



**Universitat**  
de les Illes Balears

*Set files  
i divuit  
columnes,  
els pilars  
de la nostra  
vida*

**Dra. Josefa L. Donoso Pardo**

Catedràtica d'universitat  
Departament de Química  
Àrea de Química Física  
(Universitat de les Illes Balears)

**Lliçó inaugural**

Any acadèmic 2019-2020

# *Set files i divuit columnes, els pilars de la nostra vida*

## **Dra. Josefa L. Donoso Pardo**

Catedràtica d'universitat  
Departament de Química  
Àrea de Química Física  
(Universitat de les Illes Balears)

## **In memoriam**

Voldria que les primeres paraules d'aquesta lliçó fossin un record emocionat del professor Antoni Roig Muntaner, que ens va deixar per sempre aquest passat mes de juny.

El doctor Roig Muntaner va ser el president de la Comissió Gestora que va aconseguir la implantació de la Universitat a les Illes Balears, cap a l'any 1978.

El professor Roig, llicenciat i doctor en Química, mallorquí de Palma, va ser un extraordinari científic que va dedicar el seu treball a la investigació del comportament dels materials polímers sintètics i biològics, camp en el qual va realitzar remarcables aportacions, com la reconeguda equació de Kurata-Stockmayer-Roig, que quantifica els efectes de volum exclòs mitjançant la mesura de la viscositat de les dissolucions polimèriques.

La seva condició de químic va ser determinant en l'establiment de la Llicenciatura de Ciències Químiques a la Facultat de Ciències de la UIB, una de les primeres titulacions impartides per la nostra universitat, i dels estudis de Doctorat en Química, que han estat d'importància decisiva per a molts de nosaltres. Sempre el recordarem.

### **L'Any Internacional de la Taula Periòdica dels Elements Químics**

L'Organització de les Nacions Unides, a la 39a Conferència General de la UNESCO, el 2017, va proclamar el 2019 com l'Any Internacional de la Taula Periòdica dels Elements Químics. Amb aquesta proclamació, la UNESCO vol reconèixer la funció crucial dels elements químics i de la Química en el desenvolupament sostenible a l'hora d'aportar solucions a molts dels reptes que afronta la societat en conjunt, i vol donar a conèixer la seva importància a un públic com més ampli millor. Així doncs, l'objecte d'aquesta primera lliçó serà la taula periòdica dels elements químics i la seva importància com a fita del desenvolupament del coneixement científic.

A la pàgina web de la UNESCO específica d'aquest esdeveniment es pot llegir que «La taula periòdica dels elements químics és un dels èxits més significatius en la ciència, que captura l'essència no solament de la Química sinó també de la Física i de la Biologia. És una eina única que permet als científics predir l'aparença i les propietats de la matèria a la Terra i a la resta de l'Univers. La taula periòdica és bastant més que una guia o catàleg de tots els àtoms a l'Univers, és essencialment una finestra a l'Univers que ens

ajuda a expandir el nostre coneixement del món que ens envolta». L'efemèride històrica origen d'aquesta declaració és que aquest any 2019 es compleix el 150 aniversari de la primera publicació de la taula ordenada dels elements químics, a càrrec del químic rus Dmitri Ivànovitx Mendeléiev.

Els químics, però no només els químics, estimam la taula periòdica, fins i tot la consideram una preciosa obra d'art. La pintora mallorquina Maria Puerto Fullana, que enguany va guanyar el certamen de litografies per celebrar la graduació de la promoció 2018-19 a la UIB, també ho veu així. La seva visió artística, que destaca el més essencial de la taula, és realment extraordinària (figura 1). No obstant això, segurament no tots nosaltres mantenim uns records tan bonics de les primeres lliçons sobre la taula periòdica. Costa una mica apreciar el coneixement que hi ha darrere aquesta manera perfecta d'ordenar els elements químics, que, com hem dit anteriorment, «captura l'essència no solament de la Química sinó també de la Física i de la Biologia».

El meu objectiu, per tant, als paràgrafs següents —no molts, procuraré ser breu—, és mostrar l'essència d'aquesta ordenació i com se'n pot extreure les pautes de comportament dels àtoms que els porten a combinar-se entre si, és a dir, a reaccionar químicament i a fer-ho de manera diferent, segons les condicions ambientals o de l'entorn, permetent així la construcció de nous materials. Materials amb propietats condicionades per la seva composició i la seva estructura, és a dir, condicionades per les reaccions químiques d'obtenció, prèviament dissenyades als quaderns de treball dels químics.



Figura 1. Obres al·legòriques de la taula periòdica dels elements químics de l'artista Maria Puerto Fullana. A l'esquerra: *Taula d'elements*, premi de la UIB per a la litografia de graduació de 2019. A la dreta: *Periodic table in black*.

## La gènesi de la taula periòdica dels elements químics

Anem un parell de segles enrere, al final del segle XVIII, quan les ciències experimenten una revolució extraordinària, s'estableixen les acadèmies de Ciència en pràcticament totes les nacions europees, s'adopta el mètode científic com a mètode de treball per generar coneixement, i l'intercanvi d'informació entre científics comença a ser fluid, la qual cosa permet un contrast més àgil dels experiments i les teories. És en aquesta època, gràcies a la feina d'aquests científics pioners, entre els quals destaca Antoine de Lavoisier, quan la ciència que transforma els materials abandona els aspectes esotèrics propis de l'alquímia i s'estableix com a ciència experimental racional, és a dir, passa de ser Alquímia a ser Química. Lavoisier, que va publicar el 1789 el seu *Tractat elemental de Química*, sempre va comptar amb l'ajuda de la seva esposa, Marie-Anne Paulze, qui no només li feia de traductora, il·lustradora i editora, sinó que també l'ajudava en la realització dels experiments i en la discussió dels resultats. Per aquest motiu, Antoine i

Marie-Anne Lavoisier són considerats els pares de la Química moderna.

En aquests anys de final del segle XVIII i principi del segle XIX l'activitat dels químics europeus, fonamentalment francesos, anglesos i alemanys, és frenètica i posa les bases per a l'enunciat, entre els anys 1803 i 1807, de la teoria atòmica de John Dalton, químic anglès. És la primera teoria que postula l'existència dels àtoms com a unitats indivisibles que es combinen entre si per formar composts (molècules). La teoria postula que els àtoms d'un mateix element són iguals entre si, tenen la mateixa massa i iguals propietats, mentre que els àtoms de diferents elements tenen masses diferents.

Durant tot el segle XIX el treball experimental desenvolupat als laboratoris químics de tot Europa és ingent, i dona lloc a un bon nombre de lleis empíriques que intenten establir les regles subjacents al comportament de les reaccions químiques. No obstant això, la interpretació dels resultats és, en molts casos, contradictòria. Tant és així que arriba a posar-se en dubte l'existència dels àtoms

i les molècules. La intervenció de Stanislao Cannizzaro al Primer Congrés Internacional de Química, que va tenir lloc a Karlsruhe el 1860 i al qual varen assistir Lothar Meyer i Dmitri Mendeléiev, intervenció en què reprenia les idees de Dalton i Avogadro i presentava el seu mètode per a la determinació dels pesos atòmics relatius a partir de la massa de l'hidrogen, va establir les bases per a la formulació de la taula periòdica dels elements químics. El criteri de prendre la massa de l'hidrogen com la unitat és realment revolucionari i condicionarà el valor de l'anomenat nombre d'Avogadro, un nombre bastant rar ( $6,023 \cdot 10^{23}$ ) que estableix quants d'àtoms d'hidrogen hi ha en un gram d'hidrogen i dona lloc al concepte de mol, la unitat de quantitat de substància que estableix el sistema internacional d'unitats.

Quan va tornar a Rússia, Dmitri Mendeléiev, un químic extraordinari, impressionat i convençut per les idees de Cannizzaro, ordena els elements coneguts fins al moment —63 en total— prenent com a criteri la massa atòmica relativa a l'hidrogen. Com pot suposar-se, la mesura exacta de les masses atòmiques dels elements no era una tasca fàcil, atesa la tecnologia del moment. Per això hauríem de fer ressaltar l'important treball de Julia Lermontova, química russa que va treballar activament en la purificació dels elements del grup del platí. Aquests treballs mai no es varen publicar, però els coneixem pels arxius de Mendeléiev.

L'ordenació dels elements químics realitzada per Mendeléiev veu la llum el 1869, en un treball titulat *Sobre la relació de les propietats dels elements i els seus pesos atòmics*, publicat com un document de la Societat Química

Russa (figura 2). La taula va ser dissenyada de manera que mostra clarament la periodicitat en les propietats fisicoquímiques dels elements, que s'ordenen verticalment per ordre creixent de pesos atòmics.

Les agrupacions horitzontals constitueixen les «famílies» d'elements que presenten propietats químiques similars. Allò que és realment curiós en aquesta ordenació és la reserva de posicions a la taula per a elements que encara no havien estat descoberts. Mendeléiev els assenjala amb un signe d'interrogació i els anomena eka-alumini, eka-bor i eka-silici, i els assigna fins i tot un pes atòmic i en prediu les propietats fisicoquímiques a partir dels altres elements de la seva família. Posteriorment aquests elements varen ser descoberts i els assignaren els noms de gal·li, escandi i germani, respectivament. A més, les propietats experimentals d'aquests tres elements són pràcticament idèntiques a les estimades per Mendeléiev.

Malgrat aquests èxits evidents, a l'ordenació periòdica de Mendeléiev hi havia incongruències significatives, que no varen poder ser fàcilment explicades. El 1912 el físic i químic anglès Henry Moseley, estudiant la radiació de raigs X emesa pels elements, va trobar que l'arrel quadrada de la freqüència d'aquests raigs era proporcional a un nombre enter, diferent per a cada un. Aquests experiments varen donar lloc al concepte de nombre atòmic,  $Z$ . La classificació dels 92 elements coneguts d'acord amb aquest nombre atòmic esdevé una ordenació molt més coherent i sense errors: la taula periòdica dels elements químics moderna.

но въ ней, мнѣ кажется, уже ясно выражается приближность представляемаго мною гачала ко всей совокупности элементовъ, пай которыхъ извѣстны съ достоверностію. На этотъ разъя я желаю преимущественно найти общую систему элементовъ. Вотъ этотъ опытъ:

			Ti=50	Zr=90	?=180.
			V=51	Nb=94	Ta=182.
			Cr=52	Mo=96	W=186.
			Mn=55	Rb=104,4	Pt=197,4
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
			Ni=Co=59	Pt=106,6	Os=199.
H=1			Cu=63,4	Ag=108	Hg=200.
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,5	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yl=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

Figura 2. Pàgina 70 de la publicació de 1869 de la Societat de Química Russa *Sobre la relació de les propietats dels elements i els seus pesos atòmics*, de D. I. Mendelèiev.

## La justificació teòrica de la taula periòdica dels elements químics

La figura 3 és una reproducció de la taula periòdica dels elements químics moderna, en la qual l'ordenació es fa pel valor creixent del nombre atòmic. La taula que es presenta en aquesta figura conté tots els elements coneguts actualment, i hi apareixen, segons un codi de colors, els diferents elements classificats segons les seves propietats químiques: metalls, no-metalls, metal·loides, gasos nobles, etc. Els elements posteriors a l'urani ( $Z = 92$ ) són artificials, els altres poden trobar-se en major o menor abundància a la natura.

Si es compara la taula periòdica moderna amb l'original de Mendelèiev pot observar-se que ara les famílies es col·loquen verticalment. Ara tots els membres d'una columna formen un grup —també es continua emprant el terme família— i tots els membres

d'una fila pertanyen al mateix període. Tots els elements coneguts es classifiquen, així, en set files i divuit columnes, més 14 altres petites columnes, que se solen situar a la part inferior de la taula i que són l'expansió del sisè i del setè períodes. Tot el que ens envolta, nosaltres mateixos, està compost per aquests elements, combinats en diferents proporcions i conformats en diverses estructures. Com s'indica al títol d'aquesta petita lliçó de Química, els elements de la taula periòdica són els pilars que conformen i sustenten la nostra vida.

La pregunta que ens fem ara és: per què aquests estranys graons a la taula? Per què el primer període només té dues caselles, mentre que el segon i el tercer en tenen vuit i el quart i el cinquè en tenen divuit? La resposta és ara clara: l'estructura de la taula periòdica reflecteix amb tota nitidesa l'estructura electrònica dels àtoms dels elements que la conformen.

TAULA PERIÒDICA DELS ELEMENTS																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
1	<b>H</b> 1.008 HIDRÒGEN	<p>Nombre atòmic</p> <p>Simbol</p> <p>Nom</p> <p>Configuració electrònica</p> <p>Punt de fusió (en °C)</p> <p>Punt d'ebullició (en °C)</p> <p>Densitat (en g/ml a 20 °C)</p> <p>(Elements gasosos, excepte a 0 °C i 1 atm)</p> <p>Nombre d'oxidació</p> <p>Electronegativitat</p> <p>(Escala de Pauling)</p>														<b>He</b> 4.003 HELI						
2	<b>Li</b> 6.941 LITI	<b>Be</b> 9.012 BERIL·LI															<b>B</b> 10.811 BOR	<b>C</b> 12.011 CARBON	<b>N</b> 14.007 NITRÒGEN	<b>O</b> 15.999 OXÍGEN	<b>F</b> 18.998 FLUOR	<b>Ne</b> 20.179 NEON
3	<b>Na</b> 22.990 SODI	<b>Mg</b> 24.305 MAGNESI															<b>Al</b> 26.982 ALUMINI	<b>Si</b> 28.086 SILICI	<b>P</b> 30.974 FOSFOR	<b>S</b> 32.06 SOFRE	<b>Cl</b> 35.45 CLOR	<b>Ar</b> 39.948 ARGON
4	<b>K</b> 39.098 POTASSI	<b>Ca</b> 40.078 CALCI	<b>Sc</b> 44.956 ESCANDI	<b>Ti</b> 47.867 TITANI	<b>V</b> 50.942 VANADI	<b>Cr</b> 51.996 CROM	<b>Mn</b> 54.938 MANGANESE	<b>Fe</b> 55.845 FERRO	<b>Co</b> 58.933 COBALT	<b>Ni</b> 58.693 NICKEL	<b>Cu</b> 63.546 COBRE	<b>Zn</b> 65.38 ZINC	<b>Ga</b> 69.723 GAL·LI	<b>Ge</b> 72.630 GERMANI	<b>As</b> 74.922 ARSENIC	<b>Se</b> 78.971 SELENI	<b>Br</b> 79.904 BROM	<b>Kr</b> 83.798 KRIPTÓ				
5	<b>Rb</b> 85.468 RUBIDI	<b>Sr</b> 87.62 ESTRONCI	<b>Y</b> 88.906 ITRI	<b>Zr</b> 91.224 ZIRCONI	<b>Nb</b> 92.906 NIOBI	<b>Mo</b> 95.94 MOLIBDENI	<b>Tc</b> 98.906 TECNICI	<b>Ru</b> 101.07 RUTENI	<b>Rh</b> 101.07 RÒDRI	<b>Pd</b> 106.36 PAL·LADI	<b>Ag</b> 107.868 PLATA	<b>Cd</b> 112.414 CADMI	<b>In</b> 114.818 INDI	<b>Sn</b> 118.710 ESTANY	<b>Sb</b> 121.760 ANTIMONI	<b>Te</b> 127.60 TEL·LURI	<b>I</b> 126.905 IODI	<b>Xe</b> 131.29 XENÓ				
6	<b>Cs</b> 132.905 CESI	<b>Ba</b> 137.327 BARI	<b>La</b> 138.905 LANTANI	<b>Ce</b> 140.12 CER	<b>Pr</b> 140.908 PRASEODIMI	<b>Nd</b> 144.24 NIOB	<b>Pm</b> 144.913 PROMETI	<b>Sm</b> 150.36 SAMARI	<b>Eu</b> 151.964 EUROPI	<b>Gd</b> 157.25 GADOLINI	<b>Tb</b> 158.925 TERBI	<b>Dy</b> 162.50 DIPROSDIMI	<b>Ho</b> 164.930 HOLMI	<b>Er</b> 167.259 ERBOLI	<b>Tm</b> 168.934 TERMI	<b>Yb</b> 173.054 YTERBI	<b>Lu</b> 174.967 LUTETI					
7	<b>Fr</b> 223 FRANCI	<b>Ra</b> 226 RADI	<b>Ac</b> 227 ACTINI	<b>Th</b> 232.037 TAL·LURI	<b>Pa</b> 231.036 PROTACTINI	<b>U</b> 238.029 URANI	<b>Np</b> 237.048 NEPTUNI	<b>Pu</b> 244.064 PLUTONI	<b>Am</b> 243.061 AMERICI	<b>Cm</b> 247 CURI	<b>Bk</b> 247 BERKELI	<b>Cf</b> 251 CALIFÒRNI	<b>Es</b> 252 EINSTEINI	<b>Fm</b> 257 FERMI	<b>Md</b> 288 MENDELIÈV	<b>No</b> 289 NOBELI	<b>Lr</b> 260 LUTETI					

Figura 3. La taula periòdica dels elements químics actual. Extret de: <http://blogs.iec.cat/scq/publicacions/taula-periodica/>

## Una breu revisió de l'estructura rònica de l'àtom

Tots els nostres experiments indiquen que els àtoms estan formats per tres tipus de partícules subatòmiques: els neutrons (n), partícules molt massives i sense càrrega; els protons (p+), partícules amb gairebé la mateixa massa que els neutrons, però amb càrrega elèctrica positiva; i els electrons (e-), amb una massa unes dues mil vegades menor que els protons i amb càrrega negativa igual en valor absolut a la dels protons. D'aquesta manera, en un àtom neutre el nombre de protons i electrons és exactament el mateix. El nombre de protons d'un àtom és el nombre atòmic, Z. Així que els àtoms de l'hidrogen, el primer element de la taula periòdica,

tenen 1 protó, mentre que els àtoms de l'heli tenen 2 protons, els del liti, 3, els del beril·li, 4, etc.

Els experiments també indiquen que pràcticament tota la massa de l'àtom està concentrada al nucli, on es troben els protons i neutrons. Els electrons es troben girant al voltant d'aquest nucli, i formen el que anomenem escorça. La distribució de càrrega elèctrica al voltant del nucli és esfèrica (figura 4). Els electrons es troben sotmesos, d'una banda, a una força electrostàtica atractiva exercida pel nucli, del qual tendeixen a estar al més a prop possible i, d'una altra banda, es troben sotmesos a forces electrostàtiques repulsiu exercides entre si, de manera que, en el seu moviment tendeixen a estar allunyats

els uns dels altres. En conseqüència, els electrons que orbiten al voltant del nucli es distribueixen per capes. A la capa més propera al nucli, la primera capa, la que té el menor radi, es poden situar 2 electrons, a la segona capa, amb un radi més gran, es poden situar 8 electrons, a la tercera, amb un radi encara més gran, es poden situar 18 electrons, etc.

Dins cada capa hi ha algunes diferències entre els electrons que l'ocupen, tant en l'ener-

gia com en la distància mitjana al nucli. Totes aquestes diferències estan elegantment explicades per la Mecànica Quàntica, que, sense cap dubte, constitueix un dels grans èxits científics de la humanitat. El nombre d'electrons que hi ha en aquestes capes està també condicionat per una propietat mecanoquàntica dels electrons anomenada espín. A causa de l'espín, els electrons es comporten com petits imants.

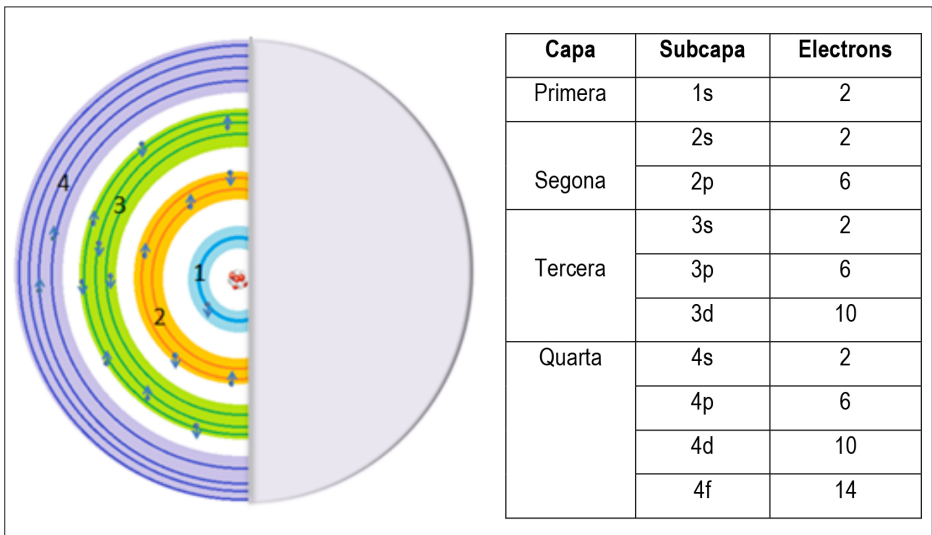


Figura 4. Esquematzització de l'estructura electrònica d'un àtom amb un model mecanoquàntic. Els electrons giren al voltant del nucli formant capes, més poblades com més s'allunyen del nucli. La taula de la dreta indica la distribució en subcapes dels electrons d'una capa.

Amb aquesta teoria, si bé no podem seguir l'electró en la seva trajectòria al voltant del nucli, sí que podem establir l'espai on, amb una alta probabilitat, trobarem l'electró. D'això en diem orbital. El nom que els científics han donat a aquests orbitals (subcapa) es mostra a la taula de la figura 4 fins a la capa

quarta. Tots els orbitals que tenen la mateixa lletra tenen la mateixa forma. L'energia d'un orbital augmenta a mesura que augmenta el nombre inicial. En una mateixa capa, l'energia de l'orbital augmenta amb cada nova subcapa. Evidentment la distribució electrònica més estable d'un àtom és la que li dona la mínima energia.



Comparau les figures 3 i 4. No és extraordinària la semblança dels períodes de la taula periòdica amb l'estructura en capes i subcapes dels electrons dins els àtoms? És cert que tenim alguna anomalia, com que la subcapa 3d es comença a ocupar en el període quart o que la subcapa 4f no es comença a ocupar fins al període sisè, però per a això la Mecànica Quàntica també té una encertadíssima explicació. Així que la taula periòdica dels elements és l'ordenació dels elements d'acord amb l'estructura electrònica dels seus àtoms neutres i en el seu estat de més baixa energia, la qual en condiciona la reactivitat química.

### L'origen dels àtoms, la formació de les molècules i la reactivitat química

Quan observam la naturalesa i analitzam els materials naturals al nostre abast trobam que els àtoms, excepte en el cas dels gasos nobles, mai no apareixen sols. En el millor dels casos, podem trobar matèria formada per només un tipus d'àtoms, però si observam bé, ens adonarem que, fins i tot en aquests casos, els àtoms apareixen associats formant el que anomenam molècules. De vegades, les molècules són petites i estan formades per només 2 o 3 àtoms, com és el cas de l'oxigen que respirem i el diòxid de carboni que expulsam després de la combustió cel·lular, o l'aigua que bevem (figura 5).

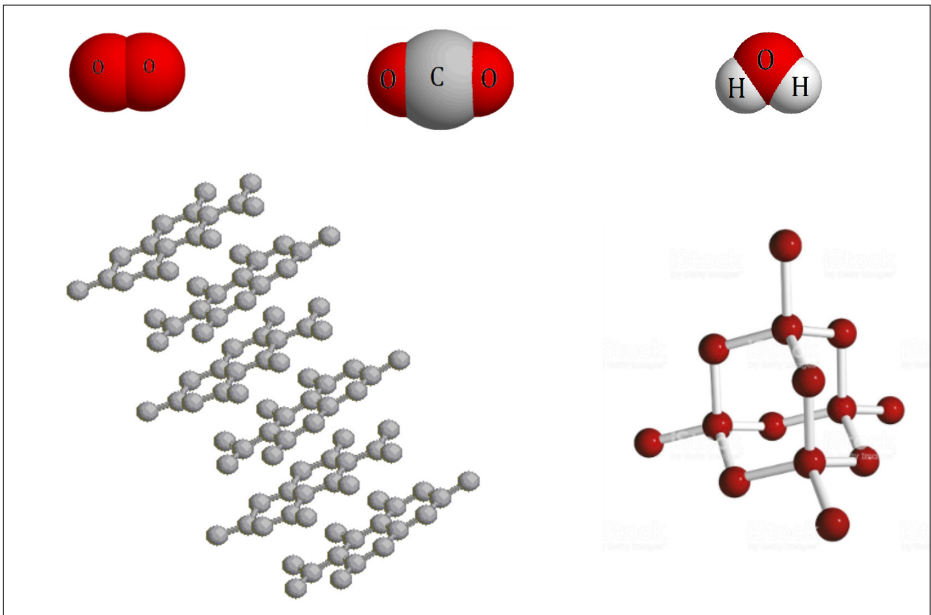


Figura 5. Representacions moleculars. A la fila de dalt, molècules amb pocs àtoms. D'esquerra a dreta: oxigen, O<sub>2</sub>; diòxid de carboni, CO<sub>2</sub>; i aigua, H<sub>2</sub>O. En aquest model visual es pot observar com les esferes electròniques atòmiques s'interpenetren (enllaç químic). A la fila de sota, grafit (esquerra) i diamant (dreta). En els dos casos només hi ha àtoms de carboni. En aquest model, per visualitzar millor l'arquitectura molecular, els enllaços entre àtoms s'han representat com una vareta.

En altres casos, els àtoms s'uneixen entre si formant extenses xarxes tridimensionals. A la part inferior de la figura 5 es mostren dos exemples d'aquestes xarxes. Totes dues estan formades exclusivament per àtoms de carboni. En el diamant (dreta), cada àtom està unit a altres quatre formant una xarxa de tetraedres que s'estén tridimensionalment per l'espai. En el grafit (esquerra), cada àtom de carboni està unit a altres tres formant extenses xarxes bidimensionals planes que s'apilen les unes sobre les altres. Aquestes diferències estructurals determinen que, mentre que el grafit és un material tou, exfoliable en làmines, conductor de l'electricitat i de color negre mat, el diamant és un material duríssim, aïllant, transparent i brillant. Com a curiositat apuntarem que el grafit, aquest nou material amb unes propietats tecnològiques tan extraordinàries, és simplement una làmina de grafit.

Ens demanam, llavors: quina és la causa d'un agregat estructural tan diferent en els dos materials? La resposta és senzilla, les condicions ambientals en què s'han format, és a dir, les condicions ambientals de la reacció química que en va originar la formació. La conclusió és clara: el coneixement i control de les reaccions químiques de formació dels materials ens pot permetre la fabricació de materials amb les propietats que cercam. Tornarem més tard sobre això, però convé tenir present aquest immens potencial de la ciència i la tecnologia química.

Sembla, per tant, que la Terra ha estat, i encara és, un laboratori químic on els elements es combinen de forma natural per donar lloc a la matèria que coneixem, inclosos els éssers vius. La pregunta és, llavors, doble: d'on provenen els elements dels quals estam construïts?, i quina és la raó per la qual els elements reaccionen entre si?

## **L'origen dels àtoms**

La teoria del big-bang situa l'origen de l'Univers fa uns 13.800 milions d'anys. Després de pocs mil·lisegons del gran esclat, ja s'havien format els neutrons, protons i electrons. Al cap de pocs minuts, en una etapa anomenada nucleosíntesi primordial, es generen els elements més lleugers: l'hidrogen (1 protó), que constitueix el 74% de la matèria coneguda de l'Univers, l'heli (2 protons i 2 neutrons), que en constitueix el 24%, i el liti (3 protons i 4 neutrons).

La resta dels elements, el carboni, l'oxigen, el neó, etc., fins al número 56, el ferro, es formen posteriorment, a l'interior dels estels, on, a enormes pressions, inicialment els àtoms d'hidrogen es fusionen per donar heli, a partir del qual i per reaccions de termofusió nuclear successives es generen els elements més pesants. Aquest procés es coneix com a nucleosíntesi estel·lar. La formació dels següents elements més pesants requereix moltíssima més energia, energia que s'aconsegueix en l'explosió de les supernoves, estrelles tan massives que no poden aturar el seu procés de contracció gravitacional a mesura que el seu combustible nuclear, l'hidrogen, es va esgotant i l'estrella es va enriquint en elements pesants. En l'explosió de la supernova es llancen a l'espai els elements pesants que ja contenia a l'interior, formats per nucleosíntesi estel·lar, i els nous elements més pesants que el ferro, com el plom, l'or o el platí, generats a partir possiblement del ferro amb l'energia de l'explosió estel·lar.

Després d'aquestes dispersions còsmiques i per posteriors processos d'agregació gravitacional es formen altres cossos celestes, entre els quals els planetes, com la Terra. Com

veurem a continuació, l'evolució de la matèria primigènica a la Terra dona lloc al nostre planeta actual, inclosos els éssers vius. Així que és encertat afirmar, com Carl Sagan, que «els humans som pols d'estels». Tots els elements de què estam fets, principalment carboni, oxigen, nitrogen i hidrogen, però també ferro, calci, fòsfor, sofre, potassi, sodi, etc., alguna vegada, fa milions d'anys, varen formar part d'un estel. Potser en aquest moment seria oportú recordar Teilhard de Chardin, que deia —encara que en un altre context— que, amb l'home, la matèria pren consciència de si mateixa.

### **La reactivitat química i la formació de les molècules**

Ara que hem respost a la primera de les preguntes que ens fèiem, tornem a la taula periòdica per veure si podem respondre a la segona: hi ha alguna raó que justifiqui el fet que els elements químics hagin reaccionat entre si per formar molècules? Les molècules, de forma individual o en forma de xarxes, com ja hem dit abans, és la forma en què trobam els elements a la Terra, però no només a la Terra.

Tornem al nostre model atòmic mecano quàntic, en el qual els electrons es distribueixen per capes al voltant del nucli, i prenguem com a exemple l'oxigen, O, element amb nombre atòmic 8, dada que significa que un àtom neutre d'oxigen té 8 protons al nucli, per tant, té una càrrega nuclear de +8 e.<sup>1</sup> L'escorça de l'àtom té 8 electrons, per tant, una càrrega electrònica de -8 e. Els electrons de l'escorça es distribueixen de la

manera següent: 2 a la primera capa i 6 a la segona capa. Els 2 primers electrons interns es troben molt a prop del nucli i molt fortament atrets per aquest. Els 6 electrons externs són a la segona capa, a una distància mitjana del nucli més llunyana que els de la primera capa. No obstant això, els electrons es mouen per tot el volum que ocupa l'escorça —ja hem dit que les capes electròniques s'interpenetren—, de manera que, en determinats moments, els electrons de la segona capa estan més a prop del nucli que els de la primera. Això té una conseqüència molt important, i és que la força elèctrica atractiva és més alta a la zona de la segona capa que el que es podria esperar si l'electró es mogués en òrbites fixes. D'aquesta manera, si un electró passés a prop d'aquest àtom d'oxigen, sentiria aquesta força atractiva, seria «captat» i passaria a formar part de l'àtom. El camp elèctric atractiu és tan fort en aquesta capa segona que l'entrada d'un segon electró és també favorable en un context molecular. Amb 2 electrons més l'àtom d'oxigen completa la seva segona capa. L'entrada d'un tercer electró suposaria començar a construir la tercera capa, molt més lluny del nucli, i la situació ja no seria energèticament favorable.

Com poden els àtoms d'oxigen agrupar-se de manera que la situació energètica sigui més favorable que quan romanen aïllats? És senzill: agrupant-se de 2 en 2 i compartint 4 electrons, 2 de cada àtom, és a dir, formant una molècula O<sub>2</sub>. D'aquesta manera, cada àtom d'oxigen estarà envoltat de 10 electrons, 4 dels quals són compartits. La formació de la molècula d'oxigen a partir dels seus

<sup>1</sup> Cal dir que *e* és la unitat atòmica de càrrega i equival a  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .

àtoms és una reacció química. En formar la molècula s'allibera energia, per això la situació molecular és més estable que la situació d'àtoms separats. Això és el que es reflecteix a la part superior de l'esquema de la figura 6. En Química, aquesta compartició d'electrons entre dos nuclis diferents s'anomena enllaç químic. En aquest cas, ja que es comparteixen dos parells d'electrons, es diu que l'enllaç químic entre els dos àtoms d'oxigen és doble.

Anem ara a l'altre extrem de la taula periòdica i considerem l'àtom de liti, Li. Amb un nombre atòmic 3, la càrrega +3 i del nucli està compensada per una càrrega -2 e a la primera capa de l'escorça i -1 e a la segona. Per les mateixes raons que hem indicat per

a l'àtom de O, l'àtom de Li també tendeix a completar la seva capa incompleta. La diferència és que aquesta segona capa en aquest àtom només té un electró, és gairebé buida, i la càrrega positiva del nucli és massa baixa com per suportar l'excés de càrrega negativa que suposaria completar la darrera capa. Llavors, quina és la regla ara? Completar només la primera subcapa, per la qual cosa, com es pot apreciar a la taula de la figura 4, només cal afegir un electró. Per tant, la situació de mínima energia ens porta a una molècula  $\text{Li}_2$  en lloc d'una situació d'àtoms separats. Aquesta reacció química és la que hem esquematitzat a la zona central de la figura 6. Ara entre els 2 àtoms de liti s'estableix un enllaç simple, ja que es comparteix només un parell d'electrons.

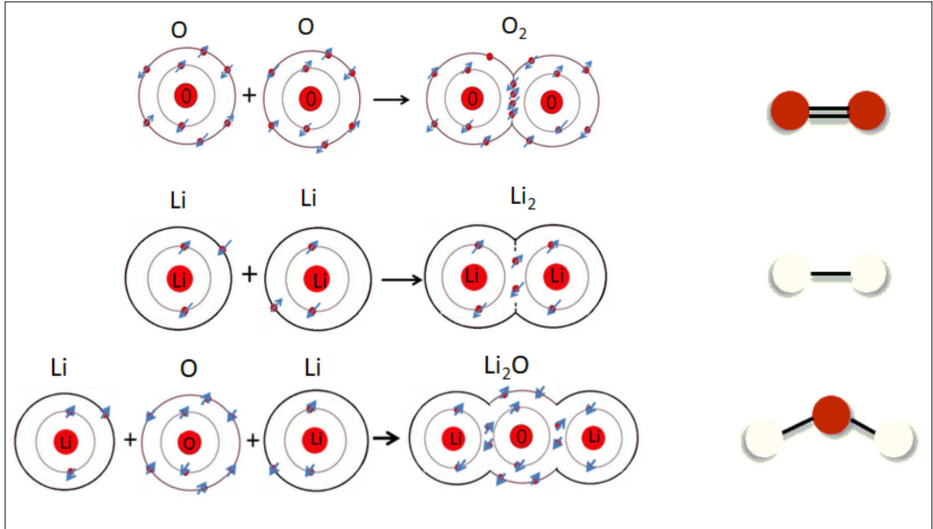


Figura 6. Esquema de formació de molècules per compartició d'electrons entre nuclis atòmics: la molècula de  $\text{O}_2$  (a dalt), la molècula de  $\text{Li}_2$  (al centre), la molècula de  $\text{Li}_2\text{O}$  (a baix). A la dreta, esquema de la forma molecular.

És necessari que els 2 electrons que l'oxigen necessita per completar la seva darrera capa i l'electró que necessita el Li per completar la seva subcapa provinguin d'un altre àtom d'oxigen o de liti, respectivament? Per descomptat que no. Considerem ara els dos àtoms. Ja que l'oxigen necessita 2 electrons i el liti 1, el més convenient seria utilitzar 1 àtom d'oxigen i 2 de liti, tal com s'observa de forma esquemàtica a la figura 6. El nou compost format és un òxid de liti,  $\text{Li}_2\text{O}$ . En aquest compost l'oxigen forma un enllaç químic senzill amb un àtom de liti i un altre enllaç senzill amb l'altre àtom de liti. La distribució relativa espacial que adopten els nuclis (forma de la molècula, figura 6, dreta) és la més adequada perquè la repulsió electrònica molecular sigui mínima.

Hem de fer una apreciació més. Mentre que el nucli de Li només té una càrrega +3 e, el O té una càrrega +8 e de manera que, per als 2 electrons que es comparteixen, la influència del camp elèctric del nucli de O és molt més gran —és més atractiu— que el camp del nucli de Li. El resultat és que els 2 electrons de l'enllaç estan molt més a prop del nucli d'oxigen que del nucli de liti. Diem llavors que aquest enllaç està molt polaritzat. En situacions extremes, com és l'òxid de liti en estat sòlid, l'oxigen apareix realment com un anió amb càrrega -2 e i el liti com un catió amb càrrega +1 e. Diem llavors que l'enllaç químic és un enllaç iònic.

Com s'observa clarament, en la formació dels enllaços químics, és a dir, en la formació de les molècules, només té interès la capa electrònica darrera, la qual està incompleta. Els químics a aquesta capa li diem la capa de valència. És lògic deduir que tots els àtoms que tinguin la mateixa estructura en la seva capa de valència es

combinaran entre si de forma similar, és a dir, tindran un comportament químic semblant. Quins elements tenen una capa de valència similar? Tots els que estan en una mateixa columna de la taula periòdica, tots els que pertanyen al mateix grup o família.

També entenem ara per què les propietats químiques dels elements van canviant progressivament a mesura que ens desplaçam d'esquerra a dreta per un període de la taula periòdica, ja que aquesta és la manera en què es va completant la capa de valència dels elements. Queda llavors clar per què els gasos nobles són els únics que no formen molècules; perquè tenen la seva capa de valència completa.

És cert que el panorama global de la reactivitat química és una mica més complex que el que acabam de dir —per exemple, els elements a partir del tercer període tenen orbitals d a la capa de valència, la qual cosa els confereix una capacitat d'enllaç múltiple molt més gran que la dels del segon període—, però amb aquest petit esbós començam a entendre que l'origen, la força directora, de tota l'enorme varietat molecular que coneixem es troba en la pròpia estructura dels àtoms de la taula periòdica.

## Les molècules de la vida

Aquesta causa primigènia ha donat lloc a tot un conjunt de molècules amb propietats realment sorprenents: molècules que són capaces de copiar-se a si mateixes per donar pas a una nova generació de molècules «idèntiques», molècules que en si mateixes són un codi d'instruccions per fabricar altres molècules que treballen fent funcions diverses, amb la finalitat darrera d'afavorir el procés de reproducció mole-

cular i de colonitzar el medi, molècules que finalment s'organitzen en estructures superiors per fer les anomenades funcions vitals de manera més eficient i que donen lloc als éssers vius, entre els quals ens trobam com a punt darrer, en aquesta cursa associativa i evolutiva de la matèria. Quines són aquestes molècules de la vida? Bàsicament són molècules de dos tipus: els poliàcids àcids nucleics (ADN i ARN) i les proteïnes.

Les molècules de la vida es generen a partir d'uns quants elements del primer i segon període de la taula periòdica i s'estructuren a partir d'un àtom central, el carboni, C. El carboni, de nombre atòmic 6, té 4 electrons a la capa de valència, la segona, fet que li permet establir 4 enllaços químics —el màxim d'enllaços que pot establir un element del segon període— amb altres 4 àtoms. Els àtoms amb els quals es pot unir són molt diversos, inclòs el mateix àtom de carboni, per la qual cosa es poden originar llargues cadenes polimèriques realment complexes. Els elements principals que acompanyen el carboni en la química de la vida són l'hidrogen, del primer període —només pot establir un enllaç—, el nitrogen i l'oxigen. Aquests dos darrers, també del segon període, estan situats justament a la dreta del C, de manera que tenen, respectivament, 1 i 2 electrons més que ell i només poden establir 3 i 2 enllaços químics, respectivament. El fòsfor, del grup del N però al tercer període, és igualment fonamental per a la vida. El panorama es completa amb uns quants elements més, com el sofre, el calci, el potassi, el sodi i el ferro. La descripció en detall de totes les peculiaritats d'aquestes grans molècules de la vida queda més enllà dels objectius d'aquesta breu lliçó de Química, però en podem fer unes quantes pinzellades a partir d'una representació dels seus models moleculars.

Les proteïnes són llargs polímers que es formen per la unió d'altres molècules orgàniques més petites que anomenam aminoàcids. En la formació de les proteïnes la natura utilitza uns vint aminoàcids diferents. La unió entre els aminoàcids sempre es realitza mitjançant l'anomenat enllaç peptídic o unió peptídica (figura 7). Aquesta unió es repeteix seqüencialment de la forma  $-NH-CHR_1-CO-NH-CHR_2-CO-$ , on  $R_1$  i  $R_2$  són grups diferents per a cada aminoàcid. Les proteïnes són extremadament versàtils i fan les funcions vitals: formen els teixits, formen el sistema immunitari, acceleren i controlen les reaccions químiques dels éssers vius, transporten oxigen i nutrients a les cèl·lules, controlen i ajuden en les funcions de replicació i traducció del codi genètic, etc., i tot això mitjançant seqüències controlades de reaccions químiques.

La figura 7 mostra un esquema de dues unions peptídiques entre tres aminoàcids diferents, que formen la seqüència 92-93-94 dels 153 aminoàcids diferents que formen la mioglobina. La mioglobina és una proteïna que transporta a les cèl·lules i emmagatzema l'oxigen que respiram. La cadena peptídica no té cap centre on es pugui ancorar l'oxigen molecular, per això la proteïna està associada a una gran molècula, el grup hemo, un macrocicle orgànic amb un àtom de ferro al centre. És aquest àtom de ferro central el punt d'ancoratge de l'oxigen per al seu transport i emmagatzematge. Potser val la pena aclarir que, quan se segueix la trajectòria de la seqüència de les unions peptídiques esmentades anteriorment, en moltes ocasions aquestes adopten arquitectures molt definides, llavors, per abreviar l'escriptura mantenint l'essència de la informació estructural, s'adopten representacions esquemàtiques,

com les que apareixen a la figura de la dreta: l'esquelet molecular en forma de cintes que representen una estructura en hèlix alfa. L'estructura tridimensional de la mioglobina va ser elucidada per John Kendrew i Max Pe-

ritz mitjançant difracció de raigs X. Els seus treballs varen ser pioners en la cristal·lografia de proteïnes, per la qual cosa els varen concedir el premi Nobel de química el 1962.

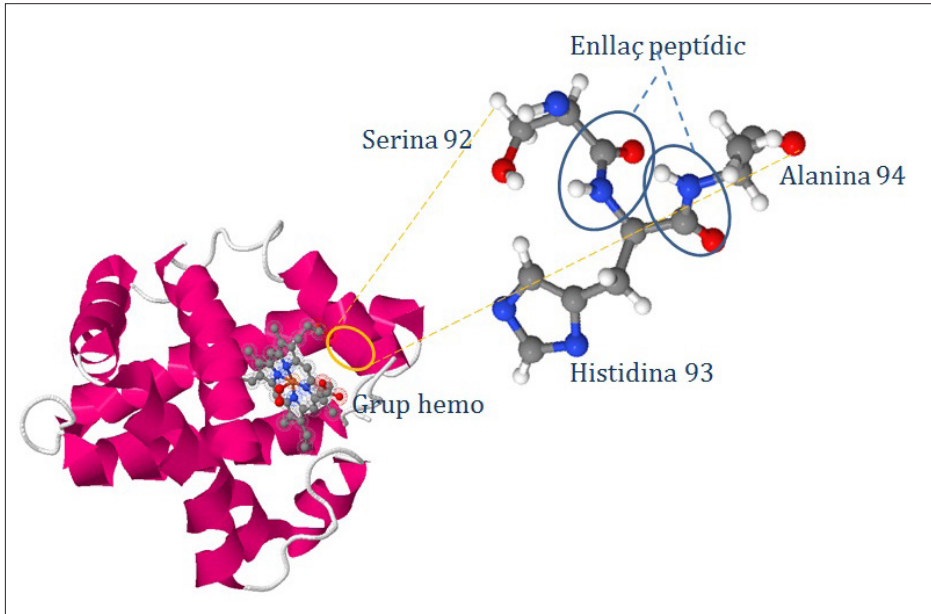


Figura 7. Representació esquemàtica d'una proteïna (codi PDB: 1mbo). La proteïna és una macromolècula formada per la unió d'unitats més petites. A la dreta apareix una ampliació de la seqüència dels aminoàcids 92-93-94. Les esferes en blau, vermell, gris i blanc són, respectivament, àtoms de nitrogen, oxigen, carboni i hidrogen. El grup àtom central a l'esquema de l'esquerra és el grup hemo, amb un àtom de Fe al centre unit a una molècula d'oxigen (O<sub>2</sub> en vermell).

Els poliàcids nucleics o simplement àcids nucleics, àcid desoxiribonucleic (ADN) i àcid ribonucleic (ARN), són les molècules que codifiquen la vida, l'ADN, i tradueixen el codi ajudant en la fabricació de les proteïnes, l'ARN. L'estructura en doble hèlix de l'ADN va ser proposada per James Watson i Francis Crick després de veure les imatges de difracció de raigs X obtingudes per Rosalind

Franklin, per això l'Acadèmia Sueca, ignorant la feina de la gran cristal·lògrafa britànica, va atorgar només als dos primers el premi Nobel de fisiologia i medicina el 1962.

Les unitats amb què es construeixen els poliàcids nucleics, els nucleòtids, són una mica més complicades que els aminoàcids i són derivades d'unes peculiars molècules

orgàniques anomenades bases nitrogenades púriques i pirimidíniques. A la figura 8 es mostra una imatge de la seva estructura molecular. En els monòmers, les bases, formades exclusivament per nitrogen, oxigen i hidrogen, s'uneixen a un residu desoxiribosa, un sucre i un grup fosfat. D'aquesta manera, el fòsfor, com ja es va apuntar anteriorment, se'ns revela com un altre dels pilars de la vida. Els polímers es formen mitjançant unions dièster fosfòric, com s'aprecia a la imatge dreta de la figura 8.

El veritablement curiós d'aquestes bases és que són químicament complementàries dues a dues: la citosina (C) és complementària amb la guanina (G) i l'adenina (A) és complementària amb la timina (T). Aquest aparellament es respecta estrictament a l'ADN, de manera que, en la replicació, cadascuna de les fibres primigènies (mare) és el motlle exacte amb el qual es generaran les dues noves dobles hèlix (filles), que seran idèntiques a la primitiva.

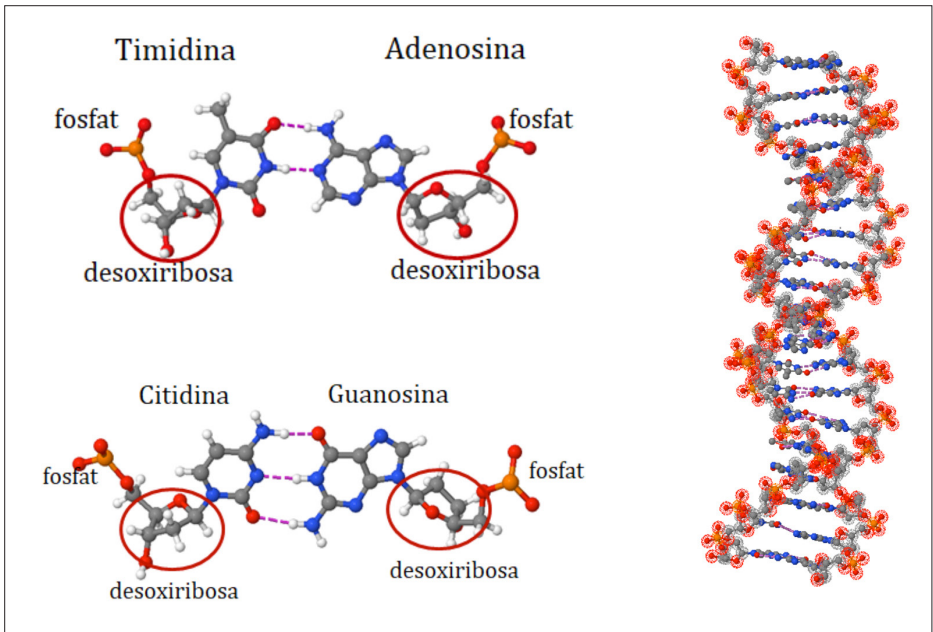


Figura 8. Aparellament químic dels nucleòtids que formen els àcids nucleics. Aparellament A-T per formació de tres enllaços d'hidrogen (a dalt). Aparellament C-G per formació de tres enllaços d'hidrogen (a baix). Estructura general de la doble hèlix dextroscissa de l'ADN (dreta).

La seqüència de nucleòtids a l'ADN gènic codifica la formació de les proteïnes. Cada aminoàcid proteic està descrit, almenys, per una seqüència de tres bases. En el procés de

transcripció aquesta informació es trasllada a l'ARN, que la porta al ribosoma, on es produeix el procés de traducció i síntesi de proteïnes d'acord amb les instruccions es-



crites a l'ADN. Tots aquests processos estan constituïts per una gegantina seqüència de reaccions químiques.

La química dels organismes vius és, sense cap dubte, la més complexa que coneixem: el nivell d'estructuració que adquireix la matèria és realment espectacular, i el nombre de molècules diferents implicades en reaccions químiques diferents i que fan funcions diferents és gairebé inabastable.

En aquest sentit, i com dèiem al principi d'aquesta lliçó, la Química és una ciència central, es nodreix de les lleis bàsiques establertes per la Física i les aprofita per explicar el comportament de la matèria inert i també de la matèria viva, objecte d'estudi de la Biologia i, per extensió, de la Medicina. Mitjançant aquest coneixement, la Ciència i Tecnologia Química és capaç de sintetitzar noves molècules —o d'aprofitar-ne altres ja existents a la natura— que actuen com a fàrmacs per pal·liar disfuncions del complex sistema vital humà o per eliminar altres organismes patògens. Així disposam d'antibiòtics, antivirals, analgèsics, anestèsics, antifúngics, antisèptics, antiinflamatoris i un llarguíssim etcètera de productes que contribueixen al manteniment de la salut i de la vida humana.

## Epíleg

Esper que aquesta petita lliçó hagi contribuït perquè tingueu un millor coneixement del que són la Química i les transformacions químiques. Ara, en un parell de paràgrafs, voldria justificar què és el que la Química pot fer per nosaltres i el nostre futur.

«Mira al teu voltant. Què hi veus? Tot és química». Aquest és el lema que el Departament

de Química de la UIB ha triat per llançar una campanya de difusió local de la Química, aprofitant aquest Any Internacional de la Taula Periòdica.

Certament, en tots els àmbits del desenvolupament tecnològic hi ha la Química, des del disseny i síntesi de noves fibres tèxtils que faciliten l'adquisició de millors marques esportives o disminueixen els riscos laborals (equipament de bombers, mariners, astronautes, metges, etc.) fins a materials per a la construcció d'edificis amb millors aïllaments i energèticament més eficaços. Des de la fabricació del material de silici per a la construcció de microxips o de nous materials conductors com el grafè i els nanotubs de carboni, fins a la fabricació de nous aliatges metàl·lics més lleugers i resistent per construir mitjans de transport més eficaços. Des de la generació de nous materials per a la construcció d'estacions fotovoltaïques a la producció de noves piles i cèl·lules de combustible menys contaminants que permeten la generació d'energia in situ. Des de la preparació de cosmètics i productes d'higiene fins a l'elaboració d'insecticides per al control de plagues. Des de la fabricació de pigments i materials per a les arts plàstiques fins al desenvolupament de procediments per a l'anàlisi, la restauració i la datació d'obres d'art. Tampoc no ens podem oblidar de la importància cabdal de la Química en la producció i conservació d'aliments, en la potabilització d'aigües i en la depuració d'aigües residuals; en definitiva, en la gestió i el control dels residus generats per l'activitat humana.

La Química és una ciència amb un enorme potencial en tots els àmbits de la vida, atès que utilitza els elements químics, els pilars de la nostra vida, per sintetitzar nous mate-

rials que la natura no ha generat espontàniament. Per aquesta mateixa raó, perquè som éssers que evolutivament hem sorgit en un determinat medi, i perquè la disponibilitat de materials és limitada, hem de ser conscients de la necessitat de preservar aquest

medi i de procurar un desenvolupament sostenible. En la consecució d'aquest objectiu, la Química també ens pot ajudar.

Moltes gràcies per la vostra atenció.

## **Bibliografia**

[1] *Proclamación por las Naciones Unidas de 2019 Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos*. UNESCO. General Conference, 2017, 39th. 39 C/60. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000259915\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000259915_spa) (recuperat el 17/07/2019)

[2] *Breve historia de la química. Introducción a las ideas y conceptos de la química*. I. Asimov. Alianza. Madrid. Ed. 50 aniversario. 2016

[3] *La Tabla Periódica. La curiosa historia de los elementos*. H. Aldersey-Williams. Ariel. Barcelona. 2a ed. 2018

[4] *El Cosmos en la palma de la mano. Del Big Bang a nuestro origen en el polvo de las estrellas*. M. Lozano Leyva. Ed. Debolsillo. Barcelona. 2012

[5] *Las moléculas de Atkins*. P. Atkins. Akal. Barcelona. 2008

[6] *The molecules of life. Physical and Chemical Principles*. J. Kuriyan, B. Konforti, D. Wemmer. Garland Science. New York. 2013

[7] *Chemistry in context. Applying Chemistry to Society*. A Project of the American Chemical Society (ACS). McGraw Hill. 2017

[WWW.uib.cat](http://www.uib.cat)

Universitat de les Illes Balears  
DL PM 1033-2019