

El bagul dels llibres. 6. Els elements i el sistema periòdic

Santiago Álvarez, Joaquim Sales i Miquel Seco

Universitat de Barcelona. Facultat de Química. Departament de Química Inorgànica

Boyle, Lavoisier, Dalton i Mendeléiev van escriure llibres cabdals per a la història de la química que van representar etapes importants en l'evolució del concepte d'*element químic*. D'aquests i d'altres textos importants per al desenvolupament del sistema de classificació dels elements, en farem aquí un breu repàs, des de Boyle fins als nostres dies. Ho farem dins del context dels descobriments i les teories que van permetre arribar al sistema periòdic dels elements tal com el coneixem avui. Complementarem aquest recull històric amb una mostra de la presència dels elements químics i la taula periòdica en l'àmbit de la literatura. La major part dels llibres que aquí s'esmenten ha format part d'una exposició temporal de la Biblioteca de Física i Química de la Universitat de Barcelona, que es pot visitar a través d'Internet [1]. El lector interessat en una bibliografia més completa la pot trobar en un article recent [2].

Els elements abans de Lavoisier

Al final del segle *xvi* es coneixien quinze elements químics: Ag, Au, As, Bi, C, Cu, Fe, Hg, P, Pb, Pt, S, Sb, Sn i Zn [3]. És en aquests moments quan es comencen a publicar el que podrien ser les primeres monografies sobre un d'aquests elements, l'antimoni. Els autors van ser Alexander von Suchten (*De secretis antimonii*, 1575), el misteriós Basilius Valentinus (*Curus triumphalis antimonii*, 1646) i Nicolas Lémery, famós pel seu *cours de chimie (Traité de l'antimoine*, 1707). De fet, el nom d'*antimoni* es referia a la forma més abundant en què es troba aquest element a la naturalesa, l'estibnita o sulfur d'antimoni. Per referir-se al metall, els alquimistes parlaven de «règul d'antimoni». Malgrat tenir una toxicitat semblant a la de l'arsenic, l'antimoni i els seus derivats han tingut una aplicació farmacològica des de l'antiguitat. Aquesta dualitat va generar un intens debat, conegut com *la guerra de l'antimoni*,

Molts fenòmens naturals exhibeixen una dependència de caràcter periòdic. Així, els fenòmens del dia i de la nit, les estacions de l'any i les vibracions de tota mena mostren variacions d'un caràcter periòdic dependents del temps i de l'espai.

Dmitri Ivànovitx Mendeléiev (1889)

que es va allargar des del 1550 fins al 1650, aproximadament [4], i que va suscitar fins i tot la intervenció del Parlament francès. Per un costat, els seguidors de Paracels (1493–1541) defensaven la utilització de remeis químics, entre ells l'antimoni, mentre que s'hi oposava ferotgement un grup de metges de la Universitat de París. No és estrany, per tant, que justament per aquell temps es publicessin les monografies citades. El volum d'aquestes va anar creixent de manera exponencial, des de les cent dotze pàgines de Von Suchten fins a les tres-centes noranta-vuit de Valentinus i les sis-centes vint de Lémery!

Un reflex de l'actualitat de l'antimoni en el segle *xvii* és l'aiguafort que va fer Abraham Bosse per al *Traicté de chymie* de Lefèvre, publicat el 1663 a París (figura 1). En ell es representa la calcinació de l'estibnita per donar l'òxid d'antimoni mitjançant



FIGURA 1. *La calcination solaire de l'antimoine*, aiguafort d'Abraham Bosse per al llibre *Traicté de chymie*, de Nicaise Lefèvre (1663). Llegendes: a) La taula; b) El mirall amb el seu suport que es pot orientar; c) La pedra o placa sobre la qual es troba l'antimoni en pols; d) L'artista que governa el mirall i que remena l'antimoni, i e) La llum concentrada pel mirall. Reproduït amb l'autorització de la Biblioteca de la Universitat de Barcelona.

la llum solar concentrada amb un mirall. L'operari es protegeix dels vapors i de les projeccions de partícules amb unes ulleres. Cal suposar també que hauria seguit els consells de Lefèvre:

Abans de treballar en aquesta operació, hom menjarà pa amb mantega, a fi que el greix temperi la virtut corrosiva dels fums.

En aquell moment, però, substàncies com l'antimoni no eren considerades elements, ja que el concepte d'*element* distava molt de l'actual. Es mantenia encara la creença en l'existència d'uns pocs constituents elementals de la matèria, que es concretava en els quatre elements aristotèlics —terra, foc, aigua i aire— proposats possiblement pel sicilià Empèdocles d'Agri-gent (490–430 aC). D'una manera semblant, la tradició xinesa comptava amb cinc elements descrits al *Shu Ching*, llibre de la dinastia Chou (722–221 aC): terra, aigua, foc, fusta i metall. També la cultura hindú tenia presents cinc elements: èter, aire, foc, aigua i terra (c. 550 aC), que es componien al mateix temps de combinacions d'elements més subtils: so, tacte, color, sabor i olor.

Aquests elements devien semblar insuficients als alquimistes islàmics per descriure les seves operacions alquímiques, de manera que van proposar que tots els metalls es componien de dos principis, sofre i mercuri. Paracels hi va afegir la sal, posteriorment. Els tres principis, o *tria prima*, representaven la fixesa i la incombustibilitat —sal—, la fusibilitat i la volatilitat —mercuri— i la inflamabilitat —sofre—, i eren aparentment compatibles amb els elements aristotèlics d'una manera indefinida. A mitjan segle XVII agafa força la idea que les substàncies elementals són aquelles que no es poden descompondre per mitjans químics —el foc, la destil·lació, la dissolució—, tal com explicava Estienne de Clave el 1641 [5]:

Els elements són cossos simples, que intervenen en la composició dels cossos mixtos, i en els quals aquests cossos mixtos es resolen, o es poden resoldre finalment.

De Clave nega que el foc i l'aire siguin elements, critica durament la distinció entre elements i principis i limita el nombre d'elements a cinc: aigua —o flegma—, terra, esperit, sal i oli. Explica amb detall com es pot descompondre, per exemple, un tros de fusta en els cinc elements mitjançant operacions de fermentació, dessecació, destil·lació, coagulació, dissolució i «un artífici meravellós de la nostra invenció que revelarem en un altre moment, o bé ho explicarem als qui ens vinguin a visitar».

Poc més tard, Robert Boyle publica al seu llibre *The sceptical chymist* [6] un debat fictici en el qual es posen en dubte tant els elements aristotèlics com els principis alquímics:

... un Home pot racionalment tenir alguns dubtes respecte del nombre mateix d'aquells Ingredients materials dels cossos mixtos, que alguns anomenarien Elements, i d'altres, Principis. [...] Però quan m'he pres la molèstia d'examinar imparcialment aquells cossos que es diu que resulten d'una combinació d'Elements, i de torturar-los fins que confessessin els seus principis constituents, vaig concloure que el nombre dels Elements ha estat debatut pels Filòsofs amb més fervor que encert.

Boyle no es decantà ni pels elements aristotèlics ni pels principis *chymics*, i decidí posposar aquesta elecció per al moment en què hi hagués suficient informació experimental que li donés suport. Això no obstant, en aquest debat va introduir una possible definició d'*element químic*, gairebé coincident amb la de De Clave:

I per evitar errors, he d'advertir-vos que per Elements ara em refereixo [...] a certs cossos Primitius i Simples, o sense cap mena de barreja, que sense estar fets de cap altre cos, o els uns dels altres, són els Ingredients dels quals es componen els anomenats Cossos mixtos, i en els quals es poden en últim cas separar.

El nombre de substàncies elementals conegudes va augmentar de manera considerable al llarg del segle XVIII (figura 2). Entre els que es van identificar en aquest període trobem el platí, descrit per Antonio de Ulloa durant l'expedició científica comandada per Charles de la Condamine i en la qual va participar per encàrrec de Felip V. La primera notícia publicada so-

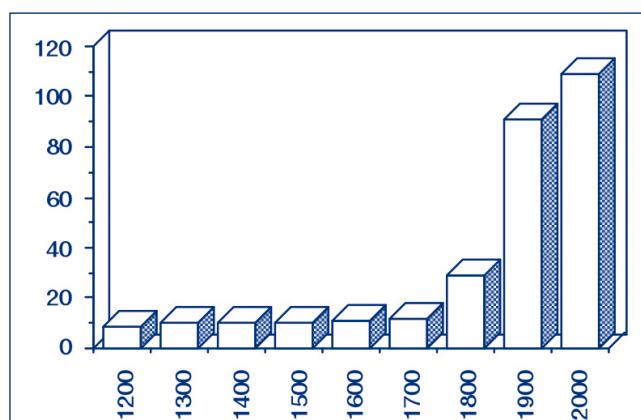


FIGURA 2. Nombre d'elements aïllats al començament de cada segle.



FIGURA 3. Portada del llibre en què Antonio de Ulloa parla per primera vegada del platí, reproduïda amb l'autorització de la Biblioteca de la Universitat de Barcelona.

bre l'existència d'aquest metall es troba al seu llibre *Relación histórica del viaje a la América Meridional* (1748, figura 3), una obra en quatre volums [7] plens d'il·lustracions i d'explicacions detallades amb una prosa excel·lent:

En el Partido del Chocò, habiendo muchas Minas de Lavadero, como las que se acaban de explicar, se encuentran tambien algunas, donde por està disfrazado, y envuelto el Oro con otros Cuerpos Metalicos, Jugos, y Piedras, necessita para su beneficio del auxilio del Azogue; y tal vez se hallan Minerales, donde la Platina (Piedra de tanta resistencia, que no es facil romperla, ni desmenuzarla con la fuerza del golpe sobre el Yunque de Acero) es causa de que se abandonen; porque ni la calcinacion la vence, ni hay arbitrio para extraer el Metal, que encierra, sino à expensas de mucho trabajo, y costo.

Malgrat els precedents de De Clave i Boyle i el creixent nombre d'elements coneguts, durant la major part del segle XVIII sembla que perd interès qualsevol discussió sobre la definició d'*element*. L'atenció se centra més aviat en l'estudi de la reac-

FIGURA 4. Taula d'afinitats de Macquer, en què apareixen diversos elements i les seves reactivitats relatives enfront de diverses substàncies. Reproduït amb l'autorització de la Biblioteca de la Universitat de Barcelona.

tivitat i a establir taules d'afinitats, introduïdes per Geoffroy el 1718. En aquestes, per a cada substància —representada per un símbol heretat dels alquimistes— s'ordenen en una columna altres substàncies segons la seva afinitat, és a dir, la seva reactivitat, enfront de la primera. Moltes d'aquestes substàncies són elements i, per tant, les taules d'afinitats es poden considerar un precedent de les taules d'elements que contenen informació sobre llurs propietats químiques. A la figura 4 es mostra com a exemple la taula publicada per Macquer [8], en què apareixen els elements següents: mercuri, antimoni, or, plata, coure, plom, estany, zinc i sofre. Tanmateix, també hi figuren l'àcid nítrós, l'àcid vídriol·lic, l'àcid acètic, l'aigua o la sal. S'ha de notar, no obstant això, que el primer capítol del llibre de Macquer porta per títol «Dels principis» i que dedica una secció a cadascun dels elements següents: aire, aigua, terra, foc i flogist. És a dir, aquests metalls no eren considerats encara elements per aquest autor.

De Lavoisier a Meyer

El llibre de Lavoisier *Tractat elemental de química* [9] representa el punt de partida de la química moderna i en ell trobem una definició d'*element químic* molt semblant a les proposades per De Clave i Boyle:

Totes les substàncies que encara no hem pogut descompondre per cap mitjà són elements per a nosaltres [...] i no podem suposar que són compostos fins que l'experiència o l'observació ens en proporcionin la prova.

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
Substances simples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.	Lumière.....	Lumière. Chaleur.
	Calorique.....	Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu.
	Oxygène.....	Matière du feu & de la chaleur. Air déphlogistiqué. Air empiréal. Air vital.
	Azote.....	Bafe de l'air vital. Gaz phlogistiqué. Mofete.
	Hydrogène.....	Bafe de la mofete. Gaz inflammable.
	Soufre.....	Bafe du gaz inflammable. Soufre.
	Phosphore.....	Phosphore.
	Carbone.....	Charbon pur.
	Radical muriatique.	Inconnu.
	Radical fluorique.	Inconnu.
Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.	Radical boracique..	Inconnu.
	Antimoine.....	Antimoine.
	Argent.....	Argent.
	Arsenic.....	Arsenic.
	Bismuth.....	Bismuth.
	Cobolt.....	Cobolt.
	Cuivre.....	Cuivre.
	Étain.....	Étain.
	Fer.....	Fer.
	Manganèse.....	Manganèse.
Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.	Mercure.....	Mercure.
	Molybdène.....	Molybdène.
	Nickel.....	Nickel.
	Or.....	Or.
	Platine.....	Platine.
	Plomb.....	Plomb.
	Tungstène.....	Tungstène.
	Zinc.....	Zinc.

FIGURA 5. Fragment de la taula dels elements al *Tractat elemental de química de Lavoisier* (1789).

En aquest llibre, Lavoisier presentà una llista del que considerava *elements* —inclosos la llum i el *calòric*— i sistematitzà els seus noms (figura 5). Per exemple, proposà que *aire deflogitzat* o *aire vital* s'havien de substituir per *oxigen*. Haurien de transcórrer vuitanta anys abans que Mendelèiev convertís el conjunt dels elements en molt més que una llista i dotés la química d'una de les seves eines més emblemàtiques: el sistema periòdic dels elements.

El nombre d'elements coneguts va continuar augmentant d'una manera espectacular durant el segle XIX (figura 2), gràcies a l'aplicació de l'electròlisi per separar els metalls alcalins i alcalinoterris per part de Davy (1807) i també gràcies al descobriment del rubidi i el cesi per Kirchoff i Bunsen (1860) amb l'ajut de l'espectroscopi, tot just els primers de tota una sèrie de nous elements descoberts amb la mateixa tècnica. El nombre creixent d'elements coneguts i el consens sobre quines substàncies s'havien de considerar elements van estimular les

ELEMENTS .								Plate 4
Simple								
1	2	3	4	5	6	7	8	
9	10	11	12	13	14	15	16	
		17	18	19	20			
Fig.		Fig.						
1 Hydrog. its rel. weight	1	11 Strontites	-	-	-	-	46	
2 Azote, - - - -	5	12 Barytes	-	-	-	-	68	
3 Carbone or charcoal, -	5	13 Iron	-	-	-	-	38	
4 Oxygen, - - - -	7	14 Zinc	-	-	-	-	56	
5 Phosphorus, - - - -	9	15 Copper	-	-	-	-	56	
6 Sulphur, - - - -	13	16 Lead	-	-	-	-	95	
7 Magnesia, - - - -	20	17 Silver	-	-	-	-	100	
8 Lime, - - - -	2	18 Platina	-	-	-	-	100	
9 Soda, - - - -	28	19 Gold	-	-	-	-	140	
10 Potash, - - - -	42	20 Mercury	-	-	-	-	167	

FIGURA 6. Taula dels elements, ordenats segons els seus pesos atòmics per Dalton (1808).

propostes de mètodes de classificació. Al seu històric llibre publicat el 1808, John Dalton va presentar la primera taula d'elements ordenats pels pesos atòmics [10] (figura 6), encara que alguns d'aquests pesos eren erronis i serien corregits mig segle més tard per Cannizzaro. D'altra banda, va ser segurament Ampère (1816) el primer que va publicar una taula amb els elements organitzats segons les seves propietats químiques i físiques, al final d'una sèrie de quatre articles (figura 7). A la taula d'Ampère ja podem trobar agrupats els metalls alcalins, els alcalinoterris i els halògens. Poc després, Berzelius va proposar un sistema de classificació dels elements que separava els metalls dels no-metalls, o *metal·loides*, i que subdividia ambdós grups d'elements segons les seves *dinamicitats* o valències. Aquesta classificació es va utilitzar durant la major part del segle XIX, fins uns anys després del descobriment del sistema periòdic. Per exemple, Luanco, professor asturià de la Universitat de Barcelona, l'aplicava encara a la segona edició del seu llibre de text, el 1884 [11].

Quinze anys després de la classificació de Berzelius, Döbereiner va fer la seva proposta d'agrupar els elements en tríades. Aquests intents d'organitzar els elements segons les seves propietats es va anomenar *classificació natural*. El mètode alternatiu proposat per Thénard classificava els metalls segons la seva reactivitat amb l'oxigen i es va anomenar *classificació artificial*. Es van succeir contribucions de diversos

Tableau des quinze genres et des quarante-huit espèces des Corps simples pondérables, rangés dans l'ordre naturel.

{	Carbone. Hydrogène.	Bore. Silicium.	}
{	Azote. Oxigène. Soufre.	Colombium. Molybdène. Chrome. Tungstène.	}
{	Chlore. Phlore. Iode.	Titane. Osmium.	}
{	Tellure. Phosphore. Arsenic.	Rhodium. Iridium. Or. Platine. Palladium.	}
{	Antimoine. Etain. Zinc.	Cuivre. Nickel. Fer. Cobalt. Urane.	}
{	Bismuth. Mercure. Argent. Plomb.	Manganèse. Cérium.	}
{	Sodium. Potassium.	Zirconium. Aluminium. Glucyanium. Yttrium.	}
{	Barium. Strontium. Calcium. Magnesium.		}

FIGURA 7. Taula d'elements agrupats per propietats químiques, publicada per Ampère el 1816. *Colombium* correspon al niobi i *glycinium*, al beril·li.

autors a l'establiment d'un ordre més general dels elements, com ara Gmelin, Pettenkofer, Odling i Strecker. El primer va presentar els elements organitzats en forma de V el 1843 [12], de manera que els electronegatius se situen a la branca esquerra i els electropositius, a la dreta (figura 8), on s'hi poden reconèixer algunes de les tríades. Entre aquestes contribucions no falten intents d'organitzar els elements alhora per les seves propietats i el seu pes atòmic. En paraules de Berzelius [13]:

Es nota que els cossos que fins a un cert punt presenten les mateixes propietats tenen una certa relació entre els seus pesos atòmics.

Caldrà encara que Cannizzaro publiqui el seu *Sunto di un corso di filosofia chimica*, en el qual estableix pesos atòmics correctes [15]. Amb aquests, Dumas troba immediatament regularitats en els pesos atòmics d'elements de la mateixa família, que inclou els actuals grups 1, 2 —més el Pb—, 15, 16 i 17, així

O		N		H
F Cl Br I				L Na K
S Se Te				Mg Ca Sr Ba
P As Sb			G Er Y Tr Ce	Di La
C B Si			Zr Th Al	
Ti Ta Nb Pe W			Sn Cd Zn	
Mo V Cr	U	Mn Co Ni Fe		
Bi Pb Ag	R	Hg Cu		
Os Ru Ir		Pt Pd Au		

FIGURA 8. Ordenació dels elements presentada per Gmelin el 1843 [12]. Alguns símbols atòmics que no es corresponen amb els emprats avui són G —glucini— per al beril·li, Tr per al terbi, Di —didimi— per a una mescla de neodimi, praseodimi, samari i gadolini, Pe —pelopi— per al tecneci i R per al rodi [14].

com una família heterogènia que comprèn C, B, Si i Zr. Strecker prediu el 1859 que aviat es trobarà la llei que relacioni els pesos atòmics, i serà citat més tard pel mateix Mendelèiev:

És molt poc probable que totes aquestes relacions entre els pesos —o equivalents— atòmics d'elements químicament anàlegs siguin purament accidentals. No obstant això, hem de deixar per al futur el descobriment de la llei que regeix aquestes relacions.

El primer congrés internacional de química, celebrat a Karlsruhe l'any 1860, va ser decisiu perquè es donés a conèixer l'obra de Cannizzaro i s'acceptessin els pesos atòmics proposats per ell.

L'any 1862, Chancourtois proposà una ordenació en espiral que batejà com a *vis tellurique* —hèlix tel·lúrica— i que organitzava els elements segons els seus pesos atòmics i les seves propietats químiques alhora. És, per tant, el primer autor que planteja la idea d'una periodicitat en funció del pes atòmic, així com l'analogia entre aquesta i les relacions numèriques de les notes musicals. La figura 9 mostra un fragment de l'hèlix de Chancourtois, on es pot apreciar com el sodi queda sota el liti, el magnesi sota el beril·li —anomenat aleshores *glucini*—, i així successivament. Poc després, Meyer agrupà vint-i-set elements tenint en compte la seva valència i ordenant-los per pesos atòmics al llibre *Die moderne theorie der chemie* [16]. El mateix any, Newlands presentà en una taula seixanta-un elements arranjats per pesos atòmics i l'any següent publicà la famosa llei de les octaves:

Els membres d'un mateix grup es relacionen entre ells de la mateixa manera que ho fan els extrems d'una o més octaves en música.

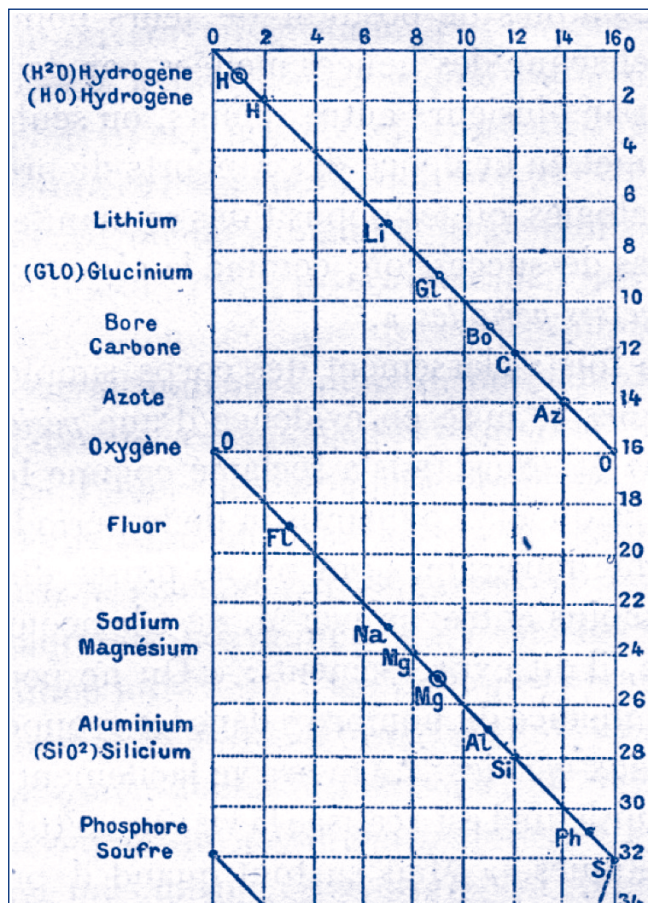


FIGURA 9. Fragment de l'hèlix telúrica de Chancourtois.

Al mateix temps, Gustav Hinrichs, professor a la Universitat Estatal d'Iowa, va tenir l'encert de combinar les propietats químiques i el pes atòmic en una taula dels elements que va anar perfilant en diverses publicacions entre els anys 1866 i 1869, anunciada ja en un primer article d'aquesta manera:

Pretenem publicar una sèrie d'articles presentant les propietats dels elements químics en funció dels seus pesos atòmics.

En la classificació de Hinrichs ja apareixen ubicats tal com els tenim a la taula periòdica actual la major part dels elements dels grups *s* i *p*, amb l'excepció dels grups del bor i del carboni, molt desdibuixats. Hi manquen els encara desconeguts gasos nobles, tal com es pot apreciar a la taula recollida en un interessant llibre [17] d'aquest polifacètic i prolífic autor. Anteriorment havia proposat una ordenació dels elements en espiral que es pot trobar reproduïda en diversos tractats sobre la taula periòdica [3, 18, 19].

Mendeléiev i el seu llibre

Tot és a punt. Dmitri Ivànovitx Mendeléiev, que ja havia publicat un manual de química orgànica, *Organicheskaia Khimia*, esdevé professor a la Universitat de Sant Petersburg el 1867 i prepara un llibre de química general. Un cop publicat el primer volum del seu llibre *Osnovy khimii (Principis de química)* el 1868, Mendeléiev busca la manera d'organitzar la química dels diferents elements de manera racional en el segon volum. A més del coneixement que hagi pogut tenir Mendeléiev dels intents de classificació dels elements comentats abans, sabem que el 1862 havia traduït al rus el manual de Cahours [20], en el qual s'agrupaven els elements en *famílies naturals*. Després de treballar amb alguns esborranys que encara es conserven (figura 10), produeix la seva primera taula periòdica amb els elements en columnes, col·locats per ordre creixent de pesos atòmics, de tal manera que en cada fila apareixen elements amb propietats semblants. Per donar-la a conèixer, féu imprimir, el febrer de 1869, cent cinquanta còpies en rus i cinquanta en francès d'un full amb el títol *Assaig d'un sistema dels elements, basat en els seus pesos atòmics i afinitats químiques*. El mes de març es presentà el seu sistema periòdic a la Societat Russa de Química, per boca de Nikolai Menshutkin, ja que ell es trobava realitzant una inspecció a cooperatives de productors de formatge. El mes d'abril del mateix any, publicà el seu sistema periòdic en un article en alemany i en una versió més extensa en rus. De manera gairebé simultània, publicà el segon volum dels *Principis de química*. És l'any 1869 i acaba de néixer el sistema periòdic dels elements, que discutirà el mateix Mendeléiev amb més detall en un article en alemany dos anys més tard, ja amb una taula en què els grups es disposen en columnes. Entremig, l'any 1870, Meyer publicà la seva taula [21] i mostrà la dependència periòdica del volum atòmic en una gràfica clàssica.

El llibre de Mendeléiev, que ha entrat en la història perquè va donar peu a l'establiment del sistema periòdic, té també la seva pròpia història. En pocs anys es va fer una segona edició amb pocs canvis (1873) i una tercera (1877), poc després del descobriment del gal·li, amb moltes més modificacions i en la qual la química dels elements era descrita en el mateix ordre en què aquests apareixen a la taula periòdica. Aquesta edició va ser la primera a ser traduïda a l'anglès. Tampoc la quarta edició (1881) no va introduir canvis substancials i la seva publicació obeí a la necessitat de diners per sufragar les despeses del divorci de Mendeléiev. La cinquena edició (1889), que

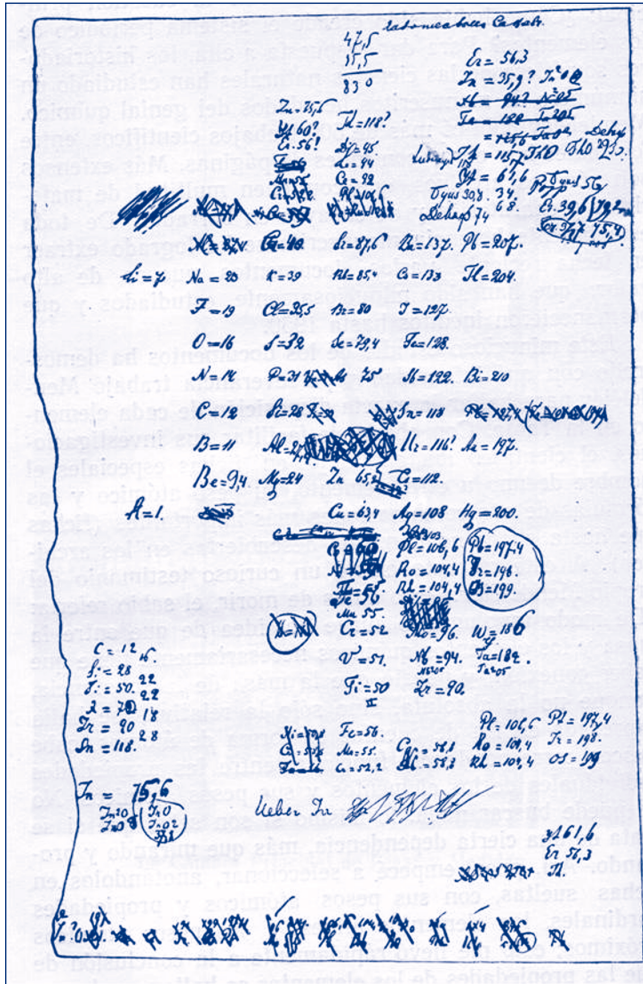


FIGURA 10. Esborrany de la taula periòdica de Mendeléiev [22].

ja menciona el descobriment del germani per Winkler, és la que incorpora més canvis i va ser traduïda a més llengües [23]. La vuitena edició (1906) va ser la darrera que es va publicar en vida de Mendeléiev, però encara se'n van fer cinc edicions pòstumes en rus. El llibre va anar creixent, d'una edició a l'altra, sobretot pels peus de pàgina, nombrosos i extensos.

Entre la quarta i la cinquena edicions dels *Principis de química* aparegué un llibret que recollia els articles de Newlands relacionats amb la periodicitat [24]. Al pròleg, l'autor es lamentava amargament de la manca de reconeixement, que creia mèrèixer pel fet d'haver proposat abans que Mendeléiev que les propietats dels elements es repeteixen periòdicament. És ben cert que tant Newlands com Meyer van arribar a propostes semblants a la de Mendeléiev. No obstant això, el que fa que el científic rus sigui reconegut com l'autèntic pare del sistema

periòdic és la seva capacitat de portar fins a les darreres conseqüències la seva proposta. Així, no va dubtar a suggerir que alguns pesos atòmics eren erronis i que s'havien de redeterminar —Te, Os, Ir, Pt i Au—, alhora que va predir l'existència d'elements desconeguts fins aleshores, així com les seves propietats [25]. La semblança entre les propietats predites per a l'eka-silici i les del germani descobert el 1886 per Winkler (taula 1), per exemple, és espectacular. També les correccions d'alguns pesos atòmics li van donar la raó. Encara que no tot ho va encertar, ja que es va resistir a acceptar la possibilitat de desintegració dels àtoms associada a la radioactivitat descoberta per Becquerel el 1896 o, abans, l'existència dels gasos nobles, que ell no havia predit. També va defensar durant molts anys l'existència de dos elements molt menys pesants que l'hidrogen, anomenats èter i coroni. L'existència d'aquest últim havia estat proposada per Harkness i Young per explicar una línia verda —amb una longitud d'ona de 5,303 Å— no identificada que s'observà a l'espectre de la corona solar durant l'eclipsi del 1869. Després de molts anys de debat, aquesta línia espectral es va assignar al ferro en estat d'oxidació +14, possible a temperatures de l'ordre d'un milió de graus, i molt recentment s'ha pogut observar també en una estrella nana vermella.

TAULA 1. Propietats predites per Mendeléiev per a l'eka-silici, comparades amb les propietats del germani descobert més tard per Winkler

	Predit	Trobat
Pes atòmic	72	72,6
Pes específic	5,5	5,35
Fórmula de l'òxid	ekaSiO ₂	GeO ₂
Pes específic de l'òxid	4,7	4,70
Les sals es descompondran per l'aigua	Sí	Sí
El clorur, ekaSiCl ₄ , serà líquid	Sí	Sí

L'activitat al voltant de la classificació dels elements al darrer quart del segle XIX és intensa i hi participa un gran nombre de químics excel·lents. Molts més dels que podem esmentar en aquestes línies i que Venable, coetani de Mendeléiev, va recollir en un llibre [18] d'una manera detallada i molt ben estructurada. Això no obstant, és recomanable estudiar aquest període des d'una perspectiva contemporània, tal com la que es pot trobar en els llibres de Van Spronsen i Scerri [3, 19]. Per centrar-nos en els esdeveniments més destacats, direm que

—																		—	—															
H 1.008																				—	He 4													
Li 7.03														Be 9.1	B 11	C 12	N 14.04	O 16.00	F 19	Ne 20														
Na 23.05														Mg 24.36	Al 27.1	Si 28.4	P 31.0	S 32.06	Cl 35.45	A 39.9														
K 39.15	Ca 40.1											Sc 44.1	Ti 48.1	V 51.2	Cr 52.1	Mn 55.0	Fe 55.9	Co 59.0	Ni 58.7	Cu 63.6	Zn 65.4	Ga 70	Ge 72	As 75.0	Se 79.1	Br 79.96	Kr 81.12							
Rb 85.4	Sr 87.6											Y 89.0	Zr 90.7	Nb 94	Mo 96.0			Ru 101.7	Rh 103.6	Pd 106	Ag 107.93	Cd 112.4	Jn 114	Sn 118.5	Sb 120	Te 127.6	J 126.95	X 128						
Cs 133	Ba 137.4	La 133	Ce 140	Nd 143.6	Pr 140.5				Sa 150.3	Eu 151.79	Gd 156	Tb 160	Ho 162	Er 166			Tu 171	Yb 173.0			Ta 183	W 184.0			Os 191	Ir 193.0	Pt 194.8	Au 197.2	Hg 200.3	Tl 204.1	Pb 206.9	Bi 208.5		
		Ra 225	Laα ?	Th 232.5							U 239.5						Ac ?											Pbα ?	Biα ?	Teα ?				

FIGURA 11. Primera versió llarga de la taula periòdica, publicada per Alfred Werner el 1905 [29].

aviat apareixerien elements predits per Mendeléiev: Lecoq de Boisbaudran (1875) descobreix el gal·li; Nilson (1879), l'escandi, i Winkler (1886), el germani. També n'apareixen d'inesperats, quan Ramsay descobreix l'argó (1894) i, molt poc després, l'heli, el criptó, el neó i el xenó, als quals s'afegeix el radó, descobert per Dorn (1898). Ja hem dit que Mendeléiev no havia previst l'existència d'aquests elements i que es resistí a acceptar els descobriments de Ramsay. Davant l'aparició de l'argó, per exemple, reaccionà suggerint que es devia tractar d'una forma al·lotròpica del nitrogen, ja que el seu pes atòmic coincidiria amb el de N_3 , anàleg de l'ozó. Malgrat l'oposició de Mendeléiev, l'evidència és tan forta que al text d'Ostwald del 1900 ja apareix una taula periòdica amb el grup dels gasos nobles [26]; poc després, Newth els introdueix a la novena edició del seu llibre de text [27], i el mateix Mendeléiev acaba per incorporar el grup dels gasos nobles a la primera columna de la taula periòdica en la setena edició del seu llibre de química general (1903).

Pel mateix temps, el descobriment de la radioactivitat de l'urani per part de Becquerel el 1896 i l'aïllament del poloni i el radi per Marie i Pierre Curie dos anys més tard permeten ampliar encara més la taula periòdica. El mateix Mendeléiev, reticent a acceptar la desintegració de l'àtom, ja inclou un comentari a la setena edició del seu llibre, en què nega que la radioactivitat pugui ser una propietat d'un element [28]. També l'estructura de la taula periòdica s'acosta a la seva versió

actual quan Alfred Werner adopta la forma llarga que separa els metalls de transició dels elements dels grups *s* i *p* i deixa espai per als aleshores desconeguts lantànids i actínids (figura 11) [29].

La incorporació del sistema periòdic als manuals

És interessant analitzar els llibres de text del final del segle XIX per veure com la proposta de Mendeléiev va anar agafant força molt lentament. Amb l'ajut del detallat estudi de Brush sobre la presència del sistema periòdic de Mendeléiev als llibres en anglès, alemany i francès al final del segle XIX [30], podem deduir que la major part dels publicats entre els anys 1871 i 1876 no fa menció d'aquest descobriment. Sembla que el primer a citar-lo és Gorup-Besanez, a la cinquena edició del seu manual de química inorgànica, el 1873 [31], publicada tan sols dos anys després de la quarta, en què només comentava les triades i les relacions entre llurs pesos atòmics. L'any següent, Fittig el cita també a l'article *àtom* del tractat editat per Fehling [32] —però no al seu llibre de text de química inorgànica publicat dos anys més tard—, i el mateix fa Rammeisberg al seu text [33]. Dels llibres en anglès i francès d'aquest període, cap no incorpora la periodicitat, encara que Brush ho atribueix erròniament al llibre de Hinrichs comentat

abans. Possiblement el primer tractat que incorpora amb totes les conseqüències el sistema periòdic és el publicat en set volums entre els anys 1880 i 1894 per Paul Schützenberger [34], professor del Collège de France. Aquest autor no tan sols presenta el sistema periòdic i totes les contribucions històriques al mateix —Döbereiner, Dumas, Pettenkofer, Odling, Meyer i Mendeléiev—, sinó que també fa esment del descobriment del gal·li com a verificació d'una de les prediccions de Mendeléiev i, més important, fa servir el sistema periòdic com a criteri organitzador de la química descriptiva en el seu tractat. Un altre cas interessant és el d'un text italià de Felice Marco que devia tenir molt èxit si tenim en compte el nombre d'edicions que se'n van fer. La sisena edició [35], apareguda el 1883 amb el títol *Nozioni di chimica secondo li teorie moderne*, no parlava del sistema periòdic. En canvi, a l'edició següent [36], publicada tan sols quatre anys després com a *Elementi di chimica secondo il sistema periodico*, els seus continguts ja estan organitzats d'acord amb l'ordenació dels elements proposada per Mendeléiev.

Entre nosaltres, la introducció del sistema periòdic als manuals va ser lenta i gens unànime. Així, la segona edició del llibre de Wurtz (1871), àmpliament reeditat i traduït, es publicà a Barcelona el 1874 en una traducció de Jaume Almera [37], catedràtic d'història natural del Seminari Conciliar de Barcelona. És el traductor qui introduí en aquest llibre una classificació dels elements de Dumas, molt anterior a la de Mendeléiev. Entre els manuals que hem pogut consultar, el de Santiago Bonilla Mirat, catedràtic de la Universidad de Valladolid, és el primer a incloure en la seva segona edició (1881) [38] una menció al sistema periòdic de Mendeléiev i als molt recents descobriments del gal·li i de l'escandi. En l'edició següent [39] va afegir una taula periòdica en què diferenciava «períodos pequeños» de «períodos grandes» i ressaltava la redeterminació del pes atòmic de l'indi per part de Bunsen. El mateix any de la tercera edició de Bonilla, Eugenio Mascareñas, professor de la Universitat de Barcelona i considerat per alguns com l'introduïdor del sistema periòdic a Espanya, dedicava les cinc últimes pàgines de la seva *Introducción al estudio de la química* [40] a explicar el sistema periòdic de Mendeléiev, tot incorporant comentaris sobre els descobriments de l'escandi i del gal·li. Tot i això, ni en un nou llibre més complet aparegut anys més tard ni en la seva segona edició del 1913, la informació dels elements i els seus compostos no s'organitzava encara segons el sistema periòdic [41]. La mateixa opció és la que adoptaren Gabriel de la Puerta i Eugenio

Piñerúa, professors de química general i de química inorgànica de la Universidad de Madrid, respectivament, els quals consideraren important el fet de comentar el sistema periòdic de Mendeléiev, encara que no el van adoptar com a principi organitzador dels seus manuals publicats els anys 1896 i 1901 [42]. El cas més sorprenent és el de Ramón Torres Muñoz de Luna, catedràtic de la Universidad de Madrid i únic químic espanyol que va assistir al primer congrés internacional de química, celebrat l'any 1860 a Karlsruhe, al qual van assistir Mendeléiev i Meyer. Aquest professor va publicar diverses edicions d'un manual de química general en dos volums, en el qual encara a la quarta edició, del 1877 [43], no fa cap menció al sistema periòdic ni als seus autors. Una altra indicació que al sistema periòdic li va costar molt d'introduir-se a Espanya l'ofereixen alguns textos amb una ordenació alfabètica dels elements encara al final del segle XIX [44] i fins i tot ben entrat el segle XX, com és el cas del de Vila Vendrell [45], catedràtic de química general de la Universitat de Barcelona.

Evolució del sistema periòdic al segle XX

El canvi més important des de la primera proposta del sistema periòdic per part de Mendeléiev és, sens dubte, l'ordenació dels elements pel seu nombre atòmic, ja en el segle XX. L'obtenció per desintegració radioactiva d'elements amb pesos atòmics diferents dels coneguts va generar problemes per encabir-los en la taula periòdica. D'una manera gairebé simultània, la introducció de dos nous conceptes va permetre resoldre el problema. En primer lloc, la proposta del nombre atòmic per part de Van der Broek i Moseley. Encara que Newlands ja havia publicat el 1864 una taula periòdica amb els elements numerats i sense pesos atòmics, encara no hi havia una definició de *nombre atòmic* [3]. Va ser Van der Broek qui en va fer la primera proposta clara, tot dient que la relació trobada per Rutherford entre el nombre de partícules desviades per un àtom i el quadrat de la seva càrrega nuclear es pot explicar si aquesta s'associa a la posició de l'element en la taula de Mendeléiev. El mateix any, Moseley va observar que les freqüències d'emissió de raigs X dels elements (figura 12) depenen de la seva posició en el sistema periòdic. A partir d'aquesta observació, definí el nombre atòmic i explicà la seva relació amb la freqüència basant-se en el model atòmic de Bohr proposat recentment. Moseley va reconèixer explícitament al seu arti-

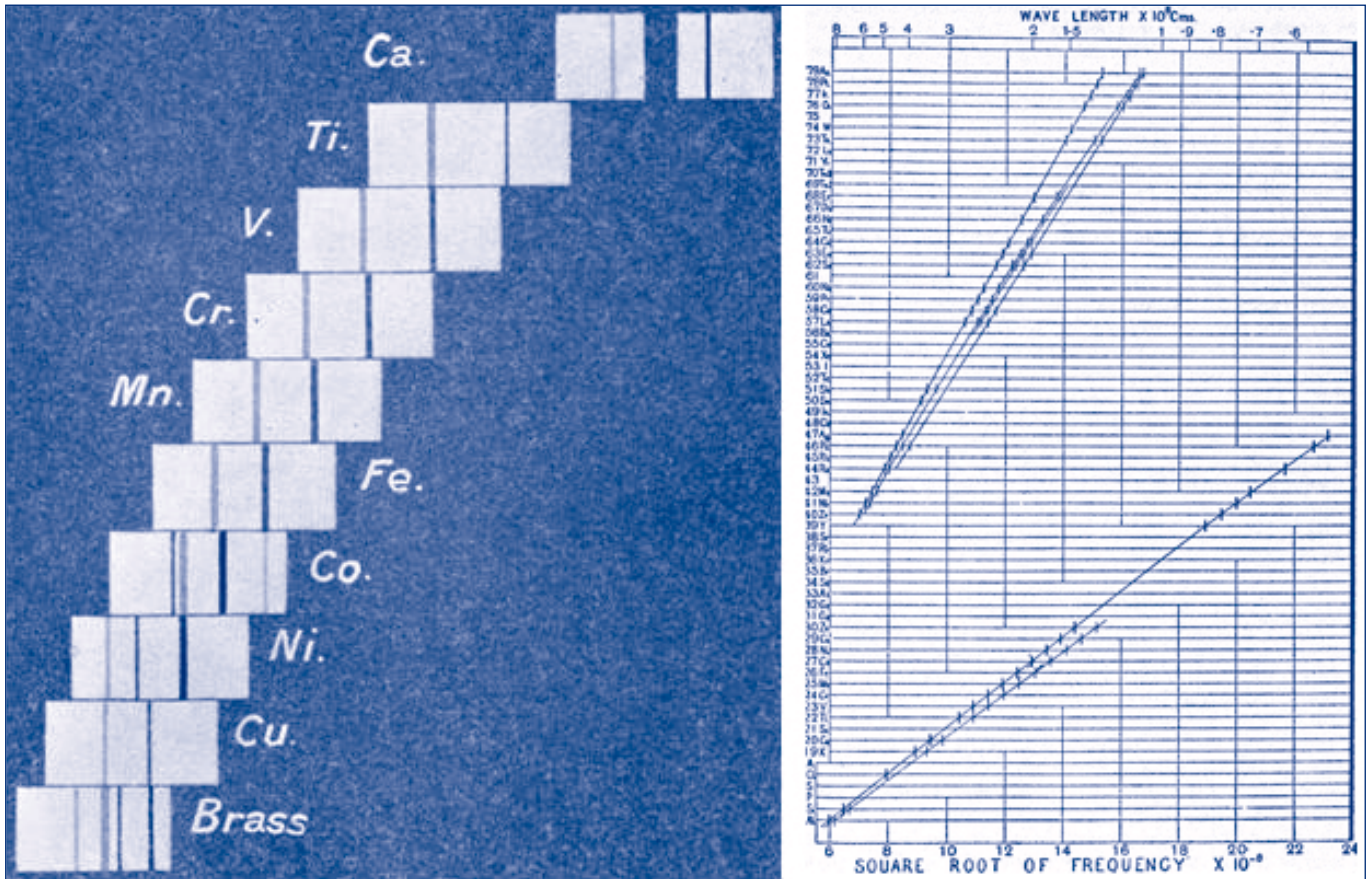


FIGURA 12. Espectres d'emissió dels metalls de transició —esquerra— i relació entre les freqüències d'emissió i el nombre atòmic —dreta—, publicats per Moseley l'any 1913.

cle que el seu experiment confirmava la proposta de Van der Broek i va emprar per primera vegada el terme *nombre atòmic* per referir-se a la posició d'un element a la taula periòdica i a la seva càrrega nuclear. Tan sols setmanes després, en una nota sobre la naturalesa de les partícules α i β , Rutherford va donar suport a les propostes d'ambdós autors, tot adoptant ja el nom de *nombre atòmic* i conclouent:

Semblaria que la càrrega del nucli és la constant fonamental que determina les propietats físiques i químiques de l'àtom, mentre que el pes atòmic, encara que segueix aproximadament l'ordre de la càrrega nuclear, és probablement una funció complicada d'aquesta que depèn de l'estructura detallada del nucli.

Un cop adoptat el nombre atòmic com a criteri d'ordenació dels elements, aquells que s'havien col·locat en el lloc que els corresponia per la seva química però no pel pes atòmic quedaven ara ben ordenats. Més important encara, quedava clar que a la taula periòdica restaven tan sols uns pocs forats per a elements amb un nombre atòmic menor que el de l'urani, que

s'anirien descobrint al llarg del segle xx: Tc, Pm, Hf, Re, At i Fr.

El segon concepte cabdal introduït l'any 1913 és de Soddy, que va explicar d'una manera convincent que substàncies amb diferents pesos atòmics han de correspondre al mateix element si tenen el mateix nombre atòmic. A les espècies del mateix element amb diferent pes atòmic les va anomenar *isòtops*, a partir de dues paraules gregues, tot indicant que ocupen el mateix lloc a la taula periòdica. L'acceptació d'aquests dos conceptes devia ser pràcticament immediata, ja que, poc després, trobem la taula periòdica ordenada per nombres atòmics al llibre de text d'Hildebrand [46], professor a la Universitat de Califòrnia a Berkeley. Ben aviat, Langmuir fa per primera vegada una taula periòdica en què cada element va acompanyat del seu nombre d'electrons de valència. Però no és fins que Pauli planteja el principi d'exclusió i Uhlenbeck i Goudsmith proposen el nombre quàntic d'espín (1925) que s'han pogut associar les diferents longituds dels períodes dels elements a l'estructura electrònica dels àtoms. Tot i això, Scerri ens fa observar que no és la mecànica quàntica, sinó

una regla empírica, allò que determina quin és l'últim element d'un període [3]. Penseu en el tercer període, encapçalat pel sodi: aquest comença a emplenar la capa amb nombre quàntic $n = 3$, però es completa sense ocupar els orbitals $3d$. Seguim, per tant, acceptant que un període es tanca quan s'assoleix la configuració de gas noble, és a dir, quan s'omplen els orbitals np —amb l'excepció, és clar, del primer període, que es completa amb la configuració $1s^2$.

El segle xx es caracteritza per l'addició d'elements artificials a la taula periòdica. El primer d'ells, el tecneci, va ser identificat per Perrier i Segré el 1937 en una mostra de molibdè que havia estat irradiada amb deuteri per E. O. Lawrence. Aquests investigadors van demostrar que, a més de zirconi i *columbi* —actualment niobi— no radioactius, hi havia un metall radioactiu amb un comportament químic molt semblant al del reni i que havia de correspondre a l'element 43. El van seguir el neptuni, primer element transurànid, i el plutoni, preparats tots dos a Berkeley. Poc després, Seaborg proposà la darrera —fins ara— modificació significativa de la taula periòdica, consistent a col·locar els elements més pesants que l'actini sota els lantànids i anomenar-los *actínids*. Aquesta família es va completar l'any 1961, amb l'obtenció d'un microgram de lawrenci —element 103— a Berkeley per bombardeig de californi amb neutrons i dos isòtops de bor.

La figura més representativa de la recerca de nous elements artificials, Glenn Seaborg, va resumir en un llibre tot el coneixement adquirit al llarg del segle xx sobre aquests elements [47]. El llibre s'inicia preguntant-se quins són els límits de la taula periòdica i, basant-se en el model nuclear de Huizenga, arriba a la conclusió que es podrien detectar nous elements fins al 125. Aquest llibre dedica capítols a la història del descobriment dels transurànids, a les seves propietats químiques, a l'estructura nuclear i els processos de desintegració radioactiva, a tècniques experimentals i aplicacions pràctiques. També hi ha un interessant capítol que recull l'abundància natural dels elements artificials i explica la paradoxa que aquests elements es puguin trobar a la natura.

Malgrat la curtíssima vida mitjana dels elements transactínids, poc abans del 1970 es va predir que hi hauria d'haver un grup de nuclis amb vides mitjanes relativament altes, que es correspondrien a aquells isòtops amb número atòmic del 112 al 114 i amb prop de 184 neutrons, que es va anomenar *l'illa de l'estabilitat*. La detecció de dos àtoms de l'element 112 l'any



FIGURA 13. Amfiteatre de la Universitat de Leipzig, on impartia classes Kolbe, presidit per la taula periòdica i una citació bíblica (1872). Reproduït amb l'autorització del Deutsches Museum München.

1996 va confirmar aquestes prediccions. Els últims elements batejats per la IUPAC el 2006 són el 110, darmstadtí, i el 111, roentgeni. Encara que els últims anys s'han detectat tots els elements compresos entre el 112 i el 118, excepte el 117, aquests resten pendents de confirmació i de l'assignació de nom i símbol conseqüent.* Potser el més destacable dels experiments amb aquests elements és el fet que amb tan sols dos àtoms s'ha pogut establir que l'element 112 té un comportament químic semblant al del mercuri.

Els elements en els textos literaris

A més dels textos de química que s'ocupen dels elements i que acabem de comentar, no voldríem deixar de banda els llibres que ho fan des de la vessant literària. Comentarem alguns exemples significatius, sense cap pretensió de ser exhaustius. Recentment s'ha publicat un article relacionat que indaga sobre la presència dels elements en el món de la música [48].

Potser la citació literària més antiga que s'associa amb la taula periòdica es troba a la Bíblia, al *Llibre de la Saviesa* (11:20),

* Amb aquest article ja en mans de l'editor, s'han produït dues novetats. La primera és l'acceptació per part de la IUPAC del nom *Copernici* i el símbol Cn per a l'element 112, en honor de Nicolau Copèrnic. L'altra és la confirmació l'obtenció de l'element 117 a l'Institut Conjunt d'Investigació Nuclear de Dubna, Rússia. Mitjançant el bombardeig de nuclis de ^{249}Bk radioactiu amb ^{48}Ca , un equip d'investigadors russos i nord-americans han generat i identificat dos isòtops del nou element, ^{293}Uus i ^{294}Uus (Yu. Ts. Oganessian et al., *Phys. Rev. Lett.* 104 [2010] 142502).

en un versicle que havia estat citat per Berzelius [49] molt abans de la proposta de Mendeléiev d'ordenar els elements pel seu pes atòmic:

Déu ha disposat totes les coses en número, pes i mesura.

Més tard, Hermann Kolbe (1818-1884), professor a Leipzig des del 1865 i una de les grans figures de la química orgànica del segle XIX, va fer col·locar a l'aula on impartia les seves lliçons una taula periòdica encapçalada per aquesta citació bíblica (figura 13).

Una peculiar novel·la inspirada per la taula periòdica és *White lightning*, d'Edwin Herbert Lewis (1866-1938) [50]. Aquesta obra es va publicar el mateix any del descobriment de l'hafni i poc després que Moseley proposés el nombre atòmic. Té noranta-dos capítols, cadascun d'ells dedicat a un element. Com que alguns d'ells encara no s'havien aïllat, els seus corresponents capítols, en comptes de títol, tenen número —73, 61, 75 i 87. El capítol vuitanta-sis es titula *Nitron* —avui en diríem *radó*—, i el noranta-u, *Brevium* —ara protactini. A la novel·la cita químics com Mendeléiev, Marie Curie, Soddy i Rutherford. A banda de les connexions químiques d'aquesta novel·la, el seu valor literari és més aviat escàs. En paraules d'Arthur Greenberg, «la seva contribució més important a la literatura va ser probablement la seva filla, Janet Lewis (1899-1998), poetessa, dramaturga i novel·lista de renom».

L'escriptora Camille Minichino ha publicat una sèrie de novel·les policiaques sota el títol genèric de *A periodic table mystery*, cadascuna amb un assassinat relacionat amb un element químic: hidrogen, heli, liti, beril·li, bor, carboni i nitrogen. Per donar una idea del tipus de relació que tenen aquestes novel·les amb la taula periòdica —a banda del títol, és clar—, podem triar la que tracta de l'assassinat del nitrogen [51]. L'acció transcorre en l'ambient que envolta la Universitat de Berkeley i dos dels protagonistes són un químic teòric i una editora científica, les noces dels quals han portat a Berkeley una amiga íntima de la núvia, la detectiu que apareix a totes les novel·les de la sèrie, Gloria Lamerino. Una de les claus en la investigació d'un assassinat, entrecreuat amb un cas d'espionatge científic i un altre de tràfic de drogues, és la recerca que hauria de conduir a l'obtenció de l'azaful·lerè N_{60} , que s'espera que sigui un potent explosiu. A més de donar-li un fil conductor químic a la novel·la,

l'autora fa sovint l'ullet als lectors químics, amb un misteriós senyor Boyle que encarrega pizzes per telèfon, o amb la data del casament dels protagonistes, que coincideix amb l'aniversari d'Enrico Fermi, així com amb altres detalls que van apareixent al llarg de la novel·la i que deixem al lector el plaer de descobrir-los.

César Vallejo (Santiago de Chuco, Perú, 1892-París, 1938), més conegut com a poeta, va escriure el 1930 una novel·la titulada *El tungsteno* [52]. El seu argument es desenvolupa al voltant de les mines de tungstè de Quivilca, al departament de Cuzco, explotades per una empresa nord-americana. Pretén ser una obra de realisme social, que denuncia les condicions d'esclavatge a les quals són sotmesos els pobladors indígenes per tal d'augmentar la producció de la mina i cobrir les necessitats militars d'un país que es preparava per intervenir en la Primera Guerra Mundial. Una altra novel·la relacionada amb un element químic és *Rainbow Island*, de l'escriptor britànic Louis Tracy (1863-1928) [53]. Aquesta narra les peripècies de dos naufragats que troben una mina d'or en una illa deserta, s'han de defensar heroicament d'una incursió de pirates i acaben essent rescatats i fent-se amb la propietat de l'illa i del seu or.

En el terreny de les memòries i de les autobiografies, trobem dos excel·lents llibres que tot químic hauria de conèixer. Un d'ells és *El sistema periòdic*, de Primo Levi (1919-1987) [54], organitzat en vint-i-un capítols, cadascun sota l'advocació d'un element químic, cadascun una «història de química militant», segons Levi. A més d'aquestes històries relacionades amb l'exercici de la professió de químic, inclou records del seu internament al camp de concentració d'Auschwitz, records de família i un parell de narracions breus. Aquest llibre imprescindible és de difícil classificació i el mateix autor es veu obligat a explicar-ho al capítol del carboni:

No és un tractat de química... No és tampoc una autobiografia... És, o hauria volgut ser, una microhistòria, la història d'un ofici i de les seves derrotes, victòries i misèries... Quin químic, davant la taula del sistema periòdic, no hi reconeix dispersos els tristos esquinçalls, o els trofeus, del propi passat professional?

L'altre llibre de caire autobiogràfic recomanable és *Uncle Tungsten*, d'Oliver Sacks [55]. El títol fa referència a un oncle de l'autor que tenia una fàbrica de bombetes incandescentes i

que li va ensenyar a apreciar les propietats dels diferents metalls. En ell, el destacat neuròleg ens presenta unes memòries d'infància i d'adolescència en les quals destaca la seva gran afició per la química. Aquestes memòries evolucionen subtilment cap a una visió històrica de la química, en la qual té un lloc destacat el desenvolupament de la taula periòdica dins un capítol titulat «El jardí de Mendelèiev».

Una obra teatral de factura recent que gira al voltant d'un element és *Oxygen* [56]. Els seus autors són Roald Hoffmann, químic teòric i premi Nobel, i el pare de la píndola anticonceptiva, novel·lista i filantrop, Carl Djerassi. Planteja una reunió del Comitè Nobel per a l'adjudicació del primer premi retro-Nobel, dedicat a reconèixer els mèrits d'un descobriment anterior a la creació dels preuats guardons. Es vol premiar el descobriment de l'oxigen i els candidats són Lavoisier, Scheele i Priestley. Al llarg de la discussió, se'ns revelen les diverses actituds dels tres personatges davant el descobriment que en un moment o altre van tenir entre les mans, des del silenci temorós fins al màrqueting eficient, passant per una carta que es manté amagada per negar la prioritat al contrincant. Tot això adobat amb informació de primera mà, com algun document inèdit i fotografies d'un curiós necesser de Madame Lavoisier camuflat dins d'un llibre d'història del teatre, tots ells pertanyents a l'Arxiu Lavoisier de la Universitat de Cornell. En paral·lel, les discussions en el si del Comitè Nobel posen en evidència les tensions resultants de la competència entre els seus membres.

Àngel Terron, professor universitari de química inorgànica i poeta, anomenà el seu segon llibre de poemes *El llibre del mercuri*, i un d'ells el dedicà a un element, el plati [57]. En altres poemaris també ha glosat diversos elements, com l'estany [58], el cobalt, l'antimoni i el vanadi [59], el carboni i el sofre [60]:

Afegeix dues o tres espatulades de sofre
dins l'improvisat estri de laboratori,
encén el foc i encaixa la llauna i l'esfera nítida:
el sofre, corones de vuit àtoms enllaçats,
comença a fondre's.

Entre altres poetes que s'han ocupat d'algun element químic, trobem José Agustín Goytisolo, que escriví sobre el liti [61]. Erasmus Darwin, amb poemes que parlen de diversos elements, o altres autors preocupats per la relació entre els al-

quimistes i l'or, com Jorge Luis Borges, Rainer Maria Rilke, Balzac o Quevedo. Al *Canto general* de Pablo Neruda tenen protagonisme aquells elements que han estat una font de riquesa per als països llatinoamericans, alhora que l'objectiu de l'ambició dels conqueridors d'arreu. El poeta xilè canta al carbó i al sofre, a l'or i al coure i a altres metalls, com en aquests versos del poema *Minerales* [62]:

El vanadio se vestía de lluvia
para entrar a la cámara del oro,
afilaba cuchillos el tungsteno
y el bismuto trenzaba
medicinales cabelleras.

La taula periòdica al complet també té un lloc al parnàs. Així, al seu poema *Los profesores*, el poeta xilè Nicanor Parra la inclou en to irònic entre l'allau de coneixements al qual ha de fer front un estudiant de batxillerat [63]:

Los profesores nos volvieron locos
a preguntas que no venían al caso
...
a qué tanta manía pedagógica
¡tanta crueldad en el vacío más negro!
...
Ley de la gravitación universal
a qué familia pertenece la vaca
cómo se llaman las alas de los insectos
...
aparato respiratorio de los anfibios
órganos exclusivos de los peces
sistema periódico de los elementos
autor de *Los cuatro jinetes del Apocalipsis*
...
las preguntas de nuestros profesores
pasaban gloriosamente por nuestras orejas
como agua por espalda de pato.

Podríem concloure aquesta revisió de textos relacionats amb els elements i la taula periòdica amb una petita mostra de l'elegant i precisa descripció de la taula periòdica que fa el científic i poeta David Jou [64]:

Al darrer soterrani predomina l'artifici: els àtoms són molt breus,
un joc d'enginy que dura el temps de guanyar un nom i que es
desfà —ja no fan cap falta: són una fatiga que el món no sap ben
bé com suportar.

Agraïment

Els autors agraïeixen els nombrosos suggeriments, les informacions i les discussions per part de J. L. Gómez, L. Navarro, I. Parés, A. Gomar, C. Mans, J. R. Bertomeu-Sánchez, J. H. Maar i E. Scerri.

Referències

- [1] L'ordre dels elements, abans i després de Mendeléiev: <<http://www.bib.ub.edu/evirtuals/mendeleiev/1024.html>> (consulta: 29 abril 2010).
- [2] ÁLVAREZ, S.; SALES, J.; SECO, M. (2008). *Found. Chem.*, 10: 79-100.
- [3] SCERRI, E. R. (2007). *The periodic table: Its story and its significance*. Oxford: Oxford University Press.
- [4] MAAR, J. H. (2004). *Scientiae Studia, Sao Paulo*, 2: 33-84.
- [5] CLAVE, E. de (1641). *Nouvelle lumière philosophique des vrais principes et elemens de nature, Et qualité d'iceux*. Paris: Olivier de Varennes.
- [6] BOYLE, R. (1661). *The sceptical chymist. Or chymico-physical doubts & paradoxes. Touching the Spagyrist's principles commonly call'd hypostatical, as they are wont to be propos'd and defended by the generality of alchymists*. Londres: F. Crooke.
- [7] ULLOA, A. de; JUAN Y SANTACILLA, J. (1748). *Relación histórica del viage a la América Meridional*. Madrid: Antonio Marín
- [8] MACQUER, P. J. (1784). *Elementos de química-theórica*. Madrid: Pedro Marín. [Versió original: MACQUER, P. J. (1753). *Éléments de chymie-theorique*. Paris: Jean-Thomas Herissant.]
- [9] LAVOISIER, A.-L. (2003). *Tractat elemental de química*. Trad. de M. Artís. Barcelona: Pòrtic. [Versió original: LAVOISIER, A.-L. (1789). *Traité élémentaire de chimie*. Paris: Cuchet.]
- [10] DALTON, J. (1808). *A new system of chemical philosophy*. Manchester: S. Russell.
- [11] LUANCO, J. R. de (1884). *Compendio de las lecciones de química general: explicadas en la Universidad de Barcelona*. 2a ed. Barcelona: s. n.
- [12] GMELIN, L. (1849). *Hand-book of chemistry*. Vol. 2. Trad. de H. Watts. Londres: Cavendish Society, p. 1. [Versió original GMELIN, L. (1843). *Handbuch der Chemie*. 4a ed. Heidelberg: s. n.]
- [13] BERZELIUS, J. J. (1849). *Tratado de química*. Vol. 9. Madrid: Ignacio Boix, p. 216.
- [14] KARPENKO, V. (1980). *Ambix*, 27: 77-94. MANS, C. (2009). *Rev. Soc. Cat. Quím*, 9: 66-81.
- [15] CANNIZZARO, S. (1858) *Il nuovo cimento*, 7: 321-366. CANNIZZARO, S. (1969). *Sketch of a course of chemical philosophy*. Edimburg: Alembic Club Reprints.
- [16] MEYER, L. (1864). *Die modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Mechanik*. Breslau: Maruschke & Berendt.
- [17] HINRICHS, G. (1874). *The principles of chemistry and molecular mechanics*. Davenport: Day, Egbert, & Fidler.
- [18] VENABLE, F. P. (1896). *The development of the periodic law*. Easton: Chemical Publishing Co.
- [19] SPRONSEN, J. W. van (1969). *The periodic system of the elements: A history of the first hundred years*. Amsterdam: Elsevier.
- [20] CAHOURS, A. (1855-1856). *Leçons de chimie générale élémentaire professées a l'École Centrale des Arts et Manufactures*. Paris: Mallet-Bachelier.
- [21] MEYER, L. (1870). *Liebigs Ann. Chem., Supplementband 7*: 354-364.
- [22] PISARZHEVSKI, O. N. (1955). *Dmitri Ivànovich Mendeléiev: su vida y su obra*. Moscou: Ediciones en Lenguas Extranjeras.
- [23] MENDELÉIEV, D. I. (1891). *The principles of chemistry*. Trad. de G. Kamensky. Londres: Longmans. [Versió original: MENDELÉIEV, D. I. (1889). *Osnovy khimii*. 5a ed. Sant Petersburg.] MENDELÉIEV, D. I. (1892). *Grundlagen der chemie*. Sant Petersburg: Verlag von Carl Ricker. [Versió original: MENDELÉIEV, D. I. (1889). *Osnovy khimii*. 5a ed. S. II.: s. n.]
- [24] NEWLANDS, J. A. R. (1884). *On the discovery of the periodic law and on the relations among the atomic weights*. Londres: Spon.
- [25] MENDELÉIEV, D. I. (1871). *Liebigs Ann. Chem., Supplementband 8*: 133-229.
- [26] OSTWALD, W. (1900). *Grundlinien der anorganische Chemie*. S. II. Leipzig: Engelmann.
- [27] NEWTH, G. S. (1902). *A text-book of inorganic chemistry*. 9a ed. Londres: Longmans, Green & Co.
- [28] GORDIN, M. D. (2004). *A well ordered thing. Dimitrii Mendeleev and the shadow of the periodic table*. Nova York: Basic Books.
- [29] WERNER, A. (1911). *New ideas on inorganic chemistry*. London: Longmans, Green & Co. WERNER, A. (1905). *Ber. Deutsch. Chem. Ges.*, 38: 914.
- [30] BRUSH, S. G. (1996). *Isis*, 87: 595-628.
- [31] GORUP-BESANEZ, E. F. von (1873). *Lehrbuch der anorganischen Chemie*. 5a ed. Braunschweig: Vieweg, p. 414-415.
- [32] FITTIG, R. (1874). *Neues Handwörterbuch der Chemie*. Vol. 1. 2a ed. Braunschweig: H. von Fehling; Vieweg, p. 889.
- [33] RAMMELSBERG, C. F. (1874). *Grundriss der Chemie gemäss den neueren Ansichten*. 4a ed. Berlin: Habel, p. 412-414.

- [34] SCHÜTZENBERGER, P. (1880). *Traité de chimie générale*. 1a ed. París: Hachette.
- [35] MARCO, F. (1883). *Nozioni di chimica secondo li teorie moderne*. 6a ed. Torí: Paravia.
- [36] MARCO, F. (1887). *Elementi di chimica secondo il sistema periodico*. 7a ed. Torí: Paravia.
- [37] WURTZ, A. (1874). *Lecciones elementales de química moderna*. 2a ed. Trad. de J. Almera. Barcelona: Imprenta de Federico Martí y Cantó.
- [38] BONILLA MIRAT, S. (1881). *Tratado elemental de química general y descriptiva*. 2a ed. Valladolid: Hijos de Rodríguez.
- [39] BONILLA MIRAT, S. (1884). *Tratado elemental de química general*. 3a ed. Valladolid: Hijos de Rodríguez.
- [40] MASCAREÑAS, E. (1884). *Introducción al estudio de la química*. Barcelona: Crónica Científica.
- [41] MASCAREÑAS, E. (1903). *Elementos de química general y descriptiva*. 1a ed. Barcelona: Imprenta de Pedro Ortega. MASCAREÑAS, E. (1913). *Elementos de química general y descriptiva*. 2a ed. Barcelona: Imprenta de Pedro Ortega.
- [42] PUERTA, G. de la (1896). *Tratado de química inorgánica*. Madrid: Librería de la Viuda de Hernando y Cía. PIÑERÚA ÁLVAREZ, E. (1901). *Principios de química mineral y orgánica*. 2a ed. Valladolid: s. n.
- [43] TORRES MUÑOZ DE LUNA, R. (1877). *Elementos de química general*. 4a ed. Madrid: Librería de Sánchez.
- [44] MARCOLAIN SAN JUAN, P. (1884). *Ejercicios prácticos de química moderna: obra utilísima a los alumnos de segunda enseñanza y de universidad*. Saragossa: Establecimiento Tipográfico de Comas. LOZANO Y PONCE DE LEÓN E. (1891). *Elementos de química*. 2a ed. Barcelona: Jaime Jepús Roviralta.
- [45] VILA VENDRELL, S. (1915). *Tratado teórico-experimental de química general y descriptiva, con aplicación a la medicina, farmacia e industria*. Barcelona: Agustín Bosch.
- [46] HILDEBRAND, J. H. (1918). *Principles of chemistry*. Nova York: The Macmillan Company.
- [47] SEABORG, G. T.; LOVELAND, W. D. (1990). *The elements beyond uranium*. Nova York: Wiley.
- [48] ÁLVAREZ, S. (2008). *New J. Chem.*, 32: 571-580.
- [49] BERZELIUS, J. J. (1849). *Tratado de química*. Vol. 9. Madrid: Ignacio Boix, p. 185.
- [50] LEWIS, E. H. (1923). *White lightning*. Chicago: Covici-McGee.
- [51] MINICHINO, C. (2005). *The Nitrogen Murder: A periodic table mystery*. Nova York: Thomas Dunne Books.
- [52] VALLEJO, C. (1984). *El tungsteno*. Barcelona: Plaza & Janés.
- [53] TRACY, L. (1950). *Rainbow Island*. Londres: Ward Lock and Co.
- [54] LEVI, P. (1998). *El sistema periòdic*. Barcelona: Edicions 62.
- [55] SACKS, O. (2003). *El tío Tungsteno*. Barcelona: Anagrama.
- [56] HOFFMANN, R.; DJERASSI, C. (2001). *Oxygen*. Weinheim: Wiley-VCH.
- [57] TERRON, À. (1982). *El llibre del mercuri*. Sant Boi de Llobregat: Edicions del Mall.
- [58] TERRON, À. (1993). *De bell nou*. Barcelona: Café Central.
- [59] TERRON, À. (1996). *Iniciació a la química*. Palma de Mallorca: Moll.
- [60] TERRON, À. (2007). *À mon seul désir*. Palma de Mallorca: El Tall.
- [61] GOYTISOLO, J. A. (1996). *De las horas quemadas*. Barcelona: Lumen.
- [62] NERUDA, P. (1950). *Canto general*. Mèxic: Talleres Gráficos de la Nación.
- [63] PARRA, N. (1985). *Hojas de Parra*. Santiago de Xile: Ganymedes.
- [64] JOU, D. (1988). *Joc d'ombres*. Barcelona: Columna.