utilitzar retrospectivament per explicar qualsevol reacció coneguda, no van ser gaire útils a l'hora de predir reaccions desconegudes. Malgrat tot, la filosofia mecanicista encara havia de prestar un últim gran servei a la ciència en general i a la química en particular. Efectivament, l'obra de Boyle va tenir un més que notable efecte en el pensament d'Isaac Newton. Aquesta influència va ser tan determinant en l'evolució de les doctrines químiques que, gràcies a Newton, manifestarien un profund i fructífer canvi d'orientació durant el segle XVIII (Grapí, 2012, p. 27-36).

### La constitució de l'atmosfera en l'origen de l'atomisme químic de Dalton

A final del segle XVIII, es pot afirmar que la majoria dels químics s'imaginaven que la matèria consistia en partícules invisibles i concebien els canvis

químics com la separació i recombinació d'aquestes partícules. Aquestes creences no sempre s'explicitaven en aquests termes i, sovint, es preferia descriure la tangibilitat de les substàncies destacant-ne l'homogeneïtat. No obstant això, les descripcions d'aquestes substàncies podien passar fàcilment al nivell de l'estructura íntima intangible sense necessitat de justificació. Així, per exemple, Lavoisier, en el «Discours préliminaire» del seu *Traité élémentaire de chimie*, del 1789, es va mostrar escèptic sobre l'existència d'unes últimes partícules en la composició de les substàncies. Tanmateix, en el decurs del text, en tractar aspectes teòrics, no va poder evitar referir-se a les «parts», «parts integrants» o «molècules» dels cossos, la qual cosa evidència no tan sols que aquestes entitats formaven part del seu discurs, sinó també de la seva imatgeria de creences (Duncan, 1988, p. 450-451). Així, doncs, els filòsofs naturals del segle XVIII varen assumir que cada substància elemental estigués formada per partícules idèntiques entre si però diferents de les d'una altra substància elemental. El mèrit d'articular aquest supòsit per assignar pesos relatius a aquestes partícules i per adjudicar fórmules als seus compostos es deu a John Dalton.

Dalton va ser un filòsof natural interessat al llarg de la seva vida per la meteorologia i la física dels gasos i, en particular, per qüestions com ara l'estat de vapor d'aigua en l'aire o per què l'atmosfera no se separava en capes dels seus components gasosos d'acord amb les seves densitats. A principi del 1793, Dalton va argumentar que l'aire era una barreja íntima dels seus components gasosos constituït per petites partícules que, d'acord amb les idees de Newton, es

repel·lien entre si. Va ser aleshores que Dalton va intentar reconciliar la teoria química predominant sobre l'estructura i composició de l'atmosfera amb les forces repulsives de Newton entre les partícules atmosfèriques.

Aquestes forces de repulsió s'atribuïen a un embolcall de calor que cobria el nucli central de la matèria sòlida de cada partícula de gas. Inicialment, Dalton va proposar ampliar aquest embolcall de calor de les partícules més pesants per tal de fer-les més grans i, per tant, menys denses. La grandària de l'embolcall de calor al voltant del nucli dur de cada partícula era el que en proporcionava la mida real. Va ser defensant i elaborant les seves idees sobre la constitució de l'atmosfera que Dalton va concebre la seva teoria atòmica química.

Deu anys més tard, cap al mes de març de 1803, Dalton estava ocupat en les seves recerques sobre els òxids de nitrogen en relació amb l'assaig de l'aire nitrós (òxid nítric, NO) per determinar el percentatge d'oxigen a l'atmosfera. La base d'aquest assaig era la reacció de l'òxid nítric amb l'oxigen. Abans del 4 d'agost de 1803, Dalton va descobrir que la reacció podria tenir lloc en dues proporcions diferents, i es va referir a aquest parell de proporcions com un exemple clar de les proporcions múltiples de combinació en un article publicat el 1805: «Els elements de l'oxigen poden combinar-se amb una certa porció de gas nitrós, o amb el doble d'aquesta porció, però no amb una quantitat intermèdia». La fig. 3 mostra les fórmules dels compostos elaborats per Dalton en el seu quadern de laboratori el 6 de setembre de 1803. Noteu que les diferents fórmules dels òxids de nitrogen reflecteixen la llei de

combinació en proporcions múltiples:

- Òxid nítrós ( $N_2O$ ).
- Gas nítrós ( $NO$ ).
- Àcid nítric (gas) ( $NO_2$ ).
- Àcid nítrós ( $N_2O_3$ ).

Va ser, doncs, investigant sobre l'assaig analític per a la determinació de la proporció d'oxigen en l'aire que Dalton va assumir les proporcions múltiples de combinació. Un dels aspectes clau per entendre el desenvolupament de les idees de Dalton va ser el de la solubilitat del gas carbònic (diòxid de carboni), un component atmosfèric que és substancialment soluble en aigua. L'estudi de Dalton de la solubilitat d'aquest gas en aigua el va dur a pensar que la solubilitat dels gasos en aigua depenia del pes i el nombre de les seves últimes partícules. D'aquesta manera va començar a indagar sobre els pesos relatius d'aquestes últimes partícules. Efectivament, les primeres notacions atomístiques varen aparèixer en el seu quadern de laboratori el 6 de setembre de 1803, sota el títol «Observacions sobre les últimes partícules dels cossos i les seves combinacions», seguides immediatament per la primera llista dels símbols atòmics de cinc elements: hidrogen, oxigen, nitrogen (azot), carboni i sofre (fig. 4).

Quatre pàgines més endavant del quadern de Dalton apareix la primera taula de pesos atòmics relatius d'aquests cinc elements, juntament amb els pesos moleculars de nou compostos. Dalton va comunicar la taula de pesos atòmics i moleculars a la Literary and Philosophical Society de Manchester el 21 d'octubre de 1803, però l'article corresponent no es va publicar (amb modificacions importants) fins al novembre de 1805. Aquest va ser el debut públic de la teoria atòmica de Dalton, tot i que desproveït del raonament que

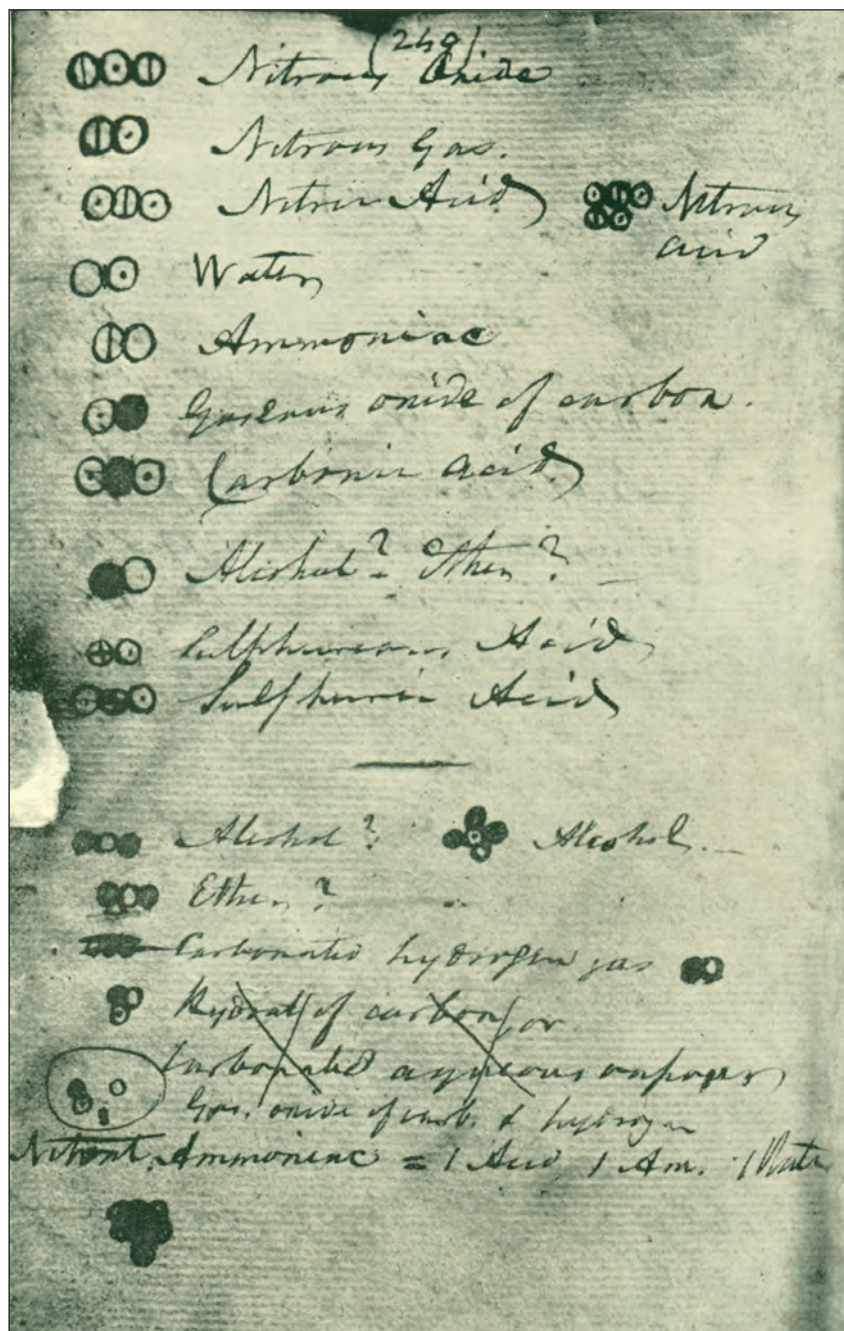


Figura 3. Fórmules figuratives de compostos elaborades per Dalton el 1803.

va conduir Dalton a aquestes particulars xifres. La fig. 5 mostra la primera taula (no publicada) de pesos atòmics de Dalton.

En el quadern de laboratori, a la plana oposada a la primera taula, del 1803, hi ha la clau d'aquest raonament per determinar el pes relatiu d'aquests àtoms. Dalton va fer ús implícit de l'anomenada *regla de la màxima simplicitat*: «Si només es coneix un únic compost de dos elements qualssevol, se suposa que les

molècules són binàries; si es coneixen dos d'aquests compostos, aleshores, el més lleuger (menys dens) és binari i l'altre, ternari». Així, per exemple, Dalton va utilitzar les dades de Lavoisier per a la composició de l'aigua (85 % d'oxigen i 15 % d'hidrogen) i, en suposar per a l'aigua una molècula binària ( $HO$ ), d'acord amb la regla de la màxima simplicitat, el pes de l'oxigen en relació amb l'hidrogen seria de  $85/15 = 5,66$ . La fig. 6 mostra la primera taula

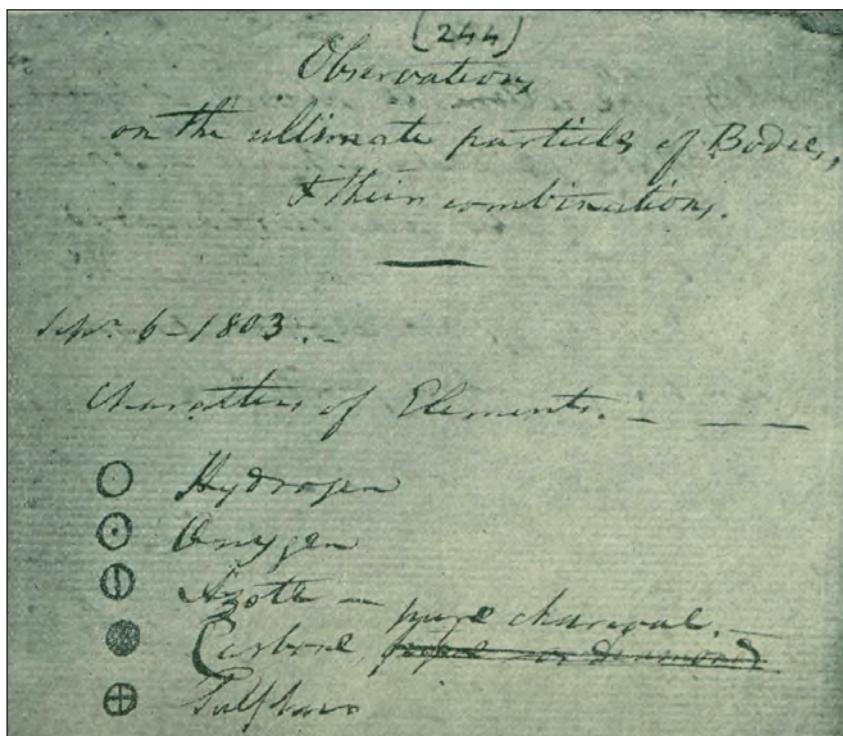


Figura 4. Primeres notacions atomístiques de Dalton, del 1803.

Substance	Atomic Weight
Hydrogen	1
Oxygen	8
Azote	5
Carbon (Charcoal)	5
Phospor	6
Ammoniac	10
Nitrous Gas	10
Nitrous Oxide	13
Nitric Acid	15
Sulphur	16
Sulphurous acid	22
Sulphuric acid	28
Carbonic Acid	15
Oxide of Carbon	10

Figura 5. Primera taula de pesos atòmics de Dalton, del 1803 (no publicada).

publicada de pesos atòmics de Dalton, del 1805.

Després que Dalton presentés la seva teoria en un seguit de conferències a Edimburg i Glasgow, la primavera del 1807, i que Thomas Thomson publicués una descripció de la teoria aquell

mateix any (*A system of chemistry*), molts químics en van començar a parlar. Més endavant, amb la publicació, el 1808, de la primera part d'*A new system of chemical philosophy*, de Dalton, la teoria entraria finalment a l'arena pública. Dalton no va poder estalviar gaire temps

de docència per dedicar-lo a la recerca i la comunicació. El desenvolupament de la seva teoria atòmica es va deixar en mans d'altres, sobretot, de Thomas Thomson i Jacob Berzelius (Pellón, 2003; Rocke, 2005).

### El congrés de Karlsruhe.

#### L'atomisme químic i les seves seqüeles, a debat

El gran desenvolupament que va experimentar la química durant la primera meitat del segle XIX havia generat algunes polèmiques teòriques que necessitaven aclariment, com ara: la definició d'àtom i molècula; l'examen de la qüestió dels equivalents i les fórmules químiques, i la instauració d'una escala de pesos atòmics estàndard i d'una nomenclatura química. Va ser l'alemany August Kekulé qui va tenir la idea de reunir químics de tot Europa en un congrés per discutir aquests importants temes de la química del moment. El congrés es va celebrar els dies 3 i 5 de setembre de 1860, a Karlsruhe.

La primera sessió del congrés va començar amb una discussió entre Kekulé i el químic italià Stanislao Cannizzaro. La identificació de les molècules físiques de la teoria cinètica dels gasos amb les molècules químiques (com la unitat més petita d'una substància que participa en una reacció química) es va convertir en una qüestió crucial del debat entre els dos químics. Kekulé posava l'èmfasi en la necessitat de distingir entre la molècula i l'àtom i, almenys en principi, entre la molècula física i la química. Per contra, Cannizzaro sostenia l'opinió que només hi havia molècules físiques i que només calia diferenciar les molècules gasoses físiques i els àtoms químics que constituïen aquestes molècules sobre la base de la llei d'Ampère-Avogadro. El químic francès Adolph Wurtz va

**T A B L E A**  
of the relative weights of the ultimate particles  
of gaseous and other bodies.

Hydrogen .....	1
Azot .....	4.2
Carbone .....	4.3
Ammonia .....	5.2
Oxygen .....	5.5
Water .....	6.5
Phosphorus .....	7.2
Phosphuretted hydrogen .....	8.2
Nitrous gas .....	9.3
Ether .....	9.6
Gaseous oxide of carbone .....	9.8
Nitrous oxide .....	13.7
Sulphur .....	14.4
Nitric acid .....	15.2
Sulphuretted hydrogen .....	15.4
Carbonic acid .....	15.3
Alcohol .....	15.1
Sulphureous acid .....	19.9
Sulphuric acid .....	25.4
Carburetted hydrogen from stag. water .....	6.3
Olefiant gas .....	5.3

Figura 6. Primera taula publicada de pesos atòmics de Dalton, del 1805.

fer veure que tothom reconeixia la utilitat de distingir entre àtom i molècula i que l'única qüestió important era, sens dubte, el significat químic d'ambdós termes. Wurtz tenia raó, és clar. Les contribucions de Cannizzaro al congrés de Karlsruhe es van veure com a més persuasives, mentre que les objeccions de Kekulé varen semblar més aviat despectives subtileses contra l'assenyada posició de Cannizzaro. Els debats celebrats en el congrés de Karlsruhe no varen

resoldre tots els desacords immediatament, però varen aplanar el camí per assolir en els anys següents el desitjat consens entre els químics (Rocke, 1984, p. 287-307).

#### Referències

- CROSLAND, M.; SMITH, C. (1978). «The transmission of physics from France to Britain: 1800-1840». *Historical Studies in the Physical Sciences*, núm. 9, p. 1-61.
- DUNCAN, A. (1988). «Particles and eighteenth century concepts

of chemical combination». *British Journal for the History of Science*, núm. 21, p. 447-453.

- GRAPÍ, P. (2012). «Las afinidades químicas en el siglo XVIII y la tabla de "rapports" de Geofroy». A: GRAPÍ, P. (ed.). *La representación de lo invisible*. Alacant: Universitat d'Alacant, p. 13-71.
- KLEIN, U. (2003). «Experimental history and Herman Boerhaave's chemistry of plants». *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, núm. 34, p. 533-567.
- KLEIN, U.; LEFÈVRE, W. (2007). *Materials in eighteenth-century science: A historical ontology*. Cambridge; Londres: MIT Press.
- PELLÓN, I. (2003). *El hombre que pesó los átomos: Dalton*. Madrid: Nivola.
- ROCKE, A. J. (1984). *Chemical atomism in the nineteenth century: From Dalton to Cannizzaro*. Columbus: Ohio State University Press.
- (2005). «In search of El Dorado: John Dalton and the origins of the atomic theory». *Social Research*, vol. 72, núm. 1, p. 125-158.



**Pere Grapí Vilumara**

És llicenciat en ciències químiques (UB) i doctor en filosofia i lletres, programa d'història de la ciència (UAB). Ha estat catedràtic de física i química d'ensenyament secundari. Les seves principals àrees de recerca en història de les ciències són la química de final del segle XVIII i principi del segle XIX i les relacions entre la història de la ciència i l'ensenyament.  
A/e: pgrapi@gmail.com.