

Element AI

Claudi Mans i Teixidó / Universitat de Barcelona. Departament d'Enginyeria Química



resum

En l'article es reflexiona sobre l'ús ambigu dels termes *àtom* i *element* en diferents moments de la docència de la química. Es discuteix especialment el fet que, a les taules periòdiques dels elements, hi figurin barrejades propietats de l'element real en les condicions habituals d'existència amb propietats de l'àtom de l'element, i es donen algunes recomanacions per evitar les falses concepcions a què poden induir.

paraules clau

Àtom, element, taula periòdica, ús del llenguatge.

abstract

In this paper, a reflection is made about the different meanings of scientific terms, such as atom and element, and about the ambiguity of these meanings when used at different times in teaching chemistry. The discussion focuses on the fact that in many periodic tables, properties of the real element, as it is present in everyday life, are presented along with some properties of the element at an atomic level. Some recommendations are given in order to avoid the misconceptions that can be caused by these practices.

keywords

Atom, element, periodic table, language use.

Àtoms i elements

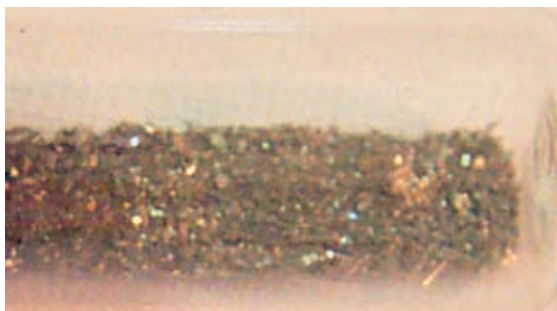
Que els conceptes d'*àtom* i d'*element* siguin conceptes bàsics i elementals de la química no implica que siguin conceptes senzills i unívocs. Per tal de constatar-ho, començarem amb una pregunta: quin és l'element del qual hi ha més àtoms al planeta Terra?

Solc fer aquesta pregunta als cursos i a les xerrades que faig per a professors. Les respostes són molt variades. Uns responen que el carboni basant-se en el fet que hi ha molta massa a la

biosfera. D'altres diuen que el silici, amb l'argument que encara hi ha més massa de litosfera que de biosfera. Alguns insinuen que l'hidrogen, tot argumentant que els termes *més àtoms* es refereixen no a la massa, sinó al nombre. D'altres es fixen més en el planeta en conjunt i afirmen que és el ferro, perquè cal comptar tot el que hi ha a l'interior del planeta, i allà el ferro és abundant. Però, si la pregunta es fa en grup, després d'una discussió, la major part dels assistents acaba acceptant que és l'oxigen, perquè

n'hi ha a l'atmosfera, a la hidrosfera, a la litosfera, a la biosfera i en compostos minerals no només de l'escorça terrestre, sinó també del mantell, abans d'arribar al nucli.

La meua resposta, normalment, produeix un cert desconcert. Al meu entendre, del que hi ha més àtoms és d'argó. La discussió posterior és immediata. És clar, no he preguntat quin és l'element més abundant, sinó quin és l'element del qual hi ha més àtoms (lliures). I ni el C ni el Si, ni el Fe, ni l'H, ni cap altre estan en forma



Una mostra de ferro.



L'aparència vermella d'aquesta aigua és deguda als cations Fe^{3+} que provenen de les roques.

diferència és que tenen vint-i-vuit, trenta, trenta-un i trenta-dos neutrons al nucli, respectivament. Efectivament, tots els isòtops del ferro estan enquistats en la mateixa casella, i això es reconeix en la massa atòmica relativa (per què se sol dir i escriure encara *pes atòmic*, quan el mateix professor s'ha estat esforçant unes setmanes abans en la distinció entre massa i pes?). La massa atòmica relativa representada és la mitjana ponderada de les masses atòmiques relatives dels isòtops, segons la seva proporció en l'element natural a la Terra, que són les següents: ^{54}Fe , al 5,8 %; ^{56}Fe , al 91,7 %; ^{57}Fe , al 2,2 %, i ^{58}Fe , al 0,3 %.

Però existeixen realment aquests àtoms, aquestes configuracions? Qualsevol isòtop de l'àtom de ferro en el seu estat fonamental existeix, però no el trobarem en el nostre entorn. A alta temperatura, un cop el metall ferro hagi fos i hagi bullit, en els vapors de ferro hi haurà àtoms de ferro, alguns en el seu estat fonamental, d'altres en estats excitats, i d'altres ionitzats, de manera que per a aquests dos darrers grups aquella configuració $[\text{Ar}]3d^64s^2$ tampoc no serà aplicable. Quan tenim molts àtoms de ferro separats en estat vapor i els apropem (refredant o augmentant la pressió) i portem el conjunt a les condicions normals, es transformen en metall ferro. I així passa. Però, evident-

ment, no és la manera típica d'obtenir el metall ferro. El ferro metàl·lic s'obté dels seus carbonats i hidròxids, on no hi ha tampoc àtoms de ferro, sinó ions, mitjançant torrefaccions i reduccions, transformacions químiques en les quals en cap moment no es passa per l'entitat àtom de ferro aïllat.

Moltes de les propietats que figuren a la taula referides al ferro s'apliquen no a l'àtom de ferro, sinó a la barreja de formes estables de l'element ferro tal com es troba en les condicions habituals de la superfície del planeta, amb l'estructura pròpia de sòlid metàl·lic. A la taula periòdica que ens ocupa, deu ser a 30°C , segons se'ns indica quan es fa referència a l'estat físic. El punt de fusió, el punt d'ebullició, la densitat, el mateix estat físic es refereixen al metall ferro habitual, normalment en aliatge amb altres metalls i carboni. Al metall o a l'aliatge, no hi trobem àtoms de ferro, sinó nuclis d'àtoms de ferro envoltats de vint-i-quatre electrons propers, i els altres dos electrons formant part del núvol electrònic comú.

Cal fer, doncs, molt d'èmfasi en el fet que estem parlant de realitats físiques diferents (el metall ferro i l'àtom de ferro) sota la mateixa denominació: l'*element ferro* o, simplement, el *ferro*. Aquelles taules periòdiques gràfiques que es poden trobar en diferents museus, on en cada símbol

de l'element hi ha una mostra (un tros de metall gris o ja rovellat per al ferro, un trosset groc de sofre, un globus amb gas hidrogen, un flascó amb mercuri líquid, un flascó amb sodi submergit en algun líquid orgànic, etc.), són vistoses i molt útils, perquè s'hi mostra la realitat quotidiana de les substàncies tal com se les descriu habitualment, però cal distingir i fer distingir els dos nivells del concepte.

La taula periòdica dels elements tal com els veiem

Per què no es pot fer una taula periòdica en la qual els símbols dels elements estiguin substituïts per la seva fórmula química real en l'estat habitual de l'element? La segona fila seria una cosa així:



Els metalls, en la seva forma habitual, formen estructures amb enllaç metàl·lic, i el subíndex n indicaria aquest tipus d'estructura. Quin deu ser el nombre mínim d'àtoms que permet considerar que tenim un tros de metall? Les tècniques de la nanotecnologia, que ens permeten veure visualitzacions dels àtoms —però, en sentit estricte, no *veure* els àtoms (Mans, 2009)—, ens mostren xarxes cristal·lines tal com s'imaginaven els models teòrics, i, en principi, el nombre n podria ser molt petit, el d'una cel·la unitat, vuit, nou o catorze,

segons com cristal·litzi el metall. Una altra cosa és si és possible manipular un trosset de ferro tan petit, o fins i tot d'un centenar d'àtoms. Hi ha tècniques, com les de la nanolitografia, que són capaces de captar un àtom d'una xarxa i incrustar-lo a una superfície d'un altre metall o compost. És aquest àtom un àtom d'un metall, en el sentit que tingui les propietats macroscòpiques de metall? Evidentment no. Com determinariem el seu punt de fusió, si un sol àtom no pot fondre?

D'altra banda, quan hi ha un nombre relativament petit d'entitats elementals constitutives d'una partícula, les propietats de la substància canvien: els cristallets molt petits tenen una solubilitat més elevada que els cristalls més grossos; les gotetes molt petites tenen una pressió de vapor superior a la del líquid en gotes més grosses. Tot això és degut a la major proporció de molècules, d'àtoms o d'ions propers a la superfície que hi ha en partícules petites comparades amb partícules més grosses, tal com és fàcil de calcular. I com que les entitats superficials tenen més energia, les seves propietats físiques són diferents.

El carboni, en qualsevol de les seves formes al·lotròpiques existents en condicions habituals, seria C_n . Aquí n indica, com en els metalls, un nombre gran en el

cas de la macromolècula del diamant o de la del grafit, i un nombre més petit (60) en el fullerè (o buckminsterfullerè, si som més polits), aquella molècula en forma de pilota de futbol, que és C_{60} . O un nombre més gran de 60 però finit en els nanotubs de carboni. Finalment, els gasos N_2 , O_2 i F_2 estan presents en forma de molècules diatòmiques en les condicions habituals, mentre que el gas inert Ar és una molècula monoatòmica.

El llenguatge que usem és ple d'ambigüitats, també el científic. Podem distingir sense ambigüitat entre el clor atòmic Cl i el seu ió clorur Cl^- , perquè tenen noms diferents, però hem d'especificar «àtom de sodi» i «ió sodi» per referir-nos a les entitats Na i Na^+ , perquè no hi ha un nom específic per al catió (Mans, 2007).

Aquest fet, que no ens genera cap problema i que ens permet dir tranquil·lament que el clorur de sodi està format per clor i sodi, sí que pot ser un problema per a l'estudiant, i ho és de ben segur per als mitjans de comunicació (Mans, 2008). L'ús acurat del llenguatge és sempre una bona pràctica, però en moltes ocasions el llenguatge col·loquial no ens permet dir els conceptes d'una manera científicament exacta, la qual cosa no té per què ser un problema sempre que quedi clar quin valor donem a les paraules en el context en què les diem.

Quan s'explica l'estructura atòmica dels elements, és habitual el fet de fer afirmacions del tipus següent, que caricaturitzo:

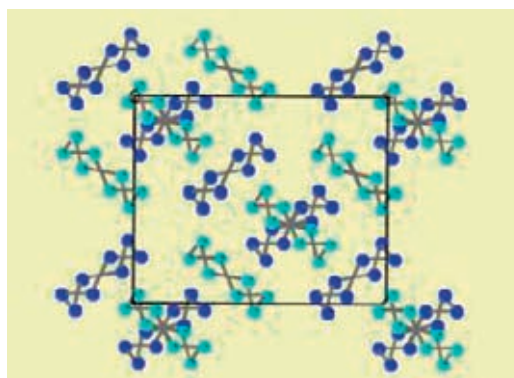
Tenim un àtom de gas noble, l'argó ${}_{18}Ar$, que, per tant, té els darrers nivells s i p complets, $3s^23p^6$.

Arriba un nou electró. On anirà? Doncs inaugurarà un nou nivell, el 4s, s'hi ubicarà, i tindrem el metall alcalí següent: el potassi ${}_{19}K$.

Ja s'entén el que es vol dir amb la frase anterior, però jo penso que s'hauria de millorar per augmentar-ne la precisió i la correcció. En particular, un nou electró no arriba, perquè les coses no van així, i, per descomptat, si aquest nou electró fos simplement acceptat per un àtom, el que tindriem és l'anió de l'argó, ${}_{18}Ar^-$, i no l'element següent de la taula periòdica. Tal com s'expressa la frase anterior, podríem arribar a imaginar que el que té lloc és una transformació nuclear inversa a una desintegració beta, i, per tant, hauríem d'imaginar que dels divuit protons del nucli, juntament amb el nou electró, s'uneixen per donar un neutró. El resultat seria un àtom de la mateixa massa atòmica i d'un nombre atòmic inferior en una unitat, és a dir, el ${}_{17}Cl$. Totes aquestes possibles males interpretacions (que ja sé que no es fan mai per part del professor, però que ens podem estalviar)



Cristalls de sofre.



Model del sofre ròmbic.

s'eviten simplement no induint a pensar que és l'evolució d'un àtom el que dona pas al següent. Es pot dir, per exemple:

Tenim un àtom de gas noble, l'argó $_{18}\text{Ar}$, que, per tant, té els darrers nivells s i p complets, $3s^23p^6$. L'àtom que té un electró més, que és el metall alcalí potassi $_{19}\text{K}$, quina estructura atòmica tindrà? L'electró de més que té aquest altre àtom estarà ubicat a l'orbital 4s, i...

Mendelèiev versus Darwin

Un aspecte molt interessant i que cal ressaltar és que, tal com sol passar en ciència, la taula periòdica dels elements es va dissenyar basant-se en una determinada idea, la de la periodicitat de les propietats dels elements en condicions habituals; i, en canvi, l'explicació bàsica de per què es dona aquesta periodicitat de propietats es troba en un altre concepte que no té gaire a veure amb el primer.

Efectivament, Mendelèiev i Meyer, pel segle XIX, van observar la regularitat de les propietats macroscòpiques dels elements en el seu estat normal: punts de fusió, estat físic, reactivitat, fórmula empírica dels compostos que donen, a més del pes equivalent de composició. I, en canvi, la propietat per la qual s'ordenen els elements a la taula periòdica (des de Moseley, ja durant el segle XX) és el nombre atòmic (però això Moseley no ho sabia).

Naturalment que no és casualitat que la taula basada en propietats macroscòpiques i la taula basada en l'estructura electrònica siguin anàlogues, perquè les propietats que tenen els elements-substància vénen determinades per la seva estructura molecular, iònica, metàl·lica o covalent, que al seu torn ve determinada per la manera com s'uneixen els nuclis per formar l'element real (element-substància), i la forma d'aquesta unió ve determinada per

Naturalment que no és casualitat que la taula basada en propietats macroscòpiques i la taula basada en l'estructura electrònica siguin anàlogues. L'ordenació dels elements en les seves propietats va ser posteriorment justificada a un nivell atòmic

l'estructura atòmica de l'element-àtom. Per exemple, ara és evident que els elements que acabin la seva estructura atòmica amb s^1 tindran una elevada electronegativitat i que això farà que reaccionin d'una determinada manera, ionitzant-se fàcilment i donant sals. L'ordenació dels elements en la taula periòdica basada en les seves propietats va ser posteriorment justificada a un nivell atòmic.

Aquesta és una situació que no és insòlita en ciència. Jo li veig un paral·lelisme amb la teoria de l'evolució i la selecció natural de Darwin i Wallace, en ple segle XIX. La intuïció i l'observació van permetre el fet de trobar regularitats en els éssers vivents, unes regularitats que Darwin i Wallace van constatar i ordenar, van assumir la hipòtesi d'un origen comú i van generar la teoria de la selecció natural i la supervivència del més apte. Amb aquesta hipòtesi, s'intueix el fet que d'una branca comuna s'han anat desprenent totes les branques d'éssers vivents per ser les que tenien unes condicions més favorables en el seu medi. I ha estat després, pel segle XX, en què la genètica, amb les eines de la bioquímica i de la biologia molecular (la química, en fi), ha explicat com aquesta evolució intuïda i teoritzada es pot dur a terme mitjan-

çant mecanismes de mutació i d'herència. Jo crec que és un paral·lelisme interessant i il·lustratiu de com la ciència avança a partir d'observacions, d'hipòtesis, d'experimentacions, de conclusions i d'aplicació de noves hipòtesis procedents d'altres branques científiques.

Referències bibliogràfiques

- MANS, C. (2007). «Negatius però positius» *Revista de la Societat Catalana de Química*, núm. 8, p. 75-77. Consultable a <<http://www.angel.qui.ub.es/mans>>
- MANS, C. (2008). «La vaca esfèrica. Conceptes científics quotidians que, d'entrada, jo no devia entendre bé». (Capítol 3: Composició): Rubes. Barcelona.
- MANS, C. (2009). «Podem veure els àtoms?» *Notícies per a Químics*, en premsa. Consultable a <<http://www.angel.qui.ub.es/mans>>
- SCERRI, E. (2007). «*The Periodic Table. Its Story and its Significance*». Oxford: University Press.



Claudi Mans (Badalona, 1948) és catedràtic del Departament d'Enginyeria Química de la Universitat de Barcelona. És autor de llibres de text i de divulgació, com ara *La truita cremada*, *Els secrets de les etiquetes*, o *La vaca esfèrica*, d'articles, de conferències i de comunicacions en congressos. És col·laborador de CosmoCaixa, del Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya, de l'Institut de Ciències de l'Educació de la Universitat de Barcelona i d'Alicia-elBullitaller. A. e. cmans@ub.edu. <<http://www.angel.qui.ub.es/mans>>