



Portada del nº 30 de L'ATZAVARA

8.06 PER QUÈ HI HA TANTS METALLS A LA TAULA PERIÒDICA? (2020)

L'ATZAVARA és una revista de divulgació científica editada per la *Delegació de la Serralada Litoral Central de la Institució Catalana d'Història Natural* i la *Direcció de Cultura de l'Ajuntament de Mataró*. A la serralada de Marina hi ha moltes atzavares.

De la revista en surt un número l'any, amb una exquisida maquetació i uns continguts molt seleccionats. L'any 2020 va sortir el número 30, corresponent a la temàtica desenvolupada el 2019, i que va ser -no és cap sorpresa- la taula periòdica dels elements químics. Es va fer el cicle de conferències "*Els elements endreçats: la taula periòdica i els seus misteris*", i cada autor va lliurar als organitzadors el text, en format adequat per a formar part d'una revista. Tots són molt interessants i ben fets.

La revista forma part del conjunt de revistes catalanes d'accés obert (RACO), i pot ser consultada en línia, a l'adreça següent: <http://www.dslc-ichn.cat/latzavara/>. Hi ha tots els exemplars, des del nº 1 de 1979.

El terme *atzavara* és de difícil pronúncia per als que no tenen el català com a llengua original. Va ser durant un temps el *password* dels informàtics d'una institució, no recordo quina.



Per què hi ha tants metalls a la taula periòdica?

Claudi Mans i Teixidó 

Universitat de Barcelona, Facultat de Química. Catedràtic jubilat.

Resum: La taula periòdica és un infograma que ajuda a ordenar les dades disponibles sobre els elements químics, tant els àtoms dels elements com les substàncies elementals. Aquesta ordenació facilita l'estudi i la comparació dels elements, i també suscita algunes preguntes. Una d'elles és com és que a la natura hi ha molts més metalls que no-metalls, fins a un 80%. A l'article es respon a aquesta pregunta veient que les configuracions electròniques dels diferents àtoms en determinen les propietats. Sabem que són metalls els elements que tenen un o dos electrons als nivells més exteriors, i això els dona les característiques pròpies de metalls: brillantor, duresa, o conductivitat elèctrica. El nombre d'electrons a subnivells electrònics inferiors (subnivells d i f) pot variar segons l'element entre 0 i 24, i tots seran de característiques metàl·liques pels 1 o 2 electrons del subnivell s més extern. En canvi, només seran de característiques no-metàl·liques els elements que tinguin alguns electrons externs al subnivell p, i que tindran tots els electrons d i f que els pertoqui. Aquests elements no són gaires en nombre: són els elements dels grups 14 a 18, i encara no tots...

SUMMARY: WHY ARE THERE SO MANY METALS IN THE PERIODIC TABLE OF ELEMENTS? – The periodic table is an infographic that helps to sort the available data on chemical elements, both the atoms of elements and elemental substances. This sorting facilitates the study and comparison between elements and also raises questions. One of them is why metals account for 80% of all elements in nature. This article answers this question by explaining that the electronic configurations of atoms determine their properties. We know that metals have one or two electrons at the external level, and this gives them metallic characteristics: shine, hardness and electrical conductivity. The number of electrons at lower electronic sub-levels (sub-levels d and f) may vary according to the element between 0 and 24, and all will have metallic features because of the one or two electrons of the more external sub-levels. On the other hand, only elements that have peripheral electrons at the external sub-level p, and that have all the electrons d and f that correspond to them, are non-metallic. These elements are few in number: the elements of groups 14 to 18, and not even all of them...

Introducció. Els elements

Una pregunta que comença amb un perquè es pot respondre a molts nivells. Podríem, simplement, afirmar que és que Déu ho ha volgut així. Però a una revista de divulgació científica com *L'Atzavara* hem de procurar donar-hi alguna explicació, que mostri que la resposta emergeix de principis científics més bàsics, explicació que no nega que, a un altre nivell, Déu ho hagi volgut així, evidentment. Procurarem respondre com és la taula periòdica dels elements químics, i on són ubicats els metalls a la taula periòdica. Actualment la taula periòdica està correlacionada amb la configuració electrònica dels elements, i veurem quina configuració tenen els metalls. D'aquí es deduirà per què en nombre hi ha molt més metalls que no-metalls a la taula periòdica i a l'univers, malgrat que hi ha molta més massa d'hidrogen i d'heli –no-metalls– que de la resta d'elements.

El concepte d'element químic té una llarga història: des de temps antics hi ha documentació de filòsofs que han buscat explicacions del perquè les coses són com són. Els grecs van postular que hi havia un sol element, o quatre, o cinc, segons el filòsof. Aristòtil va optar per cinc –aire, aigua, terra, foc i quinta essència o èter–, i el seu pensament va ser l'hegemònic fins a començament de l'Edat Moderna. Aquesta idea dels cinc elements va coexistir amb la filosofia atomista de Demòcrit, que creia que la matèria era formada per partícules de característiques variades i indivisibles, els àtoms. La filosofia atomista va ser rescatada el segle XVII per Robert Boyle, i els químics van definir criteris per poder decidir si es podia classificar una substància com a element. Amb les tècniques químiques modernes, el nombre d'elements identificats ha anat creixent, des dels 33 de Lavoisier als 63 de Mendeléiev, i els 118 actuals. La definició actual d'element químic, segons la IUPAC (2019) té dues versions: 1 Tipus

d'àtoms, que tenen el mateix nombre de protons al seu nucli atòmic. 2. Substància química pura composta per àtoms amb el mateix nombre de protons al nucli atòmic. Es denomina també substància elemental.

El nom d'un element –per exemple el clor (Cl)– és polisèmic: no determina si s'està parlant dels àtoms de l'element clor, o de la substància elemental constituïda per aquests àtoms Cl, és a dir, el clor gas, format per molècules amb dos àtoms de clor cadascuna, segons la fórmula Cl₂. I encara, en un llenguatge químic menys precís, el terme clor pot referir-se també a ions clorur (Cl⁻) constituents del clorur de sodi (NaCl), o encara a àtoms units fortament a altres formant molècules, com al clorur de metilè (Cl₂CH₂).

La taula periòdica dels elements

La classificació dels elements químics s'ha basat en diferents criteris, depenent dels coneixements científics del moment, i de l'objectiu que es volia assolir amb la classificació. La primera temptativa exitosa i que obtingué el reconeixement de la comunitat científica fou l'ordenació tabular de Mendelèiev (1869), que es basava en els pesos atòmics dels elements, determinats experimentalment mitjançant una gran quantitat de treball químic de moltíssims científics. Les característiques més destacables d'aquesta classificació són que mostrava una certa periodicitat de propietats físiques i químiques cada cert nombre d'elements; i que era possible fer prediccions sobre la proba-

ble existència de nous elements encara no descoberts quan la periodicitat de propietats induïa a pensar que hi havia buits a la classificació. El descobriment i caracterització de bona part dels elements que Mendelèiev va predir van donar a la seva taula periòdica i al seu autor el reconeixement de la comunitat científica.

Restava per saber el perquè l'increment dels pesos atòmics dels elements genera la periodicitat de les seves propietats, fenomen que en certa manera és contraintuïtiu. Per exemple, com és que hi ha substàncies de pes atòmic molt alt, però que tenen densitat molt més baixa que substàncies de pes atòmic més baix, com el clor (Cl) que és un gas de pes atòmic 35,5 i el carboni (C), tant el diamant com el grafit, que són sòlids de pes atòmic 12?

L'explicació es tingué quan es va poder tenir una visió més profunda de la constitució de la matèria i, en particular, dels àtoms. Per una banda, els espectres d'emissió dels elements van fer sospitar de l'existència d'una estructura interna en els àtoms. Per altra banda, la constatació de la naturalesa elèctrica de la matèria, i l'evidència de l'existència dels electrons, combinat amb postulats de la naixent mecànica quàntica, van permetre idear teories atòmiques que, convenientment modelitzades matemàticament, van portar al model d'àtom de Bohr, i als models posteriors. En el model de Bohr, cada àtom d'un element té un nombre d'electrons específic i diferent al d'un àtom d'un altre element. Cada àtom té el mateix nombre de càrregues positives o protons que negatives, els electrons. Aquests orbitaven al voltant

TABLE I.
Classification of the Elements According to the Arrangement of Their Electrons.

Layer. N	E = 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
I		H	He										
IIa	2	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne			
IIb	10	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	A			
IIIa	18	A	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	
			11	12	13	14	15	16	17	18			
IIIa	28	Niβ	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
IIIb	36	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Cb	Mo	43	Ru	Rh	Pd	
			11	12	13	14	15	16	17	18			
IIIb	46	Pdβ	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
IVa	54	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	61	Sa	Eu	Gd	
			11	12	13	14	15	16	17	18			
IVa			Tb	Ho	Dy	Er	Tm	Tm ₂	Yb	Lu			
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
IVa	68	Erβ	Tmβ	Tm ₂ β	Ybβ	Luβ	Ta	W	75	Os	Ir	Pt	
			25	26	27	28	29	30	31	32			
IVa	78	Ptβ	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	RaF	85	Nt			
IVb	86	Nt	87	Ra	Ac	Th	Ux ₂	U					

Figura 1. Taula periòdica de Langmuir (1919), la primera basada en l'estructura electrònica dels elements. En blau, elements amb símbol diferent a l'actual. En vermell, elements encara no identificats. En verd, isòtops d'elements (composició de l'autor).

– Hi ha set nivells principals d'energia n , d'1 a 7, que corresponen a les files horitzontals o períodes de la taula periòdica. Les dues files inferiors estan incloses a les caselles 57 i 89, respectivament, i per això no tenen numeració pròpia de període.

– A cada nivell d'energia hi podrien haver fins a 2, 8, 18, 32, 50, 72 i 98 electrons, segons l'equació $2n^2$. Però per ara només es coneixen elements amb els 4 nivells primers d'electrons complets. Dels nivells 5, 6 i 7 hi ha elements amb alguns electrons d'aquests nivells, però no tots, ni molt menys.

– Els electrons corresponents a cada nivell d'energia estan també ordenats en subnivells. Per raons històriques, els quatre subnivells coneguts fins ara es denominen s, p, d i f, i poden tenir cadascun 2, 6, 10 i 14 electrons, respectivament.

Hi ha algunes regles empíriques, amb alguna justificació teòrica, que permeten predir quina és la configuració electrònica més estable d'un determinat element d'un nombre atòmic Z donat (Wang i Schwarz, 2009). Els electrons d'un àtom sempre ocupen els subnivells de menor energia possible, tenint en compte les limitacions numèriques indicades abans. Però l'ordre d'energies dels subnivells no segueix el simple ordre dels nivells principals, sinó que els subnivells s'intercalen entre ells formant un intrincat esquema de nivells i subnivells mostrat a la figura 2. Com es pot veure a la figura, els electrons del subnivell 6s tenen menys energia que els electrons 4f o 5d, malgrat que formin part d'un nivell d'energia superior. A la mateixa figura s'hi mostra la notació habitual de la configuració electrònica de tres metalls: el bari ($Z=56$), el plom ($Z=82$) i l'holmi ($Z=67$). En els dos darrers s'hi pot apreciar la presència d'electrons al subnivell 4f.

Aquest ordre no intuïtiu d'energia dels subnivells pot visualitzar-se amb una analogia. Imagini el lector un hotel amb cambres baixes, molt poques, i a mida que es puja pels pisos hi ha més cambres. En quin ordre s'anirien omplint les cambres, si la direcció deixa actuar els hostes sense control? (fig. 3). Els requadres blaus vermells representen els subnivells s, els verds els subnivells p, els rosats els subnivells d i els blaus els subnivells f. Un hoste pot voler minimitzar la distància a la planta baixa triant nivells baixos i subnivells propers al centre. Si és molt amunt, probablement prefereixi subnivells s o p més alts en lloc de subnivells d o f més baixos, però més allunyats. Un comportament similar es dona amb els electrons a l'àtom.

El fet és que, en bona part dels elements, els electrons més externs, i que són els que els confereixen les propietats químiques rellevants, estan situats als subnivells s (que pot ubicar un màxim de 2 electrons) i p (amb un màxim de 6 electrons). En la visió tradicional de l'àtom, que és en bona part vigent, es considera que l'estabilitat d'una estructura atòmica ve donada per la presència de vuit electrons al seu nivell més extern, condició

que es coneix per la regla de l'octet. Així, els gasos nobles són molt estables perquè tenen una configuració electrònica ns^2np^6 . Els àtoms amb configuració ns^1 o ns^2 poden perdre aquests electrons amb facilitat i convertint-se en ions positius (cations). Els exemples paradigmàtics d'aquests elements són els metalls alcalins com sodi (Na) o potassi (K), i els metalls alcalinoterris com magnesi (Mg), o calci (Ca). En canvi, els àtoms amb sis o set electrons als nivells més externs, és a dir amb configuracions ns^2np^5 o ns^2np^4 , capten fàcilment un o dos electrons per arribar a tenir-ne vuit al nivell extern. Es converteixen així en ions negatius o anions. En són paradigmes els elements halògens, com el fluor (F) o el clor (Cl), o els calcògens, com l'oxigen (O) o el sofre (S).

Per què hi ha tants metalls?

El comportament físic i químic dels elements ve determinat pels electrons més externs. Són metalls tots els que tenen pocs electrons al seu darrer nivell i poden formar fàcilment cations. A més, aquests electrons més externs poden ser compartits entre molts nuclis d'àtoms de l'element, formant com un núvol electrònic on tots els nuclis estan submergits. Aquesta estructura és la de la major part dels metalls, i és el que els dona la solidesa, flexibilitat, estructura cristal·lina, ductilitat, tenacitat, i conductivitat elèctrica i tèrmica. Aquest núvol electrònic es coneix com a enllaç metàl·lic. Cal, doncs, veure com estan distribuïts els electrons al voltant del nucli i en quins elements hi ha pocs electrons als nivells més externs. Totes aquestes consideracions són relatives als àtoms en el seu estat fonamental, és a dir, àtoms no excitats i, en conjunt, d'energia més baixa.

Al període 1 de la taula periòdica hi ha només electrons al nivell 1s, corresponents als elements hidrogen (H) i heli (He). Al període 2 hi ha electrons a 1s, a 2s i a 2p, entre liti (Li) i neó (Ne), amb 8 elements. El període 3 és com el període 2. Malgrat que el nivell 3 podria tenir fins a 10 electrons 3d, l'ordre d'energies fa que hi hagi primer dos elements de la fila 4, que tenen electrons 4s (K i Ca) i després vindran els elements que, mantenint els electrons 4s, tinguin progressivament més plens els subnivells 3d: deu elements, d'escandi (Sc) a zinc (Zn). I a continuació els elements amb electrons 4p, 6 en total, de gal·li (Ga) a criptó (Kr). Passa el mateix amb els elements del període 5. Tenen plens, per ordre, els 5s (rubidi [Rb] i estronci [Sr]), els deu elements que omplen els subnivells 4d (d'itri [Y] a cadmi [Cd]) i finalment els de 5p, d'indi (In) a xenó (Xe). Els elements amb electrons 4f no els trobarem fins després dels elements amb electrons 6s, que són el cesi (Cs) i el bari (Ba). A continuació venen els 14 elements amb electrons 4f, els lantànids, de lantani (La) a iterbi (Yb), que en la major part de taules curtes se solen representar en una fila inferior. Després venen els elements que, tenint tots els electrons 6s i 4f, te-



Figura 3. Analogia entre un hotel i els nivells i subnivells electrònics (dibuix de l'autor).

nen electrons a 5d: del luteci (Lu) al mercuri (Hg). I acaba el període 6 amb els sis elements que tenen electrons al nivell 6p, del tal·li (Tl) al radó (Rn). Una idèntica seqüència es té al període 7.

Val a dir que aquesta descripció és simplificada, i que hi ha força excepcions. La configuració electrònica dels elements no és tan regular com la versió que se n'ha fet, però s'hi acostava. I, en particular, la fila de lantànids consta de 14 o 15 elements: en algunes taules periòdiques no hi consta el lantani perquè el posen a la casella 57 just a sota de l'itri, i en canvi en altres es deixa buida la casella sota l'itri i a la fila dels lantànids s'hi posen tots 15 elements tot i que hi ha només 14 electrons al subnivell f (Wikipedia, 2019; Scerri, 2019).

Seràn metalls, doncs, tots els elements que tinguin 1 o 2 electrons al nivell més exterior superior a 1, i això inclou tots els elements del grup 1 (excepte l'hidrogen, que se sol considerar d'aquest grup), els metalls alcalins (de liti [Li] a franci [Fr]), i el grup 2, els metalls alcalinoterris (de beril·li [Be] a radi [Ra]). Els elements dels grups 3 a 12 –incloent lantànids i actínids– tenen propietats clarament metàl·liques, i també els elements inferiors dels grups 13 (de l'alumini [Al] en avall), 14 (de l'estany [Sn] en avall), 15 (bismut [Bi]) i 16 (poloni [Po]). Efectivament, quasi tots aquests elements tenen un o dos electrons en el seu nivell més alt, malgrat que en nivells més interns hi ha tota una munió de situacions, que es poden resumir en dues: els elements amb subnivells d amb alguns electrons, però que no en tenen al subnivell f; i elements que tenen més o menys electrons al subnivell f. Aquests dos grups d'elements reben els noms –un xic antiquats– de metalls de transició, i metalls de transició interna, respectivament.

Els sis semimetalls que se solen considerar a la taula periòdica –tot i que no hi ha un acord generalitzat– són bor (B), silici (Si), germani (Ge), ar-

sènic (As), antimoni (Sb) i tel·luri (Te). Reben també el nom força antiquat de metal·loides. Tenen algunes propietats anàlogues als metalls genuïns. La resta d'elements són els no-metalls genuïns. Els elements sintètics més recents, del meitneri (Mt) (Z=109) a l'oganessó (Og) (Z=118) no tenen ben determinada la configuració electrònica, però se sospita que tindran propietats metàl·liques –excepte el 118– si se'n pogués preparar una quantitat apreciable.

Bibliografia

- IUPAC 2019. Compendium of chemical terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Versió en línia. Consulta setembre 2019.
<https://goldbook.iupac.org/terms/view/C01022>
- Langmuir, I. 1919. The arrangement of electrons in atoms and molecules. *Journal of the American Chemical Society*, 41(6), 868-934.
<https://doi.org/10.1021/ja02227a002>
- Mans, C., Schwarz, E. 2010. Von Antropoff's Periodic Table In: Roca-Rosell, A. (ed.), *The Circulation of Science and Technology. Proceedings of the 4th International Conference of the European Society for the History of Science*, pp. 536-543. SCHCT-IEC, Barcelona.
- Mendelèiev, D. 1869. On the relationship of the properties of the elements to their atomic weights. *Zeitschrift für Chemie*, 12: 405-406.
- Scerri, E. 2007. *The Periodic Table. Its story and its significance*. Oxford University Press, New York.
- Scerri, E. 2019. La tabla periódica: una obra inacabada. *Investigación y Ciencia* (Barcelona) 513: 14-17.
- Wang, S., Schwarz, E. 2009 Icon of Chemistry: The Periodic System of Chemical Elements in the New Century. *Angewandte Chemie International Edition*, 48(19): 3404-3415.
<https://doi.org/10.1002/anie.200800827>
- Wikipedia 2019. Periodic table. Apartat 6: open questions and controversies. Consulta setembre 2019.
https://en.wikipedia.org/wiki/Periodic_table#Open_questions_and_controversies