

Les 1000 cares de la Taula Periòdica



Facultat de Ciències

Les 1000 cares de la Taula Periòdica

Dra. Pilar González Duarte

Conferència
pronunciada el 16 de Novembre de 2005
a la sala d'actes de la Facultat de Ciències
de la Universitat Autònoma de Barcelona
amb motiu de la festivitats
de Sant Albert Magne,
patró de la Facultat

Bellaterra, novembre de 2005

EDITAT I IMPRÉS PEL
SERVEI DE PUBLICACIONS
DE LA
UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA
08193 Bellaterra (Barcelona)

Dipòsit legal: B. XX.XXX-2005

Imprès a Espanya

La natura és immensa i complexa, però no és impermeable a la
intel·ligència;
l'has de rondar, punxar, cercar el pas o fer-te'l.

Primo Levi
El sistema periòdic
El Balancí, Edicions 62, Barcelona 1998



Fig. 1.- L'observació de la natura amb un microscopi de forces atòmiques en comptes d'una màquina fotogràfica ens permetria comprovar que els àtoms són la base de la matèria

Al llarg dels segles, l'observació de la natura ha fascinat per la seva bellesa i per la seva diversitat. Avui, la ciència ha permès establir que més enllà del que es pot veure amb la visió humana hi ha àtoms, és a dir, elements químics que actuen com a unitats bàsiques de tot el que ens envolta i de nosaltres mateixos (Fig. 1). A l'inici del segle XXI es coneixen 116 elements, a partir dels quals s'han sintetitzat 26,7 milions de compostos orgànics i inorgànics i 56,8 milions de biomolècules. Aquests nombres no serien possibles si cada element no tingués una química molt àmplia i en conseqüència no disposés de moltes possibilitats a l'hora de combinar-se amb els altres elements. La química tracta d'esbrinar les regles de joc que fan possible aquestes combinacions i sens dubte necessita unes eines per classificar els elements i sistematitzar llur comportament.

La Taula Periòdica d'en Mendelèiev és un dels descobriments més importants en el món científic perquè no sols va permetre marcar un abans i un després sinó que ha actuat com a eix vertebrador dels coneixements posteriors, essent encara avui la referència indispensable dels professionals de la química i una eina molt valuosa per a l'aprenentatge d'aquesta disciplina. Alhora, poques branques de la ciència tenen un element tan clarament identificador com té la química amb la Taula Periòdica dels Elements. Totes aquestes consideracions justifiquen el possible interès de dedicar una estona a la Taula Periòdica, a la seva història, al seu present i futur.

Mendeléeiev descobreix una llei oculta de la naturalesa

La història de la Taula Periòdica comença realment el 6 de març de 1869 quan Dimitri Ivànovich Mendeléeiev (1834-1907), llavors professor de Química General de la Universitat de San Petersburg, presenta a la Societat Química Russa la seva primera Taula Periòdica (Fig. 2). La idea central de la comunicació és la següent: el pes atòmic és la propietat que millor permet agrupar els elements químics que tenen un comportament semblant. Mendeléeiev arribava a aquesta conclusió després de molts anys de tractar de posar ordre a les fitxes que havia anat elaborant, una per a cada element, amb les propietats més significatives dels mateixos, fent un èmfasi especial en llur compostos. Vist en perspectiva és fàcil concloure que Mendeléeiev tenia uns coneixements químics molt sòlids i, també, que el fet d'escollir el pes atòmic com la variable base de la classificació dels elements assegurava la validesa de la llei periòdica al llarg del temps. Però cal remarcar que en el context del seu temps ambdues intuïcions mereixen la consideració de genialitats.



Reihen	Gruppe I. — R ² O	Gruppe II. — RO	Gruppe III. — R ² O ³	Gruppe IV. RH ⁴ RO ²	Gruppe V. RH ³ R ² O ⁵	Gruppe VI. RH ² RO ³	Gruppe VII. RH R ² O ⁷	Gruppe VIII. — RO ⁴
1	H = 1							
2	Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	
4	K = 39	Ca = 40	— = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59, Ni = 59, Cu = 63.
5	(Cu = 63)	Zn = 65	— = 68	— = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	?Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	— = 100	Ru = 104, Rh = 104, Pd = 106, Ag = 108
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	J = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	?Di = 138	?Ce = 140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er = 178	?La = 180	Ta = 182	W = 184	—	Os = 195, Ir = 197, Pt = 198, Au = 199
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	—	—	
12	—	—	—	Th = 231	—	U = 240	—	

Fig. 2.- D. I. Mendeléeiev l'any de la presentació de la primera taula periòdica (1869) i segona taula periòdica d'en Mendeléeiev (1871) molt perfeccionada respecte a la primera

Aparentment la proposta d'en Mendeléiev no era totalment novedosa. Antecessors seus, com Dobereiner amb les tríades, de Chancourtois amb el cargol tel·lúric, i Newlands amb les octaves, havien fet propostes força més parcials però properes. Fins i tot, en Lothar Meyer s'havia apropiat tant que pràcticament era indistingible la seva proposta d'ordenació dels elements de la d'en Mendeléiev. La pregunta és doncs per què tot el mèrit del descobriment de la llei periòdica s'atribueix exclusivament a en Mendeléiev. Per què fins i tot el mateix Lothar Meyer va deixar escrit que el descobridor de la Taula Periòdica era en Mendeléiev. La resposta té dues vessants: l'extraordinària personalitat d'en Mendeléiev i la seva clarividència científica.

L'acceptació de la proposta d'en Mendeléiev per part de la comunitat científica no va ser pas immediata. Alguns col·legues varen manifestar una reticència important a acceptar-la argumentant que moltes de les propietats dels elements químics difícilment podien relacionar-se amb llur pes atòmic. Aquestes objeccions encara no tenien resposta en aquells moments... Però Mendeléiev era el fill petit d'una família de disset germans, nascut a Tobolsk, Sibèria, on va viure la seva infància i joventut, i en conseqüència avesat a les dificultats. La seva tenacitat i capacitat de resistència expliquen que dediqués gran part de la seva vida a defensar, discutir, ampliar i modificar la Taula Periòdica. D'altra banda, la seva visió científica tampoc no era gens menyspreable. A diferència dels col·legues que també havien proposat ordenacions dels elements químics, en Mendeléiev va predir l'existència d'elements que encara no s'havien descobert, com l'escandi (P. at. 44), gal·li (P. at. 68), i germani (P. at. 72), anticipant amb una precisió sorprenent llurs propietats físiques i químiques: color, densitat, punt de fusió, fórmula i propietats àcid-base dels òxids, fórmula dels hidrurs...Els fets varen corroborar tan àmpliament les prediccions d'en Mendeléiev que passats quinze anys de la publicació de la seva primera Taula Periòdica ningú dubtava de la importància de la seva proposta.

Més de setcents formats diferents de la Taula Periòdica

La Taula Periòdica de l'època d'en Mendeléiev, que contenia 63 elements, ha canviat molt si la comparem amb la que avui utilitzem els químics, tal com es pot observar en aquesta TP editada per la Societat Catalana de Química, SCQ (Fig. 3).

TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H 1.0079 HIDRÒGENO																	He 4.0026 HELI	
2	Li 6.941 LITI	Be 9.0122 BERIL·L											B 10.811 BOR	C 12.011 CARBON	N 14.0067 NITRÒGEN	O 15.9994 OXÍGEN	F 18.9984 FLOR	Ne 20.1797 NEON	
3	Na 22.9898 SODI	Mg 24.3050 MAGNESI											Al 26.9815 ALUMINI	Si 28.0855 SILICI	P 30.9738 FOSFOR	S 32.066 AZUFRE	Cl 35.4527 CLOR	Ar 39.948 ARGON	
4	K 39.0983 POTASIO	Ca 40.078 CALCI	Sc 44.9559 ESCANDI	Ti 47.867 TITANI	V 50.9415 VANADI	Cr 51.9961 CROM	Mn 54.9380 MANGANES	Fe 55.845 HIERRO	Co 58.9332 COBALTO	Ni 58.6934 NIQUEL	Cu 63.546 COBRE	Zn 65.39 ZINC	Ga 69.723 GAL·L	Ge 72.61 GERMANI	As 74.9216 ARSENIC	Se 78.96 SELENI	Br 79.904 BROM	Kr 83.80 CRIPTON	
5	Rb 85.468 RUBIDI	Sr 87.62 ESTRONCI	Y 88.9059 ITRI	Zr 91.224 ZIRCONI	Nb 92.9063 NIOBI	Mo 95.94 MOLIBDEN	Tc 98.9062 TECNICI	Ru 101.07 RUTENI	Rh 102.9055 RODIO	Pd 106.42 PALADI	Ag 107.8682 PLATA	Cd 112.411 CADMI	In 114.818 INDI	Sn 118.710 ESTAO	Sb 121.757 ANTIMONI	Te 127.60 TELURI	I 126.905 IODO	Xe 131.29 XENON	
6	Cs 132.905 CESI	Ba 137.327 BARI	La-Lu	Hf 178.49 HAFNI	Ta 180.9479 TANTAL	W 183.84 WOLFRAM	Re 186.207 RENI	Os 190.23 OSMI	Ir 192.22 IRIDI	Pt 195.084 PLATINI	Au 196.9665 ORO	Hg 200.59 MERCURI	Tl 204.3833 TAL·L	Pb 207.2 PLOMO	Bi 208.9804 BISMUT	Po 209 POLONI	At 210 ASTAT	Rn 222 RADON	
7	Fr 223 FRANCI	Ra 226 RADI	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub							
8				La 138.9055 LANTANI	Ce 140.12 CERI	Pr 140.9076 PRASEODIMI	Nd 144.24 NIOBIDI	Pm 147 PROMETI	Sm 150.36 SAMARI	Eu 151.965 EUROPI	Gd 157.25 GADOLINI	Tb 158.9253 TERBI	Dy 162.50 DISPROSI	Ho 164.9303 HOLMI	Er 167.26 ERBI	Tm 168.9342 TULI	Yb 173.04 ITERBI	Lu 174.967 LUTECI	
9				Ac 227 ACTINI	Th 232.0381 TORI	Pa 231.0389 PROTACTINI	U 238.0289 URANI	Np 237 NEPTUNI	Pu 244 PLUTONI	Am 243 AMERICI	Cm 247 CURI	Bk 247 BERQUELI	Cf 251 CALIFORNI	Es 252 EINSTEINI	Fm 257 FERMI	Md 258 MENDELEVI	No 259 NOBELI	Lr 262 LAURENCI	

Gas Líquid (a 30 °C) Sòlid Sintètic

Fig. 3.- Taula Periòdica editada l'any 1998 per la SCQ

Les modificacions més substancials al llarg dels seus 136 anys d'existència han estat degudes a la incorporació de nous elements. Així, el descobriment dels gasos nobles per Ramsay en la dècada de 1890 va forçar la incorporació del grup 0, una nova família d'elements de valència 0, la manca de reactivitat dels quals justificava que Mendelèiev no hagués previst la seva existència.

Un altre exemple dels canvis soferts per la Taula Periòdica es deu a Glenn T. Seaborg (1912 – 1999), químic americà laureat amb el Premi Nobel el 1951 pels seus descobriments en la química dels elements transurànids. En aquest context, Seaborg va corregir els dos errors que apareixien a les taules periòdiques dels voltants de 1940 (Fig. 4) proposant l'existència d'una sèrie actínida en paral·lel a la sèrie lantànida.

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Ru	44 Rh	45 Pd	46 Ag	47 Cd	48 In	49 Sn	50 Sb	51 Te	52 I	53 Xe	
55 Cs	56 Ba	57-71 La-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92-106 U-(106)												
						92 U	93 Np	94 Pu	(95)	(96)	(106)						
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	(61)	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			

Fig. 4.- Taula Periòdica on els elements transurànids neptuni i plutoni es consideren membres d'una sèrie "urànida". Observi's també que els elements actínids formen una quarta sèrie de transició

A part de l'evolució de la Taula Periòdica causada per la incorporació de nous elements, al llarg del temps hi ha hagut diferents propostes d'ordenació dels elements químics, sempre amb la intenció de palesar al màxim llur homologia de comportament. Les diferents estratègies d'ordenació dels elements es poden classificar en tres grans grups segons: el pes atòmic, el nombre atòmic o la configuració electrònica. Entre les dues primeres alternatives hi ha una clara frontera cronològica, l'any 1914, amb l'experiment d'Henry Moseley, que demostrà que el nombre atòmic d'un àtom és igual al d'electrons que envolten el nucli. Aquest descobriment va permetre entendre la validesa de la Taula Periòdica d'en Mendeléiev, però alhora va establir que l'ordenació per ell proposada en base al pes atòmic dels elements havia de ser substituïda per la del nombre atòmic. Respecte el tercer grup, cal notar que les ordenacions basades en els nombres quàntics dels elements neixen amb la mecànica quàntica i pretenen emfatitzar la dependència del comportament químic d'un element amb la seva configuració electrònica. Les diferències entre les ordenacions basades en el nombre atòmic o en la configuració electrònica es comenten més endavant.

Independentment de quina variable s'esculli per posar consecutivament els elements químics hi ha la qüestió de com es representa a l'espai aquesta ordenació, és a dir quin és el format de la Taula Periòdica. Un bon símil de les diferents possibilitats ens el dona una cinta mètrica, que pot ser plegada o cargolada de maneres diferents segons es vulgui mostrar la similitud d'alguns dels seus elements.

La revista The New Scientist, l'any 1985, va dedicar un número sencer a en Mendeléiev per commemorar el 150è aniversari del seu naixement, on John Emsley explica que fins aquell moment s'han descrit més de set-centes formes diferents de la Taula Periòdica, nombre prou elevat perquè la seva sistematització hagi despertat interès. Així, Edward Mazurs, basant-se essencialment en els tipus de corbes on es situen els elements químics (Fig. 5) ha proposat 146 formats base de taules periòdiques. Essencialment, diferents perspectives i projeccions de l'hèlix inscrita en un cilindre (Fig. 6) o en un con (Fig. 7), de la lemniscata (Fig. 8), corba algebraica de quart grau que té aproximadament forma de vuit, i dels cercles concèntrics (Fig. 9), permeten explicar moltes taules periòdiques. Si es parteix de la representació en ziga-zaga que prové d'una visió frontal de l'hèlix en un cilindre (Fig. 5 i 10), i es talla la ziga-zaga pels punts on es troben les rectes amb pendent diferent, la representació esdevé en línies paral·leles, que es la forma més comú de la Taula Periòdica (Fig. 3).

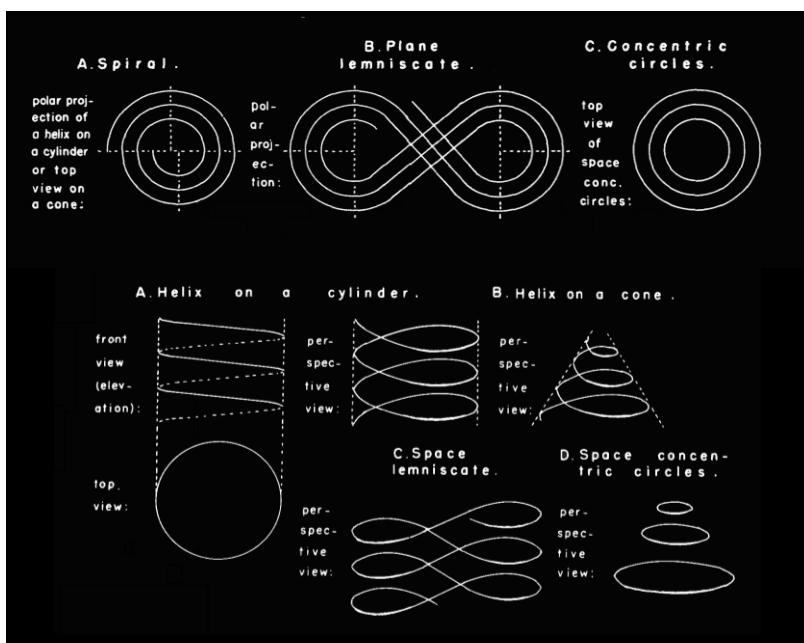


Fig. 5.- Tipus de corbes que originen els diferents formats de les taules periòdiques

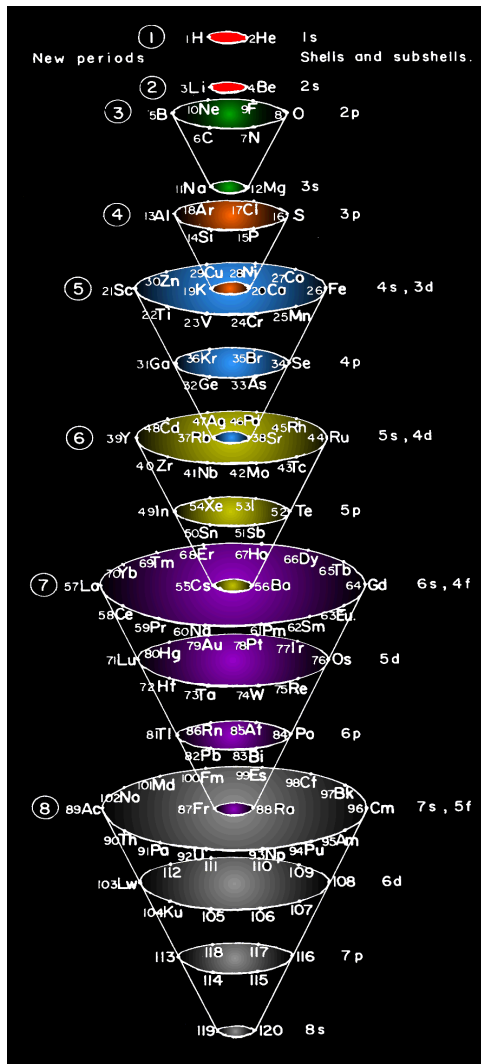


Fig. 7.- Cons concèntrics on les subcapes electròniques determinen els cercles concèntrics i els cons representen els períodes

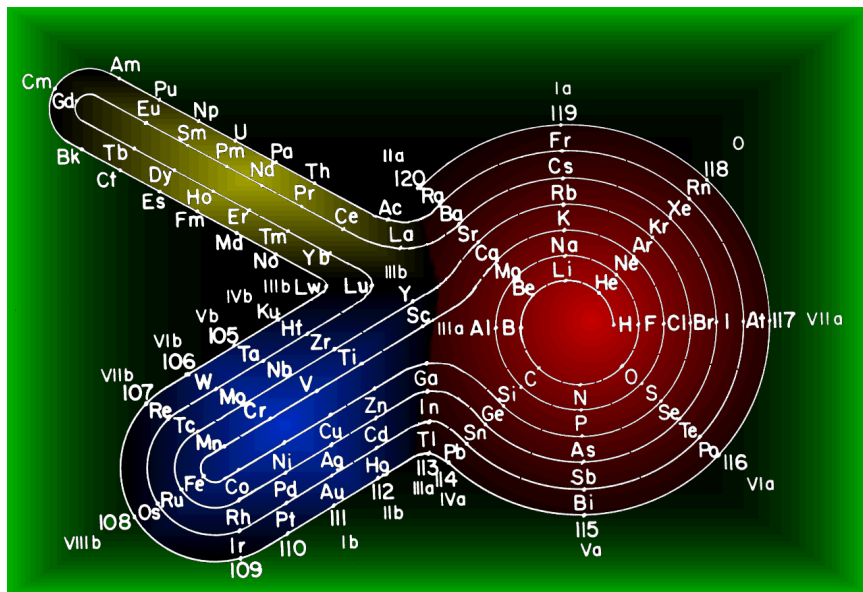


Fig. 8.- Espiral central que conté els elements dels blocs s i p , amb branques laterals que inclouen els blocs d i f

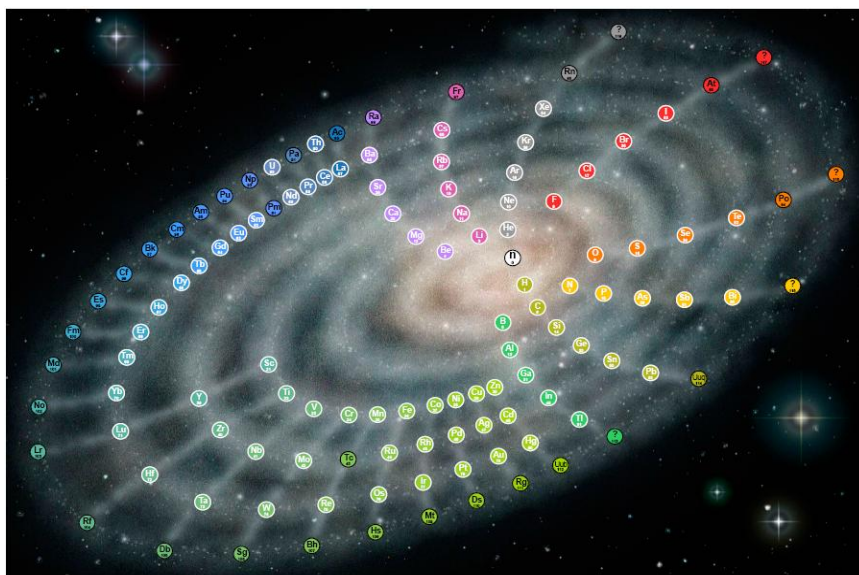


Fig. 9.- Galàxia química (Copyright© Philip Stewart)

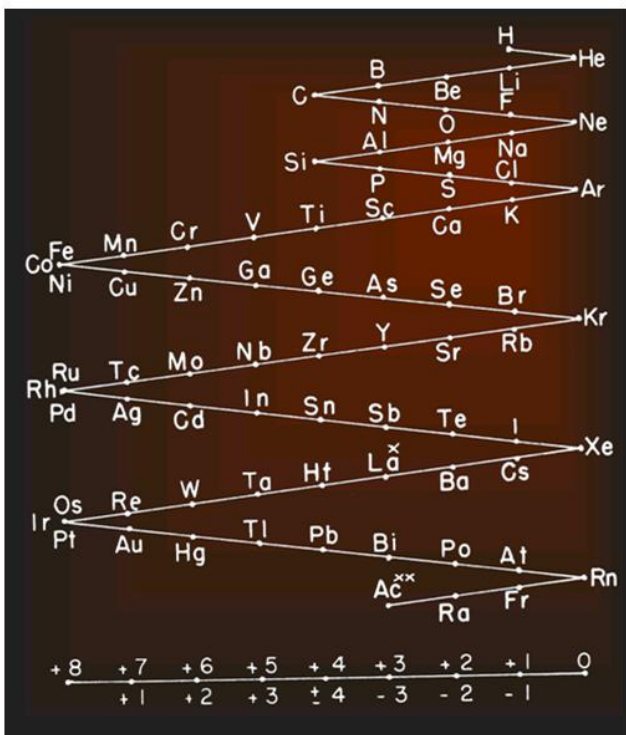


Fig. 10.- Ziga-zaga de dues dimensions diferents

Avui, la majoria de taules periòdiques ordenen els elements d'acord amb nombre atòmic creixent i el format és el que s'anomena *forma llarga*, que inclou 18 columnes (o grups d'elements) i 7 files (o períodes). Aquest format apareix per primera vegada el 1923 en un llibre de text del químic americà H. G. Deming, i esdevé conegut pels químics quan Merck & Co. la va utilitzar com a eina publicitària, de tal manera que en els anys 30 ja era freqüent en enciclopèdies i manuals de química.

Quan i com s'utilitza la Taula Periòdica?

Des de la primera taula d'en Mendeléiev l'ordenació dels elements ha evidenciat l'existència de *forats*, i per tant ha esperonat el descobriment de nous elements. Alguns s'han trobat a la natura, com l'escandi, gal·li i germani però d'altres molt poc freqüents, com tecneci i prometi, o inexistent a La Terra, com els transurànids, s'han hagut d'obtenir en reactors nuclears. Aquest és el cas de la majoria dels elements actínids i de tots els elements de la quarta sèrie de transició. El paper de la llei periòdica impulsant la cerca de nous elements també es va evidenciar en el cas dels tres gasos nobles neó, criptó i xenó, aïllats per en Ramsay després del seu descobriment de l'heli i de l'argó.

Els químics molt sovint utilitzem la Taula Periòdica per emmagatzemar i sistematitzar informació sobre les propietats i el comportament dels elements o dels seus compostos. Estrictament la TP no conté informació química, però en canvi esdevé un estri excel·lent per ordenar els coneixements adquirits i facilitar possibles prediccions. En aquest sentit, la TP és comparable a un arbre genealògic on es veu la relació de parentiu però d'on no es pot deduir si els membres d'una mateixa família han gaudit de la mateixa posició econòmica, han compartit dots artístiques o esportives, o fins i tot si tenien un físic comparable... Un cop es disposa de la informació corresponent és fàcil incorporar-la i mantenir-la sistematitzada en la Taula Periòdica o en l'arbre genealògic.

Una manera freqüent de fer servir la Taula Periòdica consisteix en afegir els valors numèrics corresponents a una determinada propietat dins de les caselles dels elements químics. Ara bé, la potencialitat que ofereix la Taula Periòdica és molt superior (Fig. 11), i en conseqüència el procediment esmentat és una clara subutilització de la mateixa. Servir-se del color és una alternativa millor. Però encara ho és més utilitzar les eines gràfiques que avui faciliten els programes informàtics, o fer ús de la imaginació... (Fig. 12). En aquest cas es pot informar sobre quant hi ha de cada element (Fig. 13) i com aquests es troben a la natura (Fig. 14), propietats sobre les quals la Taula Periòdica no dóna informació.

La Taula Periòdica permet sistematitzar el comportament no només dels elements sinó també de famílies de compostos, com pot ser el caràcter àcid-base dels òxids dels elements metàl·lics, els quals constitueixen les 3/4 parts dels elements de la TP, o les geometries de coordinació que presenten més freqüentment els 30 elements de transició, en funció del seu estat d'oxidació.

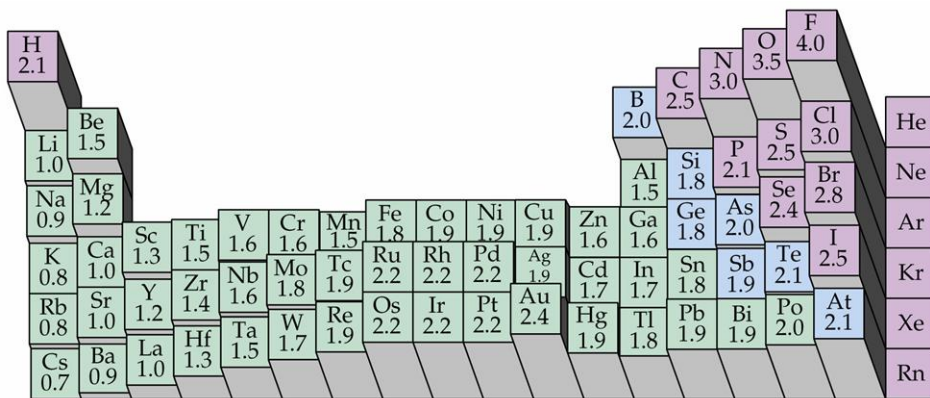


Fig. 11.- Variació de l'electronegativitat (escala d'en Pauling) dels elements químics

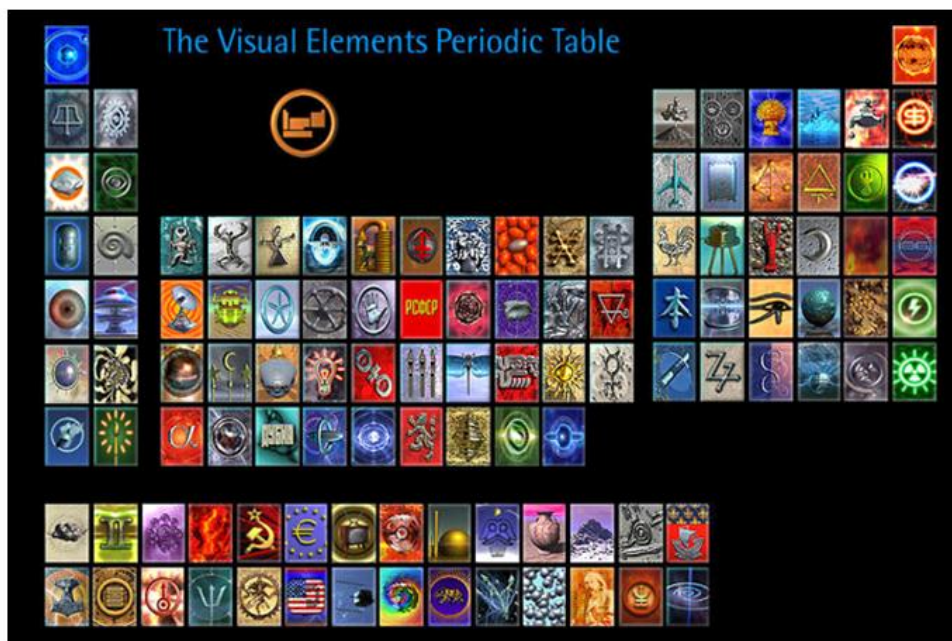


Fig. 12.- Taula Periòdica editada per la *Royal Society of Chemistry* (UK)

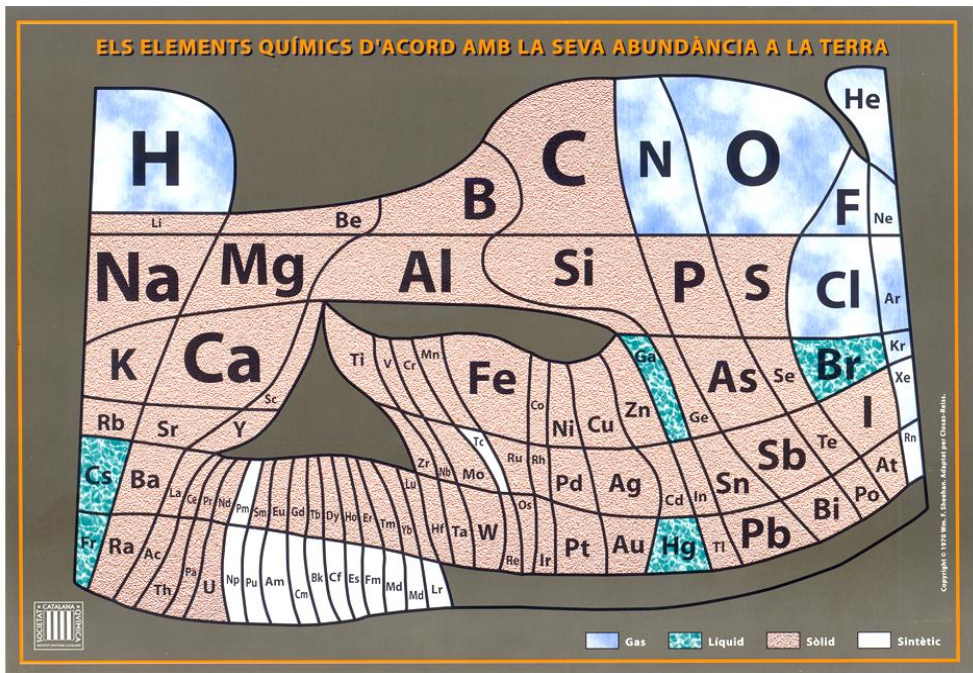


Fig. 13.- Els elements químics d'acord amb la seva abundància a La Terra (Copyright © 1970 Wm. F. Sheehan)

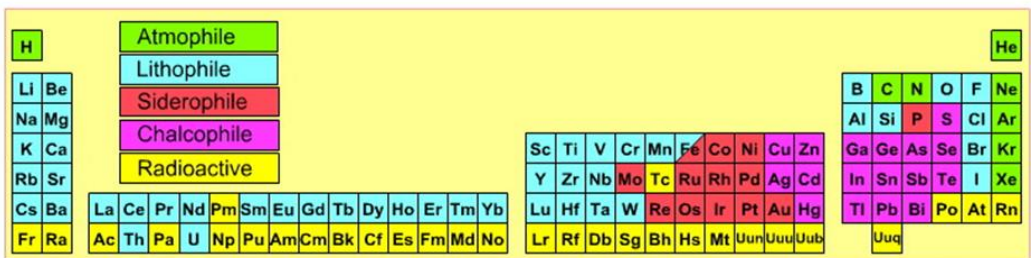


Fig. 14.- Taula Periòdica amb interès geològic

Quina és la Taula Periòdica del segle XXI?

Un bon punt de partida per considerar el futur de la Taula Periòdica és analitzar el present. Avui, la Taula Periòdica conté 116 elements, habitualment ordenats segons nombre atòmic creixent, els quals, essencialment per raons pràctiques, es disposen en un format de línies paral·leles (Fig. 3). Les avantatges de l'ordenació d'acord amb el nombre atòmic de l'element respecte les que es basen en els nombres quàntics n i l dels electrons s'indiquen a la Fig. 15.

D'altra banda, les abundàncies dels 116 elements avui coneguts són extremadament variables, essent l'estabilitat nuclear dels àtoms la raó principal d'aquestes diferències. Els elements abundants són elements lleugers, o de pes atòmic baix, de tal manera que els 10 elements més abundants a l'escorça terrestre (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, H, Ti) constitueixen el 99,2 % del món que ens envolta. Però la inestabilitat que causa l'acumulació de protons en el nucli dels àtoms va augmentant progressivament, i així, tots els isòtops de tots els elements que segueixen al bismut ($Z = 83$) són radioactius i, cap dels elements que segueixen l'urani ($Z = 92$) es troba a La Terra, motiu pel qual s'anomenen artificials o sintètics. Aquestes dades indiquen que l'allargament de la Taula Periòdica no és una qüestió trivial.

Una de les persones que més ha contribuït a intentar respondre quants elements encara queden per descobrir és G. T. Seaborg, i per això té un valor especial la seva proposta d'una Taula Periòdica Futurista que conté 168 elements (Fig. 16). Aquest nombre implica l'existència d'un vuitè període ($n = 8$), avui totalment desconegut, el qual inclou una cinquena sèrie de transició de deu elements ($7d$) i una sèrie superactínida de 32 ($5g$ i $6f$). Ara bé, el mateix Seaborg afirma que en el cas del seaborgi, Sg ($Z = 106$), s'ha treballat amb 7 àtoms, i que les dades teòriques sobre possibles estabilitats i configuracions electròniques per elements més pesants no permeten ser optimista. Els càlculs d'energia per saber si un nou element serà estable, on intervien factors relativistes, són molt complicats, i per tant és molt difícil fer prediccions. De fet, els rendiments obtinguts en les síntesis dels darrers elements mitjançant el bombardeig de nuclis amb ions pesants són tant baixos com 1 àtom/setmana de bombardeig. Alhora, el nombre d'isòtops caracteritzats entre els darrers 3 o 4 elements supera el nombre de 200, i la vida mitja es troba en l'ordre de mili o microsegons. Per tant, fins i tot cal definir a partir de quants àtoms es pot assegurar que s'ha obtingut un nou element.

Per tots aquells que no són químics, se'ls podria advertir que no s'esverin. Ara per ara la Taula Periòdica té un creixement lent. En la nostra generació, perquè realment fer prediccions en ciència és molt arriscat, no sembla probable que la Taula Periòdica s'allargui molt considerablement. D'acord però amb en Glenn Seaborg, la Taula Periòdica té futur. Però el que encara és més important és que el seu present és indispensable per saber química.

La Taula Periòdica ens podria portar moltes hores, a molts ens ha fet passar bones estones. Hem après i cada vegada que l'observem n'aprenem més. I cada vegada la veiem diferent. Però com tot la Taula Periòdica també té un aspecte lúdic... i aquest és el que em quedava per remarcar...

