

La taula periòdica en l'ensenyament de la química, una invitació a pensar sobre els materials

The periodic table in the teaching of chemistry, an invitation to think about the materials

Carlos Agudelo / Universitat de Barcelona. Departament d'Educació Lingüística i Literària i Didàctica de les Ciències Experimentals i la Matemàtica

Mercè Izquierdo / Universitat Autònoma de Barcelona



resum

Reflexionem sobre la vigència didàctica del llegat de Mendeléiev, una aventura intel·lectual que va respondre preguntes cabdals i que va orientar la construcció de l'àtom. Destaquem la massa atòmica com un pont entre els fenòmens i l'abstracció intel·lectual, clau en una química escolar genuïna. L'argumentació gira al voltant de l'anàlisi de llibres de text i del relat habitual que presenta la taula periòdica com un aparador d'àtoms, la qual cosa minva l'oportunitat d'imaginar diverses eines d'explicació i desatén el sistema químic en què l'àtom va ser una de les propostes més útils i forassenyades.

paraules clau

Taula periòdica, llibres de text, massa atòmica, element químic, canvi químic.

abstract

We reflect on the current didactic validity of the legacy of Mendeleev as the intellectual adventure that answered key questions and guided the construction of the atom. We emphasize of the atomic mass as a link between phenomena and intellectual abstraction, which are nuclear aspects in a genuine school chemistry. The argument revolves around the analysis of textbooks and the usual narrative that presents the periodic table as an atom showcase, which undermines the opportunity to imagine various explanatory tools and unleash the chemical system in which the atom was one of the most useful and forewarned proposals.

keywords

Periodic table, textbooks, atomic mass, chemical element, chemical change.

Introducció

La reflexió entorn dels materials (com estan fets, per què tenen propietats diferents, què fa que s'assemblin els uns als altres, quines propietats tenen tots en comú i quines els fan diferents) és pròpia de la química i en podem trobar la petjada al llarg dels segles, potser mil·lennis, en la cultura, en les religions, en les

artesanies i en el discurs filosòfic. Ara, des dels paradigmes científics actuals, podem veure la taula periòdica com la culminació d'una aventura intel·lectual que ens meravella i, alhora, ens dona confiança en les possibilitats creatives de les persones, quan cerquen comprendre el món i posen en comú els seus coneixements. Perquè la taula periòdica

és ni més ni menys que una resposta global, ordenada, a la pregunta cabdal: per què canvien els materials de la manera que ho fan? A causa de l'audàcia de la pregunta i de la resposta, en la taula periòdica conflueixen coneixements diversos, aportacions innumerables de totes les persones que, treballant l'argila, fent el dinar o fent verins, treba-

llant el ferro i altres metalls, triant pedres per construir edificis o per fer-ne joies, han anat generant la complicitat entre la manipulació i el pensament que s'ha concretat en les recerques metòdiques de les ciències del segle XIX. I, com veurem, la pregunta continua oberta. La taula periòdica actual és un nou punt de partida que ens permet fer noves preguntes ben arrelades a l'experiència de viure en un món material en canvi constant.

Per tal de fer participar tothom en la gran aventura intel·lectual que se'ns mostra de manera «criptica» en aquesta taula tan familiar (i, de vegades, de mal record), a totes les persones que han estudiat química en algun moment de la vida, cal generar, en primer lloc, preguntes genuïnes sobre els canvis químics, per valorar l'audàcia dels símbols i conceptes amb què els interpretem. En paraules del poeta i químic Àngel Terrón (1977, p. 42):

... quan era un infant i es demanava el perquè de la duresa de les roques, el canvi del vi en vinagre, per què la sobrassada torna blanca, no sospitava la bellesa dels símbols, el bell alenar del coneixement i que la mirada seria un acte de creació...

Perquè només gràcies a la bellesa dels símbols podem compartir la mirada «simbòlica» que la taula periòdica ens proporciona, que ens permet contemplar en un sol full de paper la diversitat de canvis i de substàncies que es donen i són possibles en el món material en què vivim. Ara bé, els símbols funcionen quan «simbolitzen» quelcom; en el cas de la

taula periòdica, hem de poder copsar la diversitat enorme de canvis químics que endevinem en la lectura horitzontal i vertical dels rengles tan ben ordenats de caselles amb lletres i números que semblen ben misteriosos, a primer cop d'ull. Però la taula és més que una bona classificació. L'ordre que imposa permet veure-hi més lluny i ens aporta la sorpresa de la llei periòdica; les preguntes, impactants, que aquesta llei suscita s'han anat responent després de Mendelèiev, a mesura que l'àtom químic s'ha fet complex, quàntic. La taula s'ha transformat, s'ha «reinventat», i ara sembla que sigui una repartidora d'electrons, però el seu significat no ha canviat radicalment; la massa atòmica dels elements és «massa d'interacció química», i és per això que va ser un bon criteri de classificació. Tot i que ara filem més prim i parlem de *nombre atòmic*, que podem fins i tot parlar de dues taules (la de les masses i la dels nombres), ambdues són, en primer lloc, un sistema de canvis químics vistos des de dues perspectives diferents però complementàries.

El context de l'Any Internacional de la Taula Periòdica dels Elements Químics ens brinda una gran oportunitat per reflexionar sobre la funció didàctica d'aquesta construcció icònica de la ciència, que és fonamental tant en la investigació científica capdavantera (Hoffman, 2009; Scerri, 2013) com en la didàctica de les ciències (Erduran, 2013; Izquierdo Aymerich, 2013; Tobin, 2013; Izquierdo Aymerich, 2014). La seva publicació és una fita històrica; comprendre-la bé requereix dominar els conceptes bàsics de la química: la diferència entre *element* i *substància elemental*, la interacció química entre substàncies i les seves regles, l'àtom de la química. Per això, és una pedra angular en el disseny

de la química escolar, que l'ha de tenir sempre a mà (Izquierdo Aymerich, 2013; Izquierdo Aymerich, 2014).

La taula periòdica en els llibres de text

Presentem aquí alguns resultats i implicacions didàctiques d'una investigació recent sobre la taula periòdica en els llibres de text, que continua oberta per la doctora Rita Linares (2004) entorn de l'ensenyament de la taula periòdica. Vam dissenyar un instrument per analitzar una mostra de divuit llibres de text de l'ESO i el batxillerat. Volíem esbrinar la manera de presentar la taula periòdica: com un aparador dels àtoms, en el qual se n'exhibeixen les partícules i les característiques, o com a representació d'un sistema químic que serveix per explicar fenòmens.

Quatre significats de l'element químic en un diagrama bidimensional

El repte intel·lectual que ha significat la pregunta «Què és allò que es conserva en els canvis químics?», que introdueix el concepte *element*, ha deixat una empremta de coneixement rica i interessant. Sovint, però, aquesta empremta es presenta amb confusió tant als alumnes com als professors, perquè el concepte *element* ha anat canviant de referents al llarg del temps, i aquests referents pertanyen a diversos nivells de definició, tant espacials (d'escala) com d'abstracció.

Pel que fa als nivells espacials, l'element ha estat referit tant al món macroscòpic com a l'atòmic: ha estat substància simple, caracteritzat per propietats macroscòpiques observables, i ha estat també un determinat tipus d'àtom, caracteritzat per la quantitat de protons o pel valor de la càrrega del seu nucli.

Quant als nivells d'abstracció, l'element químic ha estat una entitat tan real i tangible com ho és un «cos simple» que es presenta en un determinat estat d'agregació en unes determinades condicions de pressió i temperatura, o tan abstracte com un «principi» que sobreviu al canvi químic i que aporta propietats als compostos que forma.

Cadascun d'aquests nivells de definició (macroscòpic, atòmic, realista i abstracte), interrelacionats, presenta unes característiques pròpies que s'han de tenir en compte per comprendre la utilitat explicativa de l'entitat teòrica *element*, de la seva periodicitat química i, en coherència amb això, poder donar sentit a la taula periòdica. En cas contrari, tant l'element com la taula estaran buits de sentit per als alumnes que aprenen química.

Per tal d'esbrinar en quin o quins d'aquests contextos se centren els relats que presenten la taula periòdica en els llibres de text, i si hi ha una coherència en relació amb la seva funció didàctica, hem dissenyat un instrument d'anàlisi que és un gràfic bidimensional. Una dimensió representa els dos nivells espacials en què pren sentit aquest terme (o d'altres): macroscòpic i atòmic; l'altra representa els dos contextos cognitius: realista i abstracte. La superposició de les dues dimensions conforma l'esquema general (fig. 1).

En aquest esquema general es poden veure quatre quadrants que ajuden a expressar, a partir de diversos aspectes que explicarem tot seguit, si un relat està més centrat en significats macro/real, atòmic/real, macro/abstracte o atòmic/abstracte.

A continuació, presentem quatre versions específiques de l'esquema general, corresponents als quatre aspectes que vam estudiar dels llibres de text: les

etiquetes o expressions que fan servir per referir-se a *element*, els atributs de les entitats elementals, les propietats periòdiques i els ítems més habituals en els capítols de presentació de la taula periòdica tenint en compte el seu ordre a la seqüència didàctica.

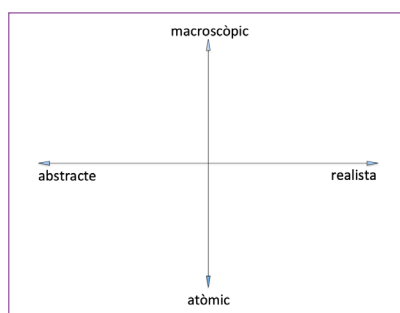


Figura 1. Esquema bidimensional general.

Expressions per referir-se a element

Un dels consensos de la investigació en l'ensenyament de la taula periòdica és la polisèmia del terme *element*, perquè té diversos referents i, alhora, per a cada referent hi ha diferents expressions. Aquesta polisèmia pot ser interessant, si se'n fa un ús contextual, però, si no, genera confusió entre els estudiants que encara no han donat sentit a l'entitat elemental a cada context. Expressions com ara «substància simple», «substància elemental», «tipus d'àtom», «tipus de nucli», etc., es fan servir sovint com a sinònimes d'*element*, cosa que és raonable, quan es pot relacionar amb el seu context, però que no ho és, si el terme *element* està descontextualitzat. L'esquema ens va permetre veure si un text que parla dels elements és coherent i si està centrat en un nivell determinat.

Vam procedir de la manera següent. Primerament, vam seleccionar totes les expressions que fan servir els llibres de text per referir-se a l'element: substància pura (SP), entitat abstracta (EA), substància bàsica (SB), substància elemental (SE),

substància simple (SS), bloc fonamental de la matèria (BF), tipus d'àtom (TA), tipus de nucli (TN), element químic o, simplement, element (EL). Posteriorment, vam ubicar cada etiqueta en un quadrant segons la combinació conceptual que representa; per exemple, quan un relat es refereix a l'element com a TA, s'està referint al nivell atòmic, pel que fa a la dimensió espacial, i al realista, pel que fa a la dimensió cognitiva, perquè s'assumeix l'existència física de l'àtom.

A la fig. 2 s'ensenyava la posició que vam fer servir per a cada una de les etiquetes. S'hi pot apreciar, també, que hi ha tres etiquetes sobre l'eix de la dimensió cognitiva: EA, SB i EL. Les etiquetes EA i SB, però, estan a la «zona abstracta», amb la qual cosa volem representar que es refereixen a l'element com a concepte i no com a entitat amb existència física. Ara bé, el fet d'estar sobre l'eix representa que són concepcions dels dos nivells d'escala espacial: macroscòpic i atòmic. L'etiqueta EL es troba al centre, cosa que reflecteix la polisèmia global del terme.

Atributs dels elements

Els elements tenen atributs que els caracteritzen i també es poden representar en el diagrama. Els atributs que vam trobar en els llibres de text corresponen a expressions com ara: «no es pot descompondre mitjançant procediments químics» (NOD), «sobreviu al canvi químic» (SCQ), «manca de propietats macroscòpiques» (CPM), «es caracteritza pel nombre atòmic» (NAT), «pel seu lloc a la taula periòdica» (LTP), «pel nombre de protons» (NPR), «per la massa atòmica» (MAT) o «per la càrrega nuclear» (CNU).

Si en presentar la taula periòdica, per exemple, ens referim als elements com les entitats que estan caracteritzades

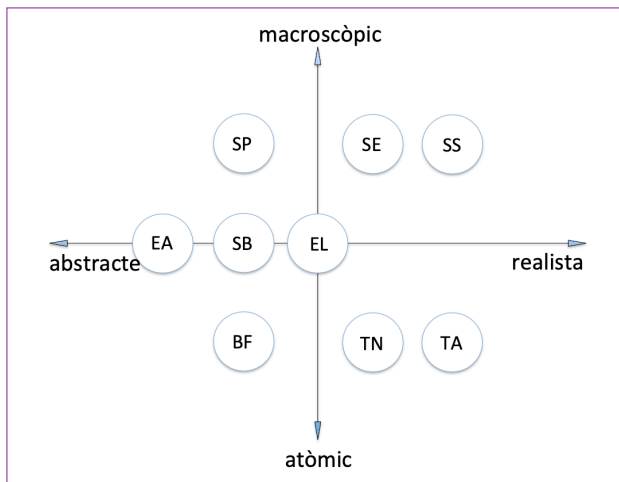


Figura 2. Esquema bidimensional «Etiquetes d'element».

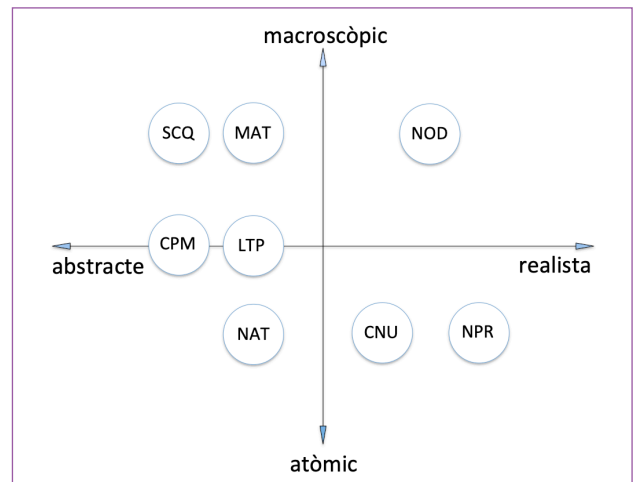


Figura 3. Esquema bidimensional «Atributs dels elements».

pel nombre de protons, ens trobem en un context atòmic i realista, però si en parlem com un principi que sobreviu al canvi químic, es tracta d'un context macroscòpic i abstracte. L'esquema és el de la fig. 3.

Com a l'esquema de la fig. 2, alguns atributs estan sobre l'eix de la dimensió cognitiva, CPM i LTP, la qual cosa representa que pertanyen tant al nivell macroscòpic com a l'atòmic, però tots dos són abstractes, no tenen existència física.

Propietats periòdiques dels elements

Un dels ítems més habituals en els llibres de text quan s'hi introdueix la taula periòdica és el que tracta les propietats periòdiques, les quals, com veurem a l'esquema de la fig. 4, també poden pertànyer als nivells de definició que discutim. Per exemple, quan diem que el radi atòmic és una propietat periòdica, ens trobem en els nivells atòmic i realista, ja que considerem l'àtom com una entitat amb existència física. Si parlem de les temperatures d'ebullició i de fusió com a propietats periòdiques, ens trobem també en el nivell realista, però macroscòpic. A la fig. 4 es pot veure el diagrama resultant. Les sigles són les següents: densitat (DENS), punts d'ebullició

i de fusió (PEYF), capacitat de combinació química (COMB), reactivitat (REAC), fórmules dels compostos que forma (FCQF), valències (VALE), nombres d'oxidació (NOXI), energia de ionització (EION), radi atòmic (RATM), afinitat electrònica (AFEL), radi iònic (RION), electrons de valència (EVAL), electronegativitat (ELNG), orbital diferenciador (ODIF), configuració electrònica de valència (CFEV), caràcter metàl·lic (CMET) i estructura de la substància simple (ESSS).

Com a les fig. 2 i 3, s'han ubicat algunes propietats sobre l'eix de la dimensió cognitiva. En aquest cas, tenim la propietat ESSS en el nivell abstracte i CMET, en el realista. L'ESSS és una propietat intermèdia entre els nivells macroscòpic i atòmic perquè es refereix a «l'arquitectura» estructural dels àtoms, imaginada a partir de les propietats observables, mentre que el CMET pot pertànyer a nivells espacials diferents, segons si s'expressa en termes de guanyar o perdre electrons (atòmic) o en termes de lluentor, conductivitat, etc. (macroscòpic).

Seqüències per introduir la taula periòdica

Malgrat la diversitat de recursos retòrics que trobem en els llibres de text per presentar la

taula periòdica, hi ha algunes regularitats a partir de les quals vam construir l'esquema de la fig. 5, basat també en el que hem estat treballant. Vam ubicar els ítems més habituals de les seqüències que presenten la taula periòdica en els quatre quadrants. En aquest cas, vam representar els ítems amb colors per raons de claredat.

Dos dels ítems, representats per el·lipses en comptes de rodones, corresponen a la taula de Mendeléiev, que hem denominat «TP de masses atòmiques» (TP de M), i a la que hem batejat com a «TP de nombres atòmics» (TP de N), que s'acostuma a anomenar *moderna, actual, més freqüent*, etc. Aquesta és la que habitualment acaben fent servir els llibres de text a partir del capítol en què la presenten. Fem ressaltar aquests dos ítems perquè l'anàlisi es basa en la seva posició relativa dins la seqüència didàctica, tal com explicarem més endavant.

Un relat habitual sobre la taula periòdica

Després de fer servir els esquemes anteriors per recollir i interpretar dades, podem dir que hi ha característiques comunes en diversos relats que permeten parlar d'un relat habitual. A continuació, en fem una breu descripció.

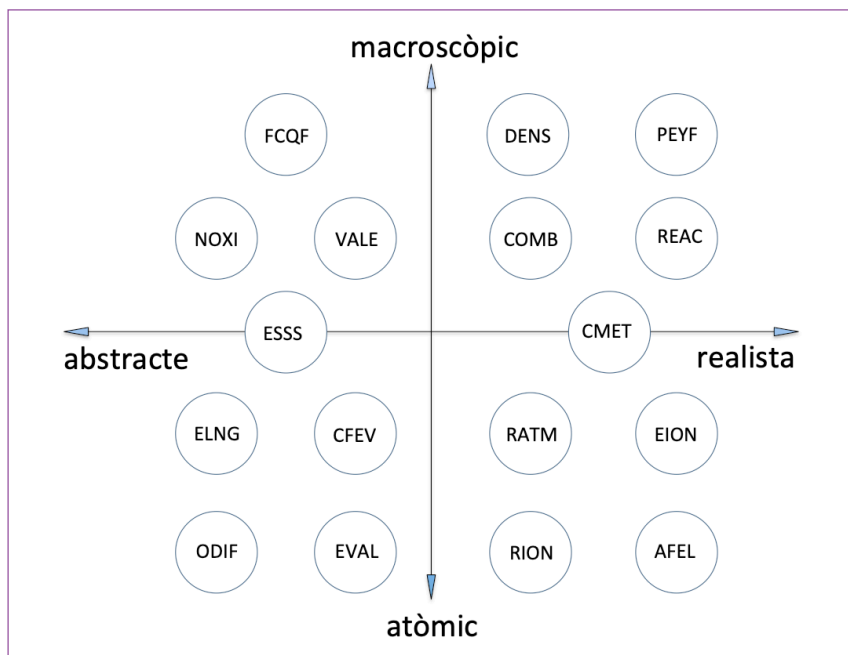


Figura 4. Esquema bidimensional «Propietats periòdiques dels elements».

Etiquetes, atributs i propietats periòdiques dels elements

Generalment, el capítol en què es presenta la taula periòdica és dedicat a «l'estructura de la matèria». En arribar-hi, habitualment, els llibres de text ja han presentat alguna definició d'*element químic* o s'hi han posionat implícitament. Al capítol en qüestió, però, no són tan estrictes a fer correspondre els termes amb els nivells de definició. Un lector iniciat pot saber que s'està parlant d'àtoms, per exemple, si llegeix que «el Fe té vint-i-sis protons», o de substàncies, si

llegeix que «el punt de fusió del Fe és 1538 °C», però els aprenents es podrien confondre, si no han donat sentit a la polisèmia de l'element.

A banda d'aquesta manca d'especificitat, també vam observar que molts relats se centren en el nivell atòmic, sobretot, i realista, és a dir, tracten les entitats elementals en sinonímia amb els àtoms i les seves partícules.

Pel que fa a les propietats periòdiques, habitualment se n'esmenten de tots els nivells, però es fa èmfasi en les atòmiques, que «funcionen» amb una

periodicitat més «matemàtica» que d'altres, com ara els punts d'ebullició i de fusió o la densitat.

La seqüència didàctica

Pel que fa a l'ordre dels ítems, també vam trobar algunes característiques comunes en diversos relats. El més habitual és presentar els models atòmics abans que la taula periòdica. Els models es plantegen en ordre cronològic, amb algun experiment crucial que, segons s'afirma, no pot ser explicat pel model en qüestió però sí pel següent. L'experiment del bombardeig de la làmina d'or per passar del model de Thomson al de Rutherford n'és un exemple.

En acabar la descripció de models atòmics, i arribats al model que el relat considera adequat per al nivell escolar del llibre de text, es presenta la taula periòdica de masses atòmiques, que sol ser descrita com una gran idea, però «equivocada», a causa de l'ús de la massa com a criteri d'ordenació. Aquesta «errada» es justifica en el context històric pel desconeixement del nombre atòmic i la imprecisió dels valors de massa atòmica coneguts en el moment, i es resta importància a la massa atòmica «química» com a característica elemental que sobreviu al canvi químic, tal com ho considerava Mendelèiev en construir el seu sistema. No s'aprofundeix en el fet que aquesta massa correspon a la magnitud *quantitat de substància*, en què no és massa inerta, atès que es calcula a partir de la interacció química. Els «problemes» o «incoherències» de la taula periòdica de masses atòmiques, segons els relats habituals, queden evidenciats davant el descobriment del nombre atòmic per part de Moseley, i immediatament s'associa al nombre de protons, que en el relat ja s'ha «descobert».

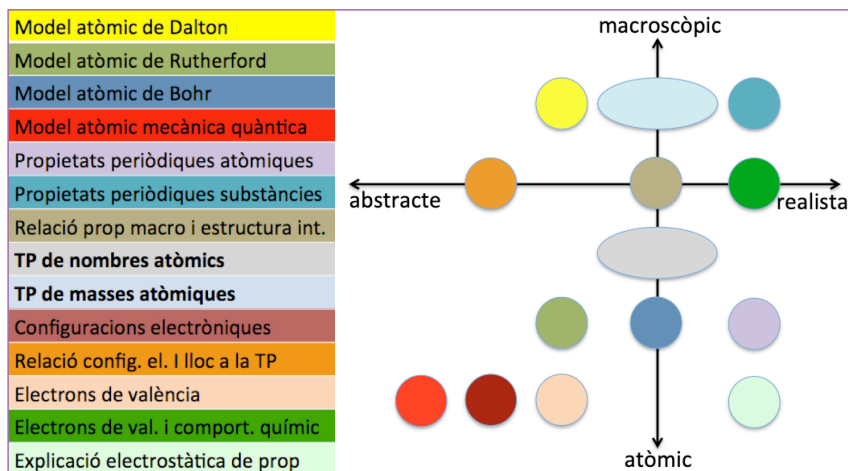


Figura 5. Esquema bidimensional «Ítems per introduir la taula periòdica».

D'aquesta manera, els relats més habituals transmeten la idea que la taula periòdica de masses atòmiques va ser un pas previ a la taula periòdica de nombres atòmics, més que no pas que les dues resolen problemes diferents en contextos diferents.

Un cop presentada la taula periòdica de nombres atòmics com a «moderna», «actual» o, simplement, com a «taula periòdica», el relat es dedica a aprofundir-hi centrant-se en les propietats atòmiques, tal com s'ha explicat.

Alguns relats (poc freqüents) presenten la taula periòdica de masses atòmiques abans de descriure els models atòmics, i li donen més importància ressaltant la massa atòmica i la valència. Diem, doncs, que aquests relats fan servir les dues taules com a construccions diferents, en lloc de fer-les servir com una sola que té dues etapes: l'una vàlida però equivocada i l'altra correcta.

A banda del relat habitual amb les característiques que hem descrit anteriorment, també hem trobat tipus de relats diferents. A la fig. 6, presentem quatre esquemes que ajuden a representar-ne alguns.

Exemples 1 i 2

La seqüència comença amb les propietats de les substàncies elementals, macroscòpiques, i presenta la taula periòdica de masses atòmiques fent servir un model d'àtom caracteritzat per la

massa atòmica com a propietat quantitativa que sobreviu al canvi químic. El model atòmic de Dalton serveix d'eina conceptual per passar del nivell macroscòpic a l'atòmic justificant, posteriorment, la necessitat de l'àtom de partícules per explicar determinades propietats, com ara la reactivitat. Els models d'àtoms de partícules es presenten *a posteriori* i es planteja el que es considera adequat per al nivell acadèmic del llibre. Fins a aquí, els dos tipus de seqüències són iguals. La diferència entre els exemples 1 i 2 és que el primer és d'una seqüència que fa servir les estructures internes de les substàncies per relacionar els nivells, mentre que la de l'exemple 2 acaba amb les propietats atòmiques «realistes», com ara l'afinitat electrònica, el radi atòmic, etc., sense plantejar les estructures internes com a propietats periòdiques.

Exemple 3

Aquest tipus de diagrama correspon a les seqüències que ni tan sols presenten la taula periòdica de masses atòmiques, sinó que passen directament a explicar la de nombres atòmics i estan dedicades exclusivament al nivell atòmic, entre abstracte i realista, dels elements químics.

Exemple 4

Aquest tipus d'esquema correspon a les seqüències més habituals, que tracten les dues taules com si fossin una única

representació en què la taula periòdica de masses atòmiques és un pas previ a la de nombres atòmics, que ocuparà el seu lloc per ser la «correcta».

Implicacions didàctiques i proposta

Què ens aporta aquesta reflexió als professors de química? Ens fa veure que la manera de presentar la taula periòdica en els llibres de text contribueix a perpetuar el que Chamizo (2013) descriu com a «posició dominant» del currículum (Agudelo, 2015), orientada cap a la formació de futurs químics i basada, fonamentalment, en la teoria corpuscular, en què els àtoms són els protagonistes de la química, més que les substàncies reals que intervenen en els fenòmens que hom vol explicar, predir i intervenir (Izquierdo Aymerich, García Martínez, Quintanilla Gatica i Adúriz Bravo, 2016). Ens fa veure també que la química és una disciplina en la qual la imaginació té més lloc del que li deixem.

On queden els ulls oberts de l'infant que es pregunta pel vi i el vinagre? I la impressionant aventura intel·lectual dels químics del XIX, que van bastir una «disciplina» amb un llenguatge de fórmules sense cap evidència d'aquests àtoms que ara ens ho expliquen tot? El polèmic àtom de la química va ser motiu d'agres disputes entre científics i no va ser acceptat de manera unànime

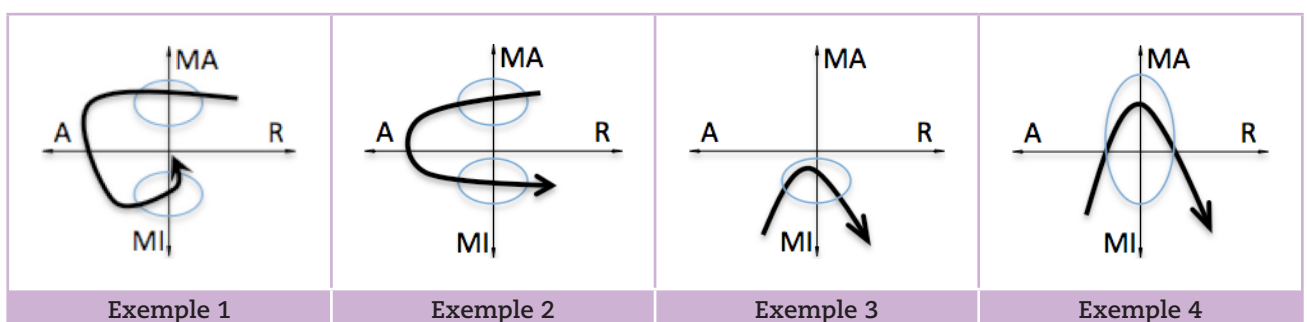


Figura 6. Tipus de seqüències en els llibres de text.

fins ja entrat el segle xx; tot i això, s'anava construint a poc a poc, representat amb símbols i fórmules que, al seu torn, donaven sentit al desordre aparent del laboratori químic. La química avançava de bracet amb l'àtom que anava inventant.

Podem dir que l'àtom de la química té més de la «bellesa del símbol» (tornem al poeta!) que de l'evidència de la lupa? Creiem que sí, i que l'hem de gaudir; no es pot assaborir, si no es comença per «fer química». Per això, no hem de veure la taula de Mendeléeiev com un intent fallit, sinó com la plasmació de la llei de periodicitat que el va enamorar, perquè era «global» i, amb això, un anunci de noves explicacions. La reinvençió de la taula periòdica fins a tenir la dels nombres atòmics és un triomf de l'aliança entre física i química al segle xx, una mostra més d'imaginació científica que ens ha de fer gaudir.

La taula que ensenyem als alumnes que s'inicien en la química ha de tenir com a referències el canvi químic i la massa atòmica química; l'àtom hi és, és clar, però deixem que el vagin imaginant a poc a poc i que, quan calgui arribar a l'àtom quàntic, s'escandalitzin per la proposta tan forassenyada que es fa.

Finalment, la taula periòdica s'ha de poder llegir de manera que ens mostri les relacions diverses i sorprenents (i difícils d'entendre, encara!) entre les substàncies elementals i compostes que constitueixen el nostre món i, també, com a disciplinat arrenjerament dels elements de tot el que és material.

Referències

AGUDELO, C. (2015). *La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química: clasificar o aprender*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

CHAMIZO, J. A. (2013). *De la paradoja a la metáfora: La enseñanza de la química a partir de sus modelos*. 1a ed. Mèxic: Siglo XXI.

ERDURAN, S. (2013). «Philosophy, chemistry and education: an introduction». *Science & Education*, vol. 22, núm. 7, p. 1559-1562.

HOFFMAN, D. C. (2009). «The periodic table. Key to past “elemental” discoveries. A new role in the future?». *Journal of Chemical Education*, vol. 86, núm. 10, p. 1122-1128.

IZQUIERDO AYMERICH, M. (2013). «School chemistry: an historical and philosophical approach». *Science & Education*, vol. 22, núm. 7, p. 1633-1653.
— (2014). «Pasado y presente de la química: su función didáctica». A: MERINO-RUBILAR, C.; ARELLANO, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguajes*. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

IZQUIERDO AYMERICH, M.; GARCÍA MARTÍNEZ, Á.; QUINTANILLA GATICA, M.; ADÚRIZ BRAVO, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

LINARES, R. (2004). *Elemento, átomo y sustancia simple: Una reflexión a partir de la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

SCERRI, E. (2013). *La tabla periódica: Una breve introducción*. Trad. de M. Paredes. 1a ed. Madrid: Alianza.

TERRÓN, À. (1977). *Iniciació a la química*. Palma: Tafal.

TOBIN, E. (2013). «Chemical laws, idealization and approximation». *Science & Education*, vol. 22, núm. 7, p. 1581-1592.



Carlos Agudelo

És doctor en didàctica de les ciències experimentals per la Universitat Autònoma de Barcelona. Investiga sobre l'ús didàctic de la taula periòdica a l'ESO i el batxillerat i sobre les emocions dels mestres en formació inicial davant la física i la química. És professor associat de la Universitat de Barcelona en el grau d'educació primària, on és tutor de pràctiques i imparteix didàctica de l'energia, la matèria i la interacció, i també matemàtiques, ciències experimentals i educació.
A/e: agudelocar@gmail.com.



Mercè Izquierdo

És doctora en ciències (química) i catedràtica de didàctica de les ciències a la Universitat Autònoma de Barcelona, on ha fet classes de química, d'història de la química i de didàctica de les ciències. La seva recerca se centra de manera específica en el llenguatge i els aspectes històrics i epistemològics que tenen influència en l'ensenyament de la química. Ha dirigit tesis doctorals i ha participat en programes de formació de professors en actiu i en projectes de recerca en col·laboració amb universitats de l'Estat espanyol i l'Amèrica Llatina. És codirectora de la revista *Enseñanza de las Ciencias*.
A/e: merce.izquierdo@uab.cat.