



# El món dels elements, els elements del món

- 9 maig del 2011 a les 19.00 h
  - Sala d'actes del comú d'Escaldes-Engordany
- En col·laboració amb la Societat Catalana de Química i la Comissió Nacional Andorrana per a la Unesco



## **Pilar González i Duarte**

*Doctora en ciències químiques i catedràtica emèrita de química inorgànica de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)*

## ▲ **Curículum**

Nascuda a Barcelona el 1945.

Doctora en ciències químiques i catedràtica emèrita de química inorgànica de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Ha fet estudis a la Universitat de Michigan, Ann Arbor, EUA, on cursà un màster en química. Ha estat directora del departament de Química Inorgànica (1977-1980) i coordinadora general de COU / PAAU de la UAB (1985-1990). La seva tasca investigadora s'ha estès des de la química de coordinació dels tiolats metàl·lics i dels complexos de platí amb lligands que contenen sofre fins a la química bioinorgànica de les metal·lotioneïnes i la cerca d'agents terapèutics i de diagnòstic per malalties neurodegeneratives. En tots aquests temes ha dirigit nombrosos treballs d'investigació i ha publicat els resultats obtinguts en les millors revistes internacionals del ram. Com a presidenta de la Societat Catalana de Química (1995-2002), va ser autora de l'edició catalana d'una versió actualitzada de la taula periòdica dels elements químics, responsable de l'organització bianual de les Trobades de joves investigadors dels Països Catalans, impulsora de l'edició de la nova publicació *Revista de la SCQ* i organitzadora dels Debats de química a l'IEC, entre d'altres activitats. Va ser comissària de l'exposició itinerant *Tot és Química*, que s'inaugurà al MNATEC (Terrassa) l'any 2000. El govern de la Generalitat de Catalunya li va atorgar el 2004 la distinció Jaume Vicens Vives a la qualitat docent universitària, en reconeixement de la seva trajectòria i del seu treball pioner en la introducció de tècniques audiovisuals i informàtiques com a suport dels cursos de laboratori de química. Des del 2004 és membre de l'Institut d'Estudis Catalans (secció de Ciències i Tecnologia). Per aquest motiu es va responsabilitzar de l'organització de la Jornada d'homenatge a Mendelèiev, celebrada a l'IEC el 6 de febrer del 2008, amb el doble objectiu d'analitzar l'evolució de la llei periòdica i d'impulsar la contribució positiva de la química a la qualitat de vida.

Ha estat invitada a impartir conferències sobre química a diverses universitats sud-americanes. El propassat 10 de març va pronunciar la conferència *Dones químiques excepcionals* amb motiu de la celebració del Dia de la dona a la Universitat Autònoma de Barcelona. Actualment, en el context de l'Any internacional de la química (AIQ), ha organitzat diverses activitats a favor de la difusió d'aquesta ciència. Així, ha estat la responsable científica del calendari *Quins Elements!*; ha organitzat l'acte inaugural de l'AIQ a l'IEC, que va tenir

lloc el 14 de desembre de 2010; és la traductora al català del llibre *Els Elements*, de Theodore Gray i Nick Mann, i també de l'exposició *Marie Curie, 1867-1934*, elaborada pel Museu Curie de París, i que fins el 16 de desembre del 2011 es pot visitar al pati de la Casa de Convalescència, seu de l'IEC.

**A**l llarg dels segles, l'observació de la natura ha fascinat els homes per la seva bellesa i per la seva diversitat. Avui, la ciència ha permès establir que més enllà del que es pot veure a ull nu hi ha àtoms, és a dir, elements químics que actuen com a unitats bàsiques de tot el que ens envolta i de nosaltres mateixos. Actualment es coneixen cent divuit elements, la major part dels quals –uns noranta– es troben al nostre planeta. La resta, que correspon als més pesants, són sintètics, és a dir, s'obtenen al laboratori; més concretament, s'obtenen als acceleradors de partícules o als reactors nuclears. Els noranta elements que es troben a la Terra formen més de 25 milions de compostos químics. Aquest nombre no seria possible 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, ciència experimental que es dedica a l'estudi de l'estructura i de la transformació de la matèria, fa possible que a partir d'aquests elements i llurs compostos avui visquem molt més i molt millor que els nostres predecessors (figura 1). Se'ls pot demanar res més?



Figura 1. Sense els elements químics no hi hauria vida a la Terra

L'any 2011 ha estat declarat per la Unesco Any internacional de la química. Per aquest motiu, la Comissió Nacional Andorrana per a la Unesco, la Societat Andorrana de Ciències i la Societat Catalana de Química (filial de l'Institut d'Estudis Catalans) s'han volgut sumar a aquesta celebració organitzant la conferència *El món dels elements i els elements del món*. L'objectiu essencial ha estat, d'una banda, explicar els trets fonamentals dels elements químics: *Quants en tenim i com els ordenem? Quant n'hi ha de cadascun? De quina manera els trobem a la Terra?*, i de l'altra, mostrar com contribueixen –els elements i llurs compostos– a la nostra qualitat de vida: *Com i on ens els trobem en la nostra vida quotidiana? Per què ens són útils, fins i tot imprescindibles?* En conjunt, l'Any internacional de la química ha brindat una oportunitat excel·lent per apropar-nos al món de la química i, òbviament, al món de la ciència.

### **Mendelèiev descobreix una llei oculta de la naturalesa**

Un element químic és una substància que no pot ser descomposta en unes altres de més senzilles per mètodes químics. Els elements reaccionen entre sí de maneres molt diverses, en funció de les condicions experimentals, per donar lloc a àmplies famílies de compostos. De fet, la diversitat de comportament químic dels elements ja la van copsar els científics del segle XIX, i correspon a D. I. Mendelèiev (1834-1907) l'honor d'haver trobat una ordenació que permet anticipar el comportament de cada element segons la posició que hi ocupa. La taula periòdica de Mendelèiev, que contenia seixanta-tres elements, és un dels descobriments més importants que va

marcar un abans i un després i que ha actuat com a eix vertebrador dels coneixements químics. Avui és 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 el té la química amb la taula periòdica dels elements.

La història de la taula periòdica comença el 6 de març de 1869, quan D. I. Mendelèiev, llavors professor de química general de la Universitat de Sant Petersburg, presenta a la Societat Química Russa la seva primera taula periòdica. 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. Mendelèiev 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, fent un èmfasi especial en llur compostos. Vist en perspectiva és fàcil concloure que Mendelèiev 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.

L'acceptació de la proposta d'en Mendelèiev 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 el seu pes atòmic. Aquestes objeccions encara no tenien resposta en aquells moments... Però Mendelèiev 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 Mendelèiev va predir l'existència d'elements que encara no s'havien descobert, com l'escandi, el gal·li i el germani, i en va anticipar amb una precisió sorprenent les propietats físiques i químiques: color, densitat, punt de fusió, fórmula i propietats àcido-base dels òxids, fórmula dels hidrurs... Els fets varen corroborar tan àmpliament les prediccions d'en Mendelèiev que passats quinze anys de la publicació de la seva primera taula periòdica ningú no dubtava de la importància de la seva proposta.

En la taula periòdica que més habitualment utilitzen els químics, l'anomenada forma semillarga, els elements estan ordenats segons el nombre atòmic (o nombre de protons en el nucli de l'àtom), i es classifiquen en grans grups. Els que transmeten molt bé la calor i l'electricitat s'anomenen *metalls*; els que són aïllants es consideren *no-metalls*, i uns altres, que són molt poc reactius, s'anomenen *gasos nobles*. Al voltant de la diagonal imaginària que separa els metalls dels no-metalls, trobem els elements *semiconductors*, d'aparença metàl·lica i comportament no metàl·lic.

### **Quant de cada element, com els trobem a la Terra?**

Els elements que trobem a la Terra presenten abundàncies molt diferents. Els elements de pes atòmic baix són molt més abundants que els elements de pes atòmic elevat, que estan sotmesos a una inestabilitat nuclear creixent. De fet, nou elements constitueixen el 98,3% dels àtoms de l'escorça terrestre —és a dir, de la terra que trepitgem—. I, en canvi, vuitanta-un elements formen

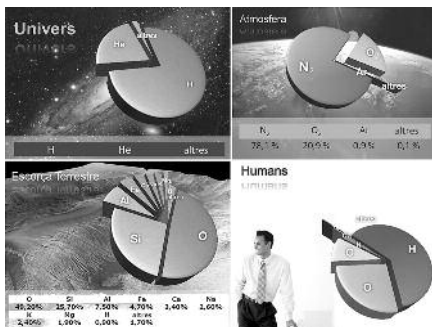


Figura 2. Abundància dels elements



Figura 3. Al planeta Terra la majoria dels elements químics no es troben en forma elemental sinó combinats entre si formant compostos químics, com és el cas de la pirita, la sorra de les platges i l'aigua

l'1,7% restant! Això no vol dir que no siguin importants. Quantitat i qualitat no sempre van de la mà! Així, un humà d'uns 70 kg de pes necessita 72 mg de coure; sembla molt poc, però sense aquesta quantitat no podria viure!

Si considerem l'univers, l'escorça terrestre, l'atmosfera i els humans, veurem que els elements que predominen són també lleugers, però en cada cas són diferents, tal com es mostra en la figura 2.

Pocs elements els trobem a la Terra en estat pur. Perquè això ocorri l'element ha de ser poc reactiu a les condicions de pressió i temperatura del nostre planeta, com és el cas del nitrogen, del sofre, dels gasos nobles, dels metalls preciosos... Tanmateix, l'elevada tendència de la major part dels elements a reaccionar entre ells explica que els trobem a la Terra formant minerals. Aquestes bellíssimes combinacions químiques, gairebé sempre cristal·lines, que s'han format al llarg de milions d'anys, són la font principal d'obtenció de la major part dels noranta elements (figura 3). En aquests casos l'aïllament de l'element pur s'aconsegueix descomponent els compostos químics que formen el mineral i separant

l'element que ens interessa. Ho anomenem *química extractiva*: és una de les activitats industrials que demana més esforços i que és fonamental per a la nostra qualitat de vida. Què fariem avui sense coure, alumini, ferro, zinc... o tants altres elements?

### Un cop d'ull a tres elements molt diferents: coure, clor i silici

Una forma de copsar la importància de la química en la nostra vida quotidiana es fixar-se en alguns elements. Una bona opció és escollir un representant de cadascun dels tres grans grups que formen la taula periòdica: els metalls, els no-metalls i els semiconductors. Fem un cop d'ull al coure, al clor i al silici, i veiem com ens són d'imprescindibles.

El coure és no només un bon representant dels metalls sinó també l'exemple d'un element que ha actuat com a fil conductor de la història. En temps prehistòrics ja era conegut, atès que es trobava en forma nativa, a diferència d'avui, que s'extrau de minerals on sovint està combinat amb sofre. El coure com a metall pur, o en forma d'aliatges com el bronze (coure i estany) i el llautó (coure i zinc), ha anat marcant el progrés de la humanitat al llarg dels segles, des de l'edat del coure i l'edat del bronze fins al segle XXI. El coure i els seus aliats varen ser fonamentals per fer eines per a l'agricultura, per fer campanes, destil·ladors, instruments científics i de navegació, monedes, instruments musicals... però també armes i canons... Avui el coure és indispensable en els cables d'alta tensió, en les canonades per a la conducció d'aigua i de gas, en el

transport de l'electricitat, en les bobines dels motors, en les pistes de circuits... El cos intern de totes les aixetes d'aigua és de llautó (figura 4)... Els compostos de coure són útils com a agents bactericides i fungicides en l'agricultura ecològica, i com a pigments per a pintura, vidre i ceràmica... Per si això fos poc, el coure és essencial en tots els organismes vius.



Figura 4. El clor és indispensable per a la potabilització de l'aigua. El llautó, aliatge de coure i zinc, és el material del cos intern de totes les aixetes

El cas del clor és ben diferent. És un element no-metàl·lic, molt reactiu, que no es troba en forma elemental a la natura. Partint de clorur de sodi (o sal comuna), la química fa possible l'obtenció de clor, un gas de color groc verdós, extremament tòxic, però imprescindible per a la potabilització de l'aigua (figura 4). Disposar d'aigua potable suposa la porta d'entrada al primer món i contribueix de manera cabdal a la salut humana i a l'augment de l'esperança de vida. El clor és l'element que fa possible que els humans visquem en grans ciutats sense patir infeccions i epidèmies. Malgrat la toxicitat del clor elemental, molts dels seus compostos no només no són tòxics sinó que ens aporten importants beneficis. Molts fàrmacs contenen clor, el lleixiu (hipoclorit sòdic) és un agent blanquejant tradicional i un bactericida excel·lent, l'àcid clorhídric i els solvents clorats són a tots els laboratoris i indústries químiques, el PVC (clorur de polivinil) és un plàstic particularment resistent utilitzat en el sector de la construcció. I encara en trobaríem moltes més aplicacions!

El silici és l'element que defineix l'era contemporània: l'edat del silici. Pertany al mateix grup que el carboni en la taula periòdica, però la química d'aquests dos elements no és comparable. La vida es basa en el carboni, però no seria possible basada en el silici, que en canvi actua com a element estrella en el món de la microelectrònica. Les fonts de silici, element que no es troba a la natura en forma elemental, són il·limitades atès que el diòxid de silici ( $\text{SiO}_2$ ) és el component essencial de la sorra de les platges. Després de l'oxigen, és l'element més abundant en l'escorça terrestre. Però per obtenir microxips cal silici ultrapur, que s'obté a partir del  $\text{SiO}_2$  mitjançant un procés relativament complex. És difícil imaginar la vida quotidiana sense ordinadors, iPads, mòbils, càmeres digitals... (figura 5). El silici és el material bàsic de les cèl·lules fotovoltaïques, enllaçat al carboni forma aliatges molt durs i enllaçat a l'oxigen forma les silicones d'amplíssim ús en la medicina i en la tecnologia modernes.



Figura 5. Al segle XXI som a l'edat del silici: sense la química no es podria fabricar cap d'aquests objectes

### Imprescindible per viure més i millor

Un breu recorregut per les àrees de la salut, les comunicacions i el transport, l'alimentació i el vestir, el món laboral i el del lleure permeten mostrar que saber química i fer-ne'n ús és fonamental per a la nostra qualitat de vida. De fet, la humanitat prehistòrica i el seu entorn tenien una química molt semblant a la nostra. Però avui, fer ús de la química permet les condicions de vida del primer món, que no són universals.

En l'àmbit de la salut, la química ha aportat un arsenal de compostos que constitueixen el principi actiu de molts fàrmacs. Quantes hores de química hi ha dins d'una farmàcia! Però als hospitals també hi ha química: els anestèsics, els agents de contrast per a la diagnòsi per imatge, els compostos químics específics per malalties greus, com el càncer. La major part de les pròtesis, inclosos els implants dentals, són de titani, un metall que no és essencial per als organismes vius però que ara per ara en el camp de les pròtesis no té competidor. Sense dubte, la salut de què podem gaudir avui deu molt a la química!

Si entrem en el camp dels transports i ens fixem concretament en els automòbils i en els avions també copsarem la contribució de la química. Un automòbil té unes cinc mil peces, entre les quals hi ha materials metàl·lics, com els acers; materials plàstics, cada cop més abundants en els interiors i en la carrosseria, i materials ceràmics, que van substituint els aliatges metàl·lics pesants. En la mateixa línia d'augmentar la seguretat, l'eficiència i la relació qualitat/cost tota la indústria aeronàutica al llarg del segle XX ha canviat els polímers naturals com la mussolina, cotó, seda... la fusta recoberta amb roba de lli cru i els acabats amb vernissos i laques... per aliatges lleugers, materials compòsits (CFRP, *Carbon Fibre Reinforced Polymers*) i fibres orgàniques d'elevada resistència mecànica (Kevlar).

En el camp de les comunicacions cal recordar tot el que ens ha aportat la microelectrònica, i per tant el silici, com ja s'ha comentat abans. Però els nostres habitatges, les peces de vestir, els productes per a la higiene personal, l'alimentació diària... ens obliguen a mencionar, entre d'altres, els materials plàstics, les fragàncies, els tensioactius, els antioxidants i conservants, el film de polietilè... La vida laboral dels policies, soldadors i bombers pot ser més segura gràcies a les armilles antibales de fibres de Kevlar, les ulleres de policarbonat i els vestits fets amb un polímer d'ureaformol aluminitzat (figura 6). I el nostre lleure s'ha vist clarament millorat gràcies a les fibres de carboni, als aliatges lleugers i als teixits de Gore-Tex. Tot plegat, la química ens ha canviat les regles de joc!



Figura 6. La química ajuda a minimitzar els riscos laborals en professions com bombers, soldadors i policies

## Res en excés: ús i abús, reciclatge

Malauradament, el progrés en el coneixement científic no sempre comporta resultats positius per a la humanitat. De fet, des de l'antigor, els homes han buscat i han utilitzat un major coneixement per ser més eficients en els conflictes bèl·lics. També el benefici econòmic sense límits ha estat la causa de problemes molt greus. Aquest és el cas de l'accident de Bophal, a l'Índia, l'any 1984, considerat com la Hiroshima de la indústria química. La manca d'un manteniment adequat per part de l'empresa Union Carbide India Ltd. va causar l'alliberament a l'atmosfera de quantitats ingents de HCN, NOx, CO, cosa que va suposar la mort de milers de persones i conseqüències molt greus per a moltes altres.

Però no cal confondre's. Si bé la ciència ens permet progressar en el coneixement del món i de l'univers, cap ciència no és bona o dolenta per si mateixa. L'espècie humana pot fer un ús correcte o incorrecte d'aquest coneixement. Ha d'haver-hi, però, una legislació que no permeti excepcions i que impedeixi el mal ús, l'abús o l'obtenció de beneficis a costa de la contaminació o del risc per a la salut dels altres.

El desenvolupament tecnològic comporta un ús cada cop més important dels recursos. D'una banda, els elements químics no poden defugir aquesta tendència. De l'altra, la recerca progressa trobant aplicacions importants per a elements fins ara poc coneguts. Les reserves mundials dels elements són limitades i, al ritme de consum actual, s'esgotaran aviat; s'imposa una nova manera d'entendre'n l'ús. Alguns elements, com l'or, s'han reciclat sempre. Actualment, el ferro, el coure i l'alumini es recuperen en bona part. Amb el reciclatge es redueix el consum d'energia i es minimitzen els impactes que en provoca l'extracció. Per a molts elements encara no hi ha una via clara de recuperació, i, per tant, la moderació en el consum és l'única alternativa.

També cal saber que com més i més importants són les aplicacions d'un element, més gran és el seu valor econòmic, i en conseqüència, més probable l'aparició de tensions comercials i polítiques. Un lamentable exemple d'aquest problema és l'anomenada *guerra del coltan* (acrònim de *columbita i tantalita*), un conflicte armat que va produir 5,4 milions de víctimes a la República Democràtica del Congo (RDC, antic Zaire) durant la segona meitat del segle XX. En aquest cas, els elements buscats eren el niobi i el tàntal, utilitzats en la indústria electrònica per a la miniaturització dels condensadors en aparells com ara els telèfons mòbils. L'RDC, amb diamants, or, coure, coltan i altres recursos, és un dels països potencialment més rics de l'Àfrica. Però la seva història recent és un exemple de mort i de corrupció, on unes fonts privilegiades de riquesa són una veritable maledicció per a la seva població.

Potser conscients de la condició humana, els grecs varen escriure ja fa molts segles en el fris d'un temple de Delfos *res en excés*.

## Conclusió

Un recorregut pel món de la salut, dels transports i les comunicacions, de l'alimentació i el vestir, de professions laborals no exemptes de risc, i fins i tot del lleure... ens mostren que fer ús de la química ha aportat una important millora a la nostra qualitat de vida. Sembla doncs evident que davant de la pregunta *Viure sense química?*, caldria respondre: *Científicament poc raonable, perquè tot és química; humanament poc intel·ligent, perquè química i progrés són indissociables, i socialment poc aconsellable, perquè amb bona química la vida és molt més agradable.*