

# El racó de la història: Del caos a l'ordre químic: Mendeleiev

Pascual Román Polo

Departament de Química Inorgànica, Universitat del País Basc, Apartat 644, 48080 Bilbao, e-mail: qipropop@lg.ehu.es

**D**es del començament de la revolució química a l'últim terç del segle XVIII, la química moderna va experimentar fins a mitjan segle XIX un creixement sense precedents, encara que desordenat i caòtic. El 1860 va haver de detenir-se a reflexionar a Karlsruhe, on l'italià Cannizzaro va assentar el principi de l'ordre, que va ésser captat per l'alemany Meyer i el rus Mendeleiev, participants ambdós en el cèlebre Primer Congrés Internacional de Químics. En menys d'una dècada, aquests últims van llançar les seves propostes d'ordenació dels elements químics, encara que la llei periòdica del químic rus va transcendir fins als nostres dies.

## Caos en la química moderna

Des dels temps més remots de la humanitat, filòsofs i científics van tractar de penetrar en el més profund de la matèria amb la finalitat de conèixer i comprendre la seva naturalesa. Des de la revolució química liderada per Lavoisier el 1772 fins a l'aparició del seu llibre *Tractat elemental de química* (1789) es va produir un gran avenç en què es van descobrir nous elements essencials per a la millor comprensió de la teoria de la combustió amb el nitrogen (1772) i l'oxigen (1774). Al començament del segle XIX, gràcies a les importants aportacions del físic i químic britànic John Dalton, que va proposar la teoria atòmica de la matèria (1803) i una taula de pesos atòmics, es va produir un avenç espectacular en la consolidació de la química com a ciència experimental. A l'alba del segle XIX la química acabava d'ésser considerada una ciència exacta i s'havien establert la *Llei de la composició constant* (Dalton, 1803), la *Llei de les proporcions múltiples* (Dalton, 1804), la *Llei de les proporcions definides* (Proust, 1808), i el mateix John Dalton havia publicat la primera part del seu llibre *New System of Chemical Philosophy* (Manchester, 1808) en el qual introduïa la teoria atòmica de la matèria.

La teoria atòmica va haver d'enfrontar-se a la dels equivalents, com anys abans la teoria de la combustió, proposada per Lavoisier, ho havia fet amb la del flogist. Els químics dels països europeus més avançats havien fet un gran pas en des- terrar la teoria del flogist i abraçar la teoria de la combustió. Encara al començament del segle XIX quedaven alguns grups de químics que creien en la teoria del flogist i, com les brases

d'una foguera, es van anar apagant a poc a poc fins a desaparèixer.

Quan la teoria de la combustió va ésser universalment acceptada, va aparèixer un nou repte. Àtoms, molècules i equivalents i les formes d'expressar-los físicament a través de la massa —pes atòmic, pes molecular i pes equivalent— i les seves representacions per mitjà de símbols, fórmules o figures, es confonien i generaven un caos entre els químics de l'època. Cada escola, generalment liderada per un químic de gran prestigi, adoptava el seu propi sistema. Els pesos atòmics d'una escola diferien dels de les altres, i s'establien afinitats i re- buigs entre les diferents escoles. La teoria atòmica va anar guanyant partidaris davant els qui defensaven la teoria de l'equivalentisme.

Per una altra banda, els químics van anar alineant-se al voltant de la teoria unitària o de la teoria dualista. La primera, defensada inicialment per Dumas, Laurent i Gerhardt, postulava que les molècules eren considerades com un tot. Dumas va demostrar que en certs cossos orgànics l'hidrogen podia ésser substituït pel clor. Segons els principis de la teoria dualista de Berzelius, això era impossible, ja que el clor era electropositiu i l'hidrogen electronegatiu i dos cossos de naturalesa diferent no podien substituir-se en una molècula. L'experiència de Dumas i d'altres de posteriors va demostrar que la teoria electrolítica era errònia. A la seva derrota, hi va contribuir el ràpid desenvolupament de les indústries basades en la química orgànica, com la dels colorants, que es van decantar per la teoria unitària, la qual considerava les molècules com un tot. La teoria dualista produïa radicals de forma arbitrària, de tal manera que l'àcid acètic podia escriure's de dinou maneres diferents, segons l'elecció dels radicals.

Una de les polèmiques més agres que es recorda a la història de la ciència va ésser la que va enfrontar els atomistes i els equivalentistes. Aquests últims negaven l'existència dels àtoms i les molècules, que eren defensats a ultrança pels atomistes, basant-se en el fet que ningú no els havia pogut observar. Dos equivalentistes de gran pes científic, polític i social foren els químics francesos Dumas i Berthelot. Al costat dels atomistes hi havia els químics francesos Laurent i Gerhardt, que es defensaven de l'hostilitat dels seus poderosos compatriotes. Dumas va ésser ministre de Napoleó III, mentre que Laurent va morir tuberculós i Gerhardt va passar grans penaltats financeres i administratives a Estrasburg.

## El principi de l'ordre: el Congrés de Karlsruhe

Davant aquesta situació caòtica, a finals de la dècada del 1850 el químic alemany Kekulé va pensar que podria ésser oportú celebrar un congrés internacional de químics dedicat a la definició dels conceptes químics de l'àtom, la molècula, l'equivalent, l'atomicitat, la basicitat, les fórmules químiques i la uniformitat de la notació i de la nomenclatura químiques. El març de 1859 va fer partícips de la seva idea els professors Carl Weltzien (Heidelberg) i Adolphe Wurtz (París). A finals de març de l'any següent es trobaven tots tres a París per definir les etapes següents i posar en marxa el pla de treball. Es va elaborar una comunicació que fou enviada als quaranta-cinc químics més importants d'Europa sol·licitant la seva col·laboració. La carta, datada a Karlsruhe el 10 de juliol de 1860, va ésser escrita en alemany, en francès i en anglès. El veritable objectiu del congrés, tal com s'exposava a la carta, era: «La definició d'importants conceptes químics, com els expressats per les paraules àtom, molècula, equivalent, atomicitat, basicitat, etc.; discussió dels equivalents veritables dels cossos i les seves fórmules; la institució d'una notació uniforme i d'una nomenclatura racional.»

Dalton, Avogadro i Gerhardt foren els pilars de les discussions que hi va haver al congrés de Karlsruhe. El 1811, un jove advocat italià, Amedeo Avogadro, va veure la solució al problema i va saber discernir els àtoms de les molècules. Va anunciar el principi que porta el seu nom i del qual emanaria la constant universal que, també en el seu honor, va rebre el nom de *nombre d'Avogadro* (actualment,  $N=6,0221367 \times 10^{23}$  molècules.mol<sup>-1</sup>).

Malauradament, aquest principi va romandre ignorat per la majoria dels químics europeus del seu temps, però va ésser redescobert gairebé cinquanta anys més tard per un altre químic italià, Stanislao Cannizzaro, que el va recollir en la seva publicació *Sunto di un corso di filosofia Chimica* (1858). El retard que es va produir en el desenvolupament de la química mundial va ésser degut a l'escàs interès dels químics consagrats per les aportacions fetes per científics que treballaven en solitari, allunyats de les grans escoles. La confusió que regnava entre els químics de la primera meitat del segle XIX s'hauria dissipat si s'haguessin tingut en compte les idees d'Avogadro. Potser els déus van voler que romanguessin ocultes,

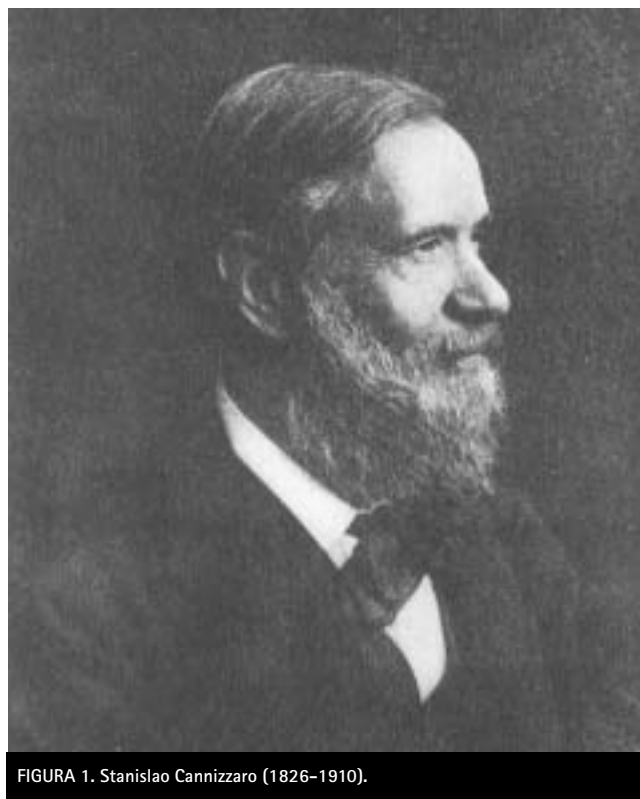


FIGURA 1. Stanislao Cannizzaro (1826-1910).

tot esperant que tres joves químics europeus obrissin els ulls a una nova realitat. La llum, la va aportar el jove químic italià Cannizzaro, que, ràpidament, va ésser captada per l'alemany Meyer i el rus Mendeleiev.

Encara que es diu que hi van assistir 140 participants, a la llista impresa hi apareixen 126 noms per a uns autors i 127 per a d'altres; en la relació que segueix hem pres aquest últim número. Van acudir a Karlsruhe químics dels següents dotze països (entre parèntesis s'indica el nombre de participants): Alemanya (57), França (21), Gran Bretanya (18), Àustria (7), Rússia (7), Suïssa (6), Bèlgica (3), Suècia (3), Itàlia (2), Espanya (1), Mèxic (1) i Portugal (1). En aquella època, Polònia formava part de Rússia i, per tant, apareixen conjuntament. Entre els participants, s'ha de destacar la presència de l'italià Stanislao Cannizzaro, de l'alemany Julius Lothar Meyer i del rus Dimitri Ivanovitch Mendeleiev. Mèxic va estar representat per Louis Posselt, mentre que el representant espanyol va ser Ramón Torres Muñoz de Luna, que el 1860 tenia trenta-set anys i era catedràtic de química a la Facultat de Filosofia de la Universitat de Madrid i professor de química i física del Rei. Altres químics que hi van participar activament foren Erdmann, Fresenius, Kekulé, Kopp, Strecker i Wurtz, entre d'altres.

El congrés de Karlsruhe es va celebrar entre el 3 i el 6 de setembre de 1860 i va permetre el coneixement mutu de científics que treballaven en química. A aquest fet es referia Lothar Meyer d'aquesta manera: «Per a nosaltres, que ens iniciàvem en la docència, la trobada amb tants respectats col·legues va representar un al·licient tan gran que va fer que aquells tres dies de Karlsruhe fossin inoblidables.»

En el congrés, hi van tenir un paper destacat Odling, que va mantenir la tesi que no es podia assignar a un mateix element diversos pesos atòmics, com es feia en acceptar els equivalents, és a dir, només es podia admetre un pes únic i invariable per a cada element; Dumas, que, assumint el punt de vista d'Odling, va proposar el sistema de pesos atòmics de Berzelius, i Cannizzaro, que va defensar el sistema de Gerhardt amb lleugeres modificacions amb els pesos atòmics d'alguns metalls, segons aconsellaven els resultats obtinguts per ell mateix. Sense cap dubte, la figura més enlluernadora del congrés va ésser el químic italià, encara que les seves brillants intervencions passessin desapercibudes per a alguns congressistes.

Durant el congrés, Cannizzaro i Dumas es van enfrontar ideològicament, mantenint les idees de les teories unitària i dualista, respectivament. La indecisió d'alguns grans químics va ocasionar que les idees del químic italià no fossin acceptades. Per això, Kopp i Erdmann van proposar que es deixés plena llibertat a cada investigador en qüestions científiques. La resolució final del congrés fou poc aclaridora: «El Congrés expressa el seu desig que d'ara endavant s'usin en química símbols creuats amb ratlletes per als àtoms els pesos atòmics dels quals es dupliquen respecte dels utilitzats fins ara.»

Les idees de Cannizzaro sobre la teoria atòmica estan contingudes en el seu famós treball *Sunto di un corso di filosofia Chimica*, que més tard va ésser publicat a diverses revistes científiques, per bé que de circulació escassa. Un amic de Cannizzaro, l'altre participant italià de la Universitat de Pavia, Angelo Pavesi, ho va divulgar al congrés de Karlsruhe, on fou conegut per Meyer i Mendeleiev. Hi exposava les idees que havia defensat tan apassionadament sobre la teoria química, basades en l'adopció de la hipòtesi d'Avogadro i d'Ampère i l'acceptació del sistema de pesos atòmics de Gerhardt. Les se-



FIGURA 2. Julius Lothar Meyer (1830-1895).



FIGURA 3. Dimitri Ivanovitx Mendeleiev (1834-1907).

ves idees foren enteses després d'una detinguda lectura per Lothar Meyer al seu retorn a Breslau, que ho manifestava d'aquesta manera: «Jo també en vaig rebre un exemplar que em vaig posar a la butxaca amb l'objectiu de llegir-lo després. El vaig llegir repetides vegades en el viatge de tornada i també a casa i em va sorprendre la claredat del petit fulletó i l'encert de la solució que s'hi donava a la major part de les qüestions discutides. Vaig sentir com si les escames caiguessin dels meus ulls i els dubtes van desaparèixer i foren reemplaçats per una sensació de pacífica seguretat.» Meyer va ésser un dels primers a adoptar el sistema de Cannizzaro i el va incorporar al seu llibre *Die Modernen Theorie der Chemie* el 1862, contribuint d'aquesta manera a la difusió de les noves idees desenvolupades per Cannizzaro sobre la teoria química.

El sistema proposat per Cannizzaro va presentar per als químics els avantatges següents: 1) Un únic pes atòmic per a cada element químic; 2) Les fórmules de les substàncies simples tenen sentit i es poden determinar amb exactitud en dividir el seu pes molecular pel pes atòmic de l'element i obtenint l'atomicitat de la substància simple. Igualment, els polímers tenen fórmules diferents de les dels corresponents monòmers; 3) Els pesos atòmics i les seves fórmules derivades estan d'acord amb la llei de Dulong i Petit i amb l'isomorfisme.

## Impacte del congrés de Karlsruhe en Mendeleiev

Quan es va celebrar el congrés de Karlsruhe, Mendeleiev tenia vint-i-sis anys i es trobava a Heidelberg becat pel govern rus. L'impacte que va rebre durant el congrés, per la profunditat i la importància de les qüestions debatudes i la transcendència de la trobada per al futur desenvolupament de la química, el manifestava ell mateix, en un resum personal del que havia vist i escoltat al congrés, d'aquesta manera:

«El congrés de química celebrat a Karlsruhe va produir un efecte tan remarcable en la història de la nostra ciència, que considero un deure, fins i tot en unes poques paraules, descriure'n totes les sessions i els resultats que es van assolir.

»La raó essencial per anomenar-lo congrés internacional de química va ser el desig de clarificar i, si fos possible, assolir acords sobre les diferències bàsiques que existeixen entre els

seguidors de les diferents escoles químiques. Al començament, Kekulé va proposar fixar diverses qüestions: el problema de la diferència entre molècules, àtoms i equivalents; la qüestió de la magnitud dels pesos atòmics, per ex. si la partícula de Gerhardt o la partícula de Berzelius amb les modificacions de Liebig i Poggendorf, i ara utilitzades per la majoria, haurien de ser acceptades; per una altra banda, la qüestió de les fórmules, i finalment, fins i tot sobre si, en l'estat actual de la ciència, hauríem de considerar les raons per als efectes químics. Però en la primera sessió, el 3 de setembre, el congrés va ser incapaç, en un espai de temps tan curt, d'aclarir un nombre de problemes tan gran, i d'aquesta manera van resoldre centrar-se únicament en els dos primers.

»Es va elegir una comissió de trenta membres per a un tractament preliminar d'aquestes dues qüestions. S. Cannizzaro, finalment, també hi va estar per les seves animades al·locucions, i amb justícia va ésser proposat per assentiment general. En la segona sessió del Congrés, el 4 de setembre, la comissió va informar del contingut de la resolució sobre la qual havia treballat. Es va decidir prendre una interpretació diferent de molècules i àtoms; es considera una molècula com la quantitat d'una substància que entra en una reacció i en determina les propietats físiques, i es considera un àtom la menor quantitat d'una substància inclosa en una molècula. Més tard, es va assolir un acord prop dels equivalents, considerant-los empírics i independents dels conceptes d'àtoms i molècules. En votar aquesta proposta, la major part van aixecar les seves mans. Qui hi estava en contra? Timidament, una mà es va aixecar i després es va abaixar. El resultat va ser inesperadament unànim i important. Entenent la diferència entre àtoms i molècules, els químics de tots els països van comprendre el principi del sistema unitari. Una vegada s'entén el principi, les conseqüències no admetran grans incongruències.

»La tercera sessió, el 5 de setembre, es va dedicar al problema dels pesos atòmics, principalment del carboni: si s'accepta el nou pes de 12 o roman l'anterior de 6, fins que el faci servir quasi tothom. Després d'un llarg debat, en l'última sessió, el 6 de setembre, J. Dumas va fer una brillant dissertació proposant emprar el nou pes atòmic només en química orgànica i deixar el vell per a la inorgànica. Contra això, Cannizzaro va parlar apassionadament, mostrant que tots haurien de fer servir el mateix nou pes atòmic. No hi va haver votació sobre aquesta qüestió, però la gran majoria es van posar del costat de Cannizzaro.

**ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.**

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

	Ti = 50	Zr = 90	? = 180.		
	V = 51	Nb = 94	Ta = 182.		
	Cr = 52	Mo = 96	W = 186.		
	Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.		
	Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198		
	Ni = Co = 59	Pl = 106,6	Os = 199.		
H = 1	Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200		
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112		
B = 11	Al = 27,4	? = 68	U = 116	Au = 197?	
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118		
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?	
O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?		
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127		
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Dl = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

FIGURA 4. Taula periòdica de Mendeleiev (1869, primera versió).

»A tot això, hi afegeixo el comentari que en tots els debats no hi va haver una paraula hostil entre ambdues parts. Tot això em sembla que és una total garantia del ràpid èxit de les noves idees en el futur. La meitat dels químics ja han resolt no votar en contra de les idees.

»D. Mendeleiev, Heidelberg, 7 de setembre de 1860.»

El Congrés de Karlsruhe va ésser, sens dubte, l'esdeveniment científic més important per al desenvolupament de la química a la segona meitat del segle XIX. És impensable que Dimitri Ivanovitx Mendeleiev hagués publicat el seu text *Química orgànica* el 1861, ni que Julius Lothar Meyer hagués començat a escriure el 1862 el seu llibre *Die Modernen Theorie der Chemie* per publicar-lo el 1864, si no hi haguessin participat. Tampoc no s'entendrien els progressos que van fer Meyer i Mendeleiev sobre la classificació periòdica, que van culminar el 1869, si no haguessin conegut els nous valors dels pesos atòmics del carboni, l'oxigen, el sofre, l'argent i els metalls alcalins.

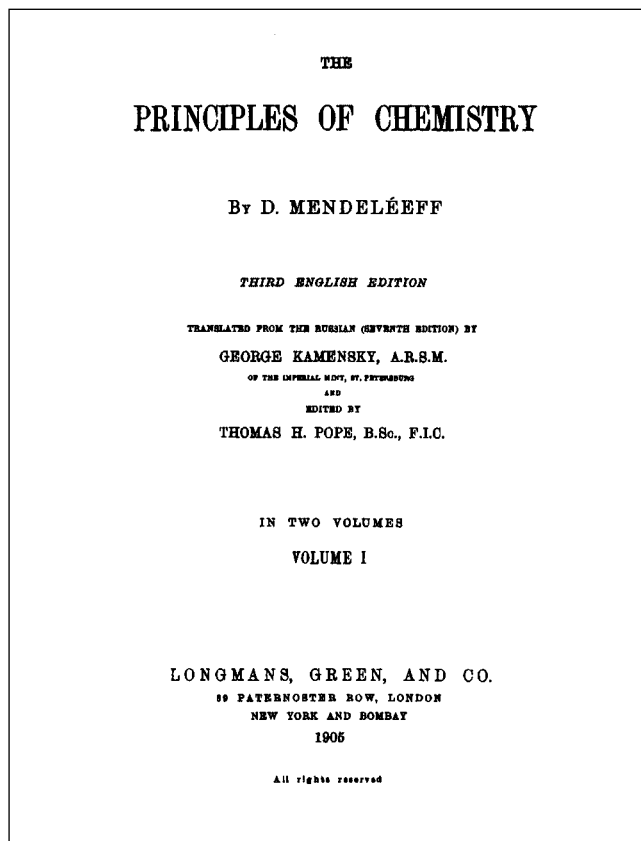


FIGURA 5. Portada de l'obra *Principis de química* (1905, 3ª edició anglesa).

*Principis de química*, l'obra més estimada de Mendeleiev, la primera edició de la qual es va publicar als anys 1868-1871 i a la qual en seguirien unes altres fins a assolir la vuitena el 1906, la llei periòdica (1869) i la primera versió de la taula periòdica moderna dels elements químics (1869), són les principals conseqüències del congrés de Karlsruhe, extretes per un dels químics més genials de tots els temps: Dimitri Ivanovitx Mendeleiev. En menys de deu anys s'havia aconseguit establir l'ordre en la caòtica situació en la ciència química.

## Bibliografia

- BROCK, W. H., *Historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial, 1988.
- CANNIZZARO, S. *Sunto di un corso di filosofia Chimica*, fatto dalla R. Università di Genova. Vol. VII. Nuovo Cimento, 1858, p. 321-366.
- DEMILT, C., *The Congress at Karlsruhe*. *J. Chem. Educ.*, agost 1951, p. 412-425.
- KEDROV, B. M., *Mendeleiev, Dmitry Ivanovich*. A: GILLISPIE, C.

C. [ed.]. *Dictionary of Scientific Biography*. Charles Scribner's Sons. Vol. ix. Nova York, 1981, p. 286-295.

KOLODKINE, P. *Dmitri Mendeleiev y la ley periódica*. Madrid: Ediciones Cid, 1963.

LEICESTER, H. M. *The Historical Background of Chemistry*. Nova York: Dover, 1956.

MENDELEJEFF, D. «On the Relationship of the Properties of the Elements to their Atomic Weights». *Zeitschrift für Chemie*, vol. 12 (1869), p. 405-406. A: KNIGHT, D. M. [ed.]. *Classical Scientific Papers Chemistry, Second Series*, XXXX. 1970.

MENDELÉEFF, D. *The Principles of Chemistry*. Vol. I i II. Londres: Longmans, Green and Co., 1905. [3ª edición inglesa]

OLIVARES DEL VALLE, F. J. *Noción de átomo y su historia*. Cáceres: Universidad de Extremadura, 1998.

PELLÓN GONZÁLEZ, I. *La recepción de la teoría atómica química en la España del siglo XIX*. Leioa: Universidad del País Vasco, 1997. [Tesis doctoral]

ROMÁN, P. *El profeta del orden químico. Mendeléiev*. Tres Cantos: Nivola, 2002.

STRATHERN, P. *El sueño de Mendeléiev, de la alquimia a la química*. Madrid: Siglo XXI, 2000.