

Enllaç químic i estructura de les substàncies a l'educació secundària: una crítica a l'ensenyament tradicional i una proposta didàctica alternativa

Chemical bonding and structure of substances in secondary education: a critique of traditional teaching and a didactic alternative

Aureli Caamaño / Societat Catalana de Química



resum

L'estudi de l'enllaç químic i l'estructura de les substàncies és un dels continguts conceptuals més importants i també més difícils dels que formen el currículum de química de l'educació secundària obligatòria i el batxillerat. Tanmateix, l'ensenyament tradicional de l'enllaç químic comporta una sèrie de dificultats d'aprenentatge i induïx una sèrie de concepcions alternatives. En aquest article analitzem algunes d'aquestes dificultats i proposem una alternativa didàctica centrada en la integració de l'enllaç químic com a interacció i com a procés en el nivell estructural adequat, alhora que destaquem la importància de relacionar propietats de les substàncies, estructura i enllaç.

paraules clau

Enllaç químic, estructura multimolecular, estructura gegant, regla de l'octet, forces intermoleculars.

abstract

The study of chemical bonding and the structure of substances is one of the most important and the most difficult concepts that make up the chemistry curriculum of compulsory secondary education and high school education. The traditional teaching of chemical bonding involves a series of learning difficulties and induces a series of alternative conceptions. In this article, we look at some of these difficulties and propose an alternative teaching focused on the integration of chemical bonding as integration and as a process in the appropriate level, emphasizing the importance to link substances properties, structure and bonding.

keywords

Chemical bonding, multimolecular structure, giant structure, octet rule, intermolecular forces.

Algunes consideracions crítiques sobre l'ensenyament tradicional de l'enllaç químic

L'enllaç químic és un dels temes més difícils de la química en l'educació secundària i la investigació didàctica ha mostrat que dona lloc a un ampli ventall de concepcions alternatives

(Riboldi, Pliego i Odetti, 2004; Levy Nahum *et al.*, 2008; Bergqvist *et al.*, 2013; Luxford i Lowery, 2013).

A continuació, fem una descripció de la forma més habitual en què aquest tema es presenta als llibres de text i a les aules i dels problemes conceptuals que comporta.

L'enllaç covalent i l'iónic interpretats a través de la regla de l'octet

Normalment, la formació de l'enllaç covalent entre dos àtoms s'explica com a conseqüència de la compartició d'electrons de la capa de valència per aconseguir que cada un estigui envoltat per vuit electrons a l'última capa.

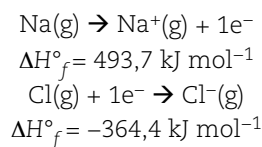
Cada parell d'electrons compartit dona lloc a un enllaç covalent, que es representa amb dos punts o amb una ratlla (fig. 1).

La formació de l'enllaç iònic s'explica habitualment com a conseqüència de la transferència d'electrons de la capa de valència d'un àtom (del primer o segon grup de la taula periòdica) a la d'un altre àtom (dels grups 16 o 17) per formar ions de diferent signe amb l'última capa completa amb vuit electrons (fig. 2).

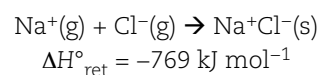
cedeixen o comparteixen electrons amb la finalitat d'adquirir l'estructura del gas noble més pròxim». Aquesta explicació pot acabar conferint involuntàriament un cert caràcter «animista» als electrons, com si fossin entitats que tenen la voluntat d'adquirir una estructura determinada, i ens deixa sempre amb la pregunta: com «saben» els electrons que han de tendir a adquirir l'estructura del gas noble més pròxim? (Caamaño,

tar l'última capa d'electrons estaria justificada per la tendència a adquirir una estructura amb menys energia. Però el fet que un àtom d'un gas noble tingui una estructura electrònica molt estable no implica que la cessió d'un electró d'un àtom immediatament posterior a la taula periòdica doni lloc a una espècie més estable.

De fet, el procés de cessió d'un electró (ionització) és un procés endotèrmic, ja que suposa que l'extracció d'un electró venent la força d'atracció del nucli condueix a un ió i un electró separats que tenen més energia que l'àtom (Taber, 2009). Ni tan sols la consideració conjunta d'aquest procés d'ionització amb el de captació de l'electró per part d'un altre àtom (electroafinitat) dona lloc a un procés global exotèrmic. Per exemple, en el cas del NaCl(s):



El procés de formació d'ions a partir dels àtoms no seria possible si no fos perquè hi ha una tercera etapa que implica l'aproximació dels ions per formar una xarxa iònica, $\text{Na}^+\text{Cl}^-(\text{s})$, una etapa que és fortament exotèrmica (energia reticular) (fig. 3):



Per tant, per explicar energèticament la formació de l'enllaç iònic en un sòlid iònic, cal plantejar-se les tres etapes: formació dels ions positius, formació dels ions negatius i aproximació dels ions positius i negatius per formar l'estructura gegant iònica. Això sense tenir en compte que la formació del NaCl(s) no es produeix, en realitat, a partir dels



Figura 1. Formació de l'enllaç covalent entre dos àtoms de clor per compartició d'un electró de l'última capa de cada àtom. Cada àtom de clor queda envoltat per vuit electrons a l'última capa.

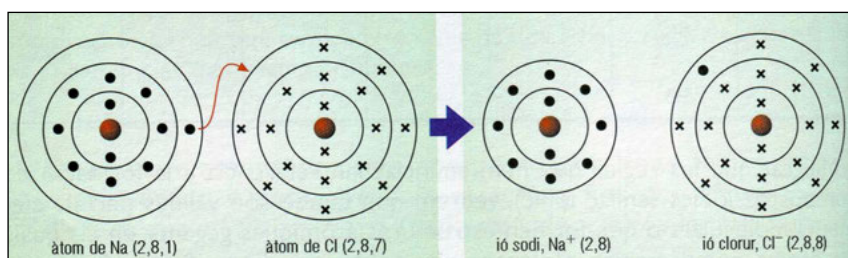


Figura 2. Explicació de l'enllaç iònic per transferència d'un electró de l'última capa d'un àtom de sodi a un altre de clor. Amb aquesta transferència, els ions Na^+ i Cl^- han aconseguit tenir vuit electrons a l'última capa.

Aquesta explicació de la formació de l'enllaç covalent i de l'enllaç iònic es basa en la coneguda regla de l'octet, segons la qual «els àtoms, quan s'uneixen, tendeixen a organitzar les seves capes electròniques externes guanyant, perdent o compartint electrons fins a adquirir l'estructura del gas noble més pròxim».

El principal problema de l'ús de la regla de l'octet per explicar l'enllaç químic és que sovint es presenta o és entesa com un principi teleològic: «Els àtoms

2016a; Talanquer, 2007; Talanquer, 2013).

La justificació que es dona a la regla de l'octet és que l'estructura dels gasos nobles és molt estable i, per tant, se suposa que l'adquisició per part d'un àtom contigu a la taula periòdica d'una configuració electrònica anàloga a l'última capa li proporcionarà també una estructura més estable. Ara bé, una configuració més estable implica una energia potencial menor; d'aquesta manera, la tendència a comple-

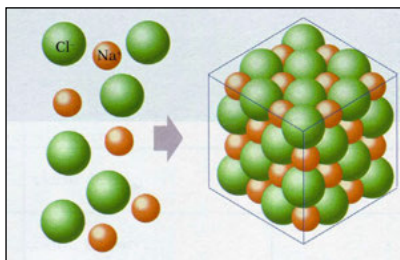


Figura 3. Formació ideal de l'estructura gegant iònica del NaCl(s) a partir dels seus ions en estat gasós.

àtoms de sodi i de clor en estat gasós, sinó a partir de Na(s) i Cl₂(g) (Taber, 2016).

L'explicació tradicional de l'enllaç iònic, en centrar l'atenció en la transferència d'un o més electrons de valència d'un àtom a un altre i no en la formació d'una estructura gegant iònica, indueix a pensar que es formen parells iònics (fig. 2) i no una xarxa d'ions positius i negatius en posicions alternades, és a dir, una xarxa o estructura gegant iònica. D'altra banda, aquests parells iònics acaben adquirint en la ment dels estudiants l'estatus d'una mena de molècula totalment polaritzada, sobretot després d'estudiar l'enllaç covalent polaritzat.

El problema rau en el fet que la formació d'una molècula és un procés que té lloc a escala atòmica o molecular, mentre que la formació d'un sòlid iònic té lloc necessàriament a escala multiònica. No pot explicar-se de la mateixa manera la formació d'una molècula i la d'una estructura gegant iònica, perquè corresponen a nivells estructurals diferents.

Amb aquesta crítica a l'ús de la regla de l'octet per explicar l'enllaç covalent i l'iònic no volem dir que aquesta regla no sigui útil amb altres finalitats. Es tracta d'una regla heurística que permet predir amb una gran facilitat la valència iònica i covalent més probable dels elements dels tres primers períodes de la taula periòdica. És, doncs, una regla

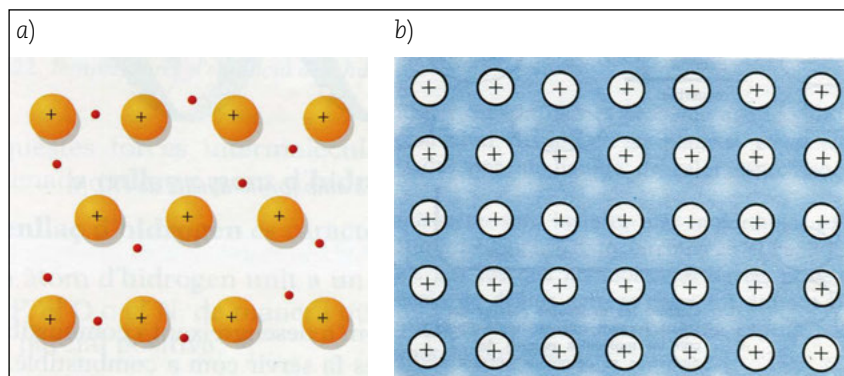


Figura 4. Modelització de l'enllaç metàl·lic en el sodi: ions sodi envoltats per un mateix nombre d'electrons de valència, representats per punts (a) o per un ombrejat (b).

molt útil per fer aquestes prediccions i desenvolupa un paper important en la determinació dels diagrames de Lewis de les molècules. El que estem posant en qüestió és si resulta la manera més adequada per explicar la formació de l'enllaç covalent i l'iònic.

L'enllaç metàl·lic

A diferència de l'enllaç covalent i l'iònic, l'enllaç metàl·lic no s'explica a través del seu procés de formació, sinó en funció de les forces electrostàtiques existents entre les partícules que formen l'estructura del metall ja constituït. Per tant, la modelització de l'enllaç metàl·lic es fa en termes d'interacció elèctrica i se situa en el nivell estructural correcte: una estructura gegant metàl·lica.

La modelització de l'enllaç metàl·lic es realitza a partir del model d'estructura gegant d'un sòlid metàl·lic, constituïda per una xarxa d'ions positius envoltats dels electrons de la capa de valència. Aquests electrons se suposa que es mouen lliurement a través del cristall, és a dir, que estan «deslocalitzats» i formen una mena de «núvol» electrònic, i es representen o bé mitjançant punts desordenats, o bé mitjançant un ombrejat continu entre els ions, amb la intenció de visualitzar el concepte núvol electrònic (fig. 4).

Les forces intermoleculares

Les forces intermoleculares es presenten com la interacció que manté unides les molècules en els sòlids moleculars, si bé habitualment es presta més atenció a la interacció entre un parell de molècules que a l'estructura multimolecular d'aquests sòlids.

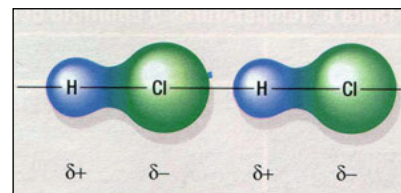


Figura 5. Explicació gràfica de la força intermolecular dipol-dipol entre dues molècules polars de HCl.

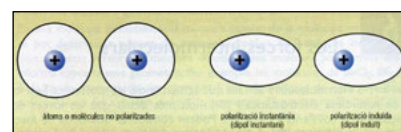


Figura 6. Explicació gràfica de la força intermolecular de dispersió (dipol instantani-dipol induït) entre dos àtoms o molècules apolars.

Es postulen dos tipus de forces intermoleculares: les forces dipol-dipol, que actuen entre molècules polars (fig. 5), i les forces de dispersió de London, que s'introdueixen per poder explicar l'atracció entre molècules apolars (fig. 6).

En fer aquesta presentació, cal tenir present que els estudiants poden acabar pensant que les forces de dispersió només es

donen en molècules apolars i que la intensitat de les forces dipol-dipol sempre és més gran que la de les forces de dispersió. Cal, doncs, destacar que les forces de dispersió tenen lloc en tot tipus de molècules i que són més intenses com més gran és el nombre d'electrons de les molècules (i no com més gran és la seva massa, com es diu a molts llibres de text, ja que el moment dipolar dels dipols instantanis és més gran com més gran és el núvol electrònic que es desplaça, però no té cap relació causal amb la massa de les molècules).

L'enllaç d'hidrogen

L'enllaç d'hidrogen es presenta sovint com un cas particular de força intermolecular que es produeix entre molècules que tenen àtoms de N, O o F enllaçats amb un àtom de H, i que es forma entre un d'aquests àtoms i l'hidrogen d'una molècula contigua. Acostuma a representar-se amb una línia de punts per indicar que és més feble que l'enllaç covalent (fig. 7).

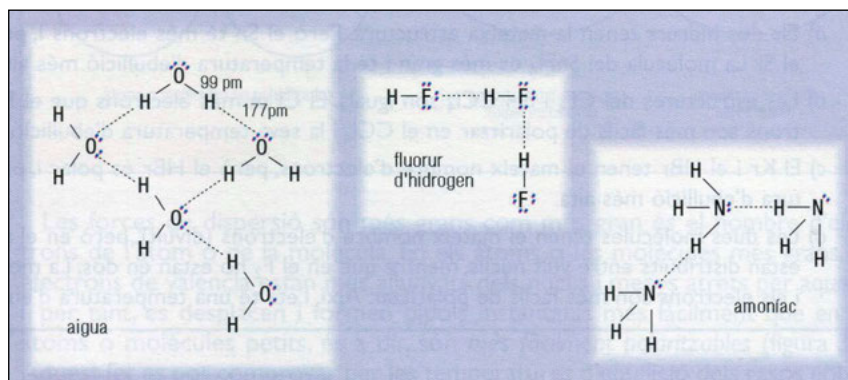


Figura 7. Representació dels enllaços d'hidrogen entre molècules de H_2O , de HF i de NH_3 .

Tanmateix, és preferible conceptualitzar l'enllaç d'hidrogen com un enllaç i no com una força intermolecular, ja que és un enllaç direccional que es caracteritza per tenir una longitud i una direcció determinades. D'altra banda, la seva intensitat és més propera a la d'un enllaç covalent

que a la de les forces intermoleculares. Tot i així, cal tenir en compte que la comprensió de la naturalesa de l'enllaç d'hidrogen a un nivell superior requereix considerar-lo també com una força intermolecular electrostàtica (Lundell, 2016).

Algunes recomanacions didàctiques

Amb la finalitat de realitzar una modelització dels diferents tipus d'enllaç que eviti les concepcions alternatives que acabem d'esmentar, fem a continuació una proposta didàctica alternativa a la tradicional a través d'una sèrie de recomanacions.

1. Cal explicar l'enllaç químic com una interacció electrostàtica

La causa de qualsevol unió entre àtoms, ions o molècules és una força de caràcter electrostàtic. El procés de modelització i explicació de l'enllaç químic pot fer-se sobre la base de la interacció de càrregues elèctriques, que podem suposar puntuals (Llei de Coulomb), en el cas dels nuclis i

en què les forces d'atracció s'equilibren amb les forces de repulsió (fig. 8). Aquesta situació d'equilibri caracteritza la longitud de l'enllaç, en el cas del covalent i del d'hidrogen, i les distàncies entre partícules, en l'estructura d'un sòlid.

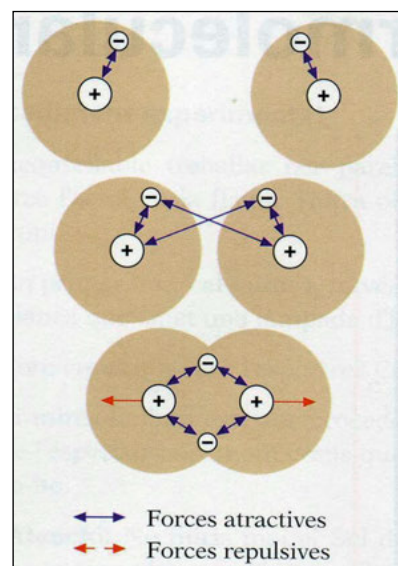


Figura 8. Formació d'una molècula d'hidrogen mitjançant la formació d'un enllaç covalent entre dos àtoms d'hidrogen.

2. Cal fer ressaltar que la formació d'un enllaç químic implica una disminució de l'energia del sistema

Quan es forma una molècula o una estructura gegant, el sistema adquireix una energia potencial mínima, és a dir, el sistema té menys energia que abans de la formació de l'enllaç o de la unió i, per tant, es produeix un despreniment d'energia en aquesta formació. Aquesta energia despresa en la formació de l'enllaç entre àtoms o en l'aproximació dels ions o les molècules polars és una mesura de la intensitat de l'enllaç format o de la interacció que ha tingut lloc. Així, per exemple, l'energia d'un enllaç covalent entre dos àtoms es mesura com l'energia de formació de la molècula a partir dels seus àtoms en estat gasós (energia despresa en la formació de l'enllaç) o com l'energia

d'atomització d'aquesta molècula (energia aportada per al trencament de l'enllaç).

Aquesta visió energètica de la formació de l'enllaç s'acostuma a representar mitjançant un diagrama energia potencial-distància, per al cas de la formació d'un enllaç covalent (fig. 9), però diagrames similars també poden descriure els altres tipus d'interaccions.

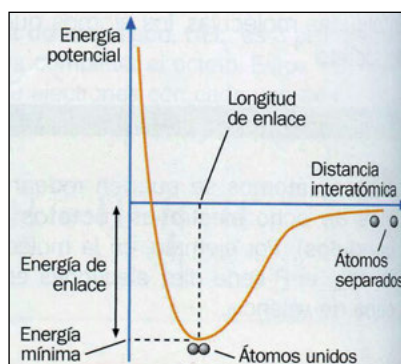


Figura 9. Diagrama energia potencial-distància en la formació d'una molècula de H_2 .

3. Cal integrar el model «interacció» i el model «disminució de l'energia» en la formació d'un enllaç

Un aspecte essencial de la construcció del model d'enllaç químic és la doble mirada sobre l'enllaç com a interacció i com a procés que dona lloc a canvis estructurals i a una disminució de l'energia de les partícules que s'enllacen.

Quan adoptem el punt de vista de la variació de l'energia potencial en el procés de formació de l'enllaç, en lloc de forces, parlem d'energia, concretament, d'energia d'enllaç en la formació d'una molècula o de l'energia reticular en la formació d'un sòlid iònic, o de l'energia reticular covalent, metàl·lica o intermolecular en la formació d'un sòlid reticular covalent, metàl·lic o molecular, tot i que aquestes últimes energies no acostumen a abordar-se en l'educació secundària. En lloc de fixar-nos en l'estructura molecular o multiatòmica ja constituïda, ens fixem en el seu procés de formació.

Convé realitzar una integració d'aquests dos tipus d'aproximació, especialment en els cursos de batxillerat, però ha de fer-se en el nivell estructural que correspon a cada enllaç: el nivell atòmic o molecular, en el cas de la formació d'enllaços covalents en una molècula, i el nivell «multi-», en el cas de l'enllaç iònic, metàl·lic o covalent en la formació d'una estructura gegant iònica, metàl·lica o covalent, respectivament. També en el nivell «multi-», en el cas dels enllaços d'hidrogen i les forces intermoleculars en una estructura multimolecular.

4. Cal considerar l'enllaç en el nivell estructural adequat

La modelització de l'enllaç covalent entre els àtoms que formen una molècula correspon al nivell molecular, però la modelització de l'enllaç iònic, del metàl·lic, del d'hidrogen i de les forces intermoleculars correspon a un nivell multiatòmic, multiatòmic o multimolecular. Cal respectar aquesta diferència de nivell estructural quan es modelitzen aquests tipus d'enllaç diferents, la qual cosa implica considerar alhora l'enllaç i l'estructura.

5. Les propietats de les substàncies han de ser explicades en funció de l'estructura i l'enllaç, i no només en funció de l'enllaç

La justificació de les propietats de les substàncies ha d'establir-se a través de les característiques de l'estructura de la substància, sigui una estructura multimolecular o una estructura gegant (iònica, metàl·lica o covalent), i no únicament a través de consideracions sobre el tipus d'enllaç. És evident que l'estructura està condicionada pel tipus d'enllaç i que, per tant, hi ha una relació entre les propietats de les substàncies i el tipus d'enllaç, però el nexa d'unió entre aquests dos conceptes cal establir-lo a través del concepte *estructura*, que inclou el tipus d'enllaç.

L'error de plantejament que implica centrar l'atenció només en l'enllaç s'evidencia, per exemple, quan els estudiants volen relacionar erròniament les propietats de les substàncies moleculars amb l'enllaç covalent, pel fet que els àtoms de les molècules estan units per enllaços covalents; un error que també pot ser induït pel fet d'anomenar *substàncies covalents* aquestes substàncies, en lloc de *substàncies moleculars*, que és el nom més apropiat. En efecte, les propietats físiques de les substàncies moleculars estan determinades per la naturalesa de les forces intermoleculars, és a dir, tenen a veure amb les forces que cohesionen l'estructura multimolecular que les constitueix i no amb l'estructura interna de les molècules.

6. Cal diferenciar entre estructures multimoleculars i estructures gegants

Pel que hem dit fins aquí, és evident que la modelització de l'enllaç químic i l'estructura de les substàncies requereix diferenciar clarament entre estructures multimoleculars i estructures gegants.

Una estructura multimolecular (fig. 10) és un conjunt ininterromput de molècules unides per forces intermoleculars, que són febles, la qual cosa explica els baixos punts de fusió de les substàncies moleculars i que moltes siguin líquids o gasos a temperatura ambient.

Una estructura gegant (fig. 11) és un conjunt ininterromput d'àtoms o ions units fortament entre si. Els enllaços o les forces que uneixen els àtoms o els ions poden ser enllaços covalents, en el cas d'una estructura gegant covalent, o forces electrostàtiques, en el cas dels sòlids iònics i metàl·lics, sense oblidar que els enllaços covalents són també interaccions electrostàtiques entre els nuclis positius i els electrons de l'enllaç.

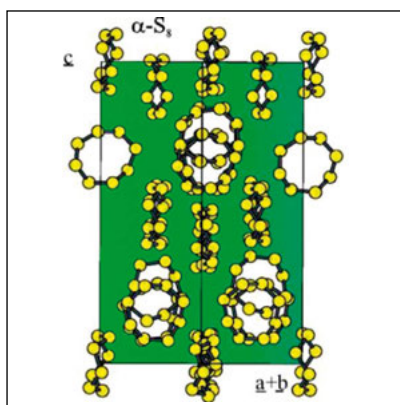


Figura 10. Estructura multimolecular del sofre.

excloents: les substàncies moleculars també es poden presentar en forma de cristalls.

La taula 1 resumeix les característiques dels dos tipus fonamentals d'estructures: multimolecular i gegant.

7. Cal fer ressaltar la diferència entre el significat dels termes enllaç i força

El terme *enllaç* té un doble significat: en un sentit genèric, implica tot tipus d'unió entre

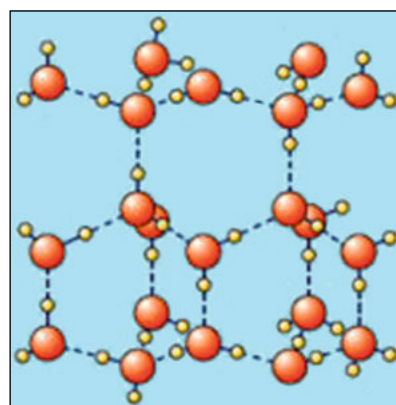


Figura 12. Representació de l'estructura de l'aigua sòlida, on es pot observar com els enllaços d'hidrogen donen lloc a una estructura similar a les estructures covalents reticulars, però amb enllaços més febles.

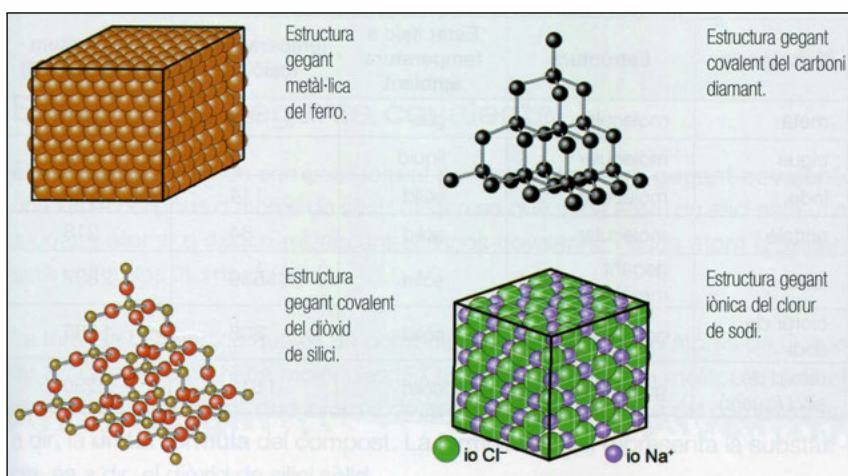


Figura 11. Representació de diferents estructures gegants. Noteu la forma de representació diferent de les estructures gegants covalents del carboni diamant i el diòxid de silici i de les estructures gegant iònica del clorur de sodi i gegant metàl·lica del ferro.

Quan els sòlids moleculars presenten enllaços d'hidrogen, la seva estructura també participa en part de les característiques d'una estructura gegant a causa de la direccionalitat i la intensitat més gran dels enllaços d'hidrogen (fig. 12).

La importància didàctica del concepte *estructura gegant* va ser destacada als anys vuitanta en els projectes Nuffield i *Química Faraday* (Grup Recerca-Faraday, 1990). Alguns textos fan servir, en lloc d'aquest concepte, el de *xarxa* o *cristall*. En aquest punt, és important fer una precisió terminològica: el concepte alternatiu a *estructura multimolecular* no és *cristall*, sinó *estructura gegant*, ja que *estructura multimolecular* i *cristall* no són conceptes

Taula 1. Estructura, partícules constituents i tipus d'interacció de les substàncies sòlides amb estructura multimolecular i gegant

Substància		Estructura	Partícules	Tipus d'interacció
Molecular		Multimolecular	Molècules	Forces intermoleculars Enllaços d'hidrogen
Amb estructura gegant	Iònica	Gegant iònica	Ions positius i negatius	Enllaç iònic
	Metàl·lica	Gegant metàl·lica	Ions positius i electrons	Enllaç metàl·lic
	Covalent	Gegant covalent	Àtoms	Enllaç covalent

àtoms, ions o molècules; en aquest sentit, es parla tant de l'enllaç covalent com de l'enllaç iònic, metàl·lic i molecular. Però, en un sentit més restrictiu, un enllaç és una unió direccional

són enllaços, sinó una manera de donar compte de la disposició a l'espai dels àtoms o ions.

En sentit estricte, no hi ha enllaços iònics ni enllaços metàl·lics, tot i que podem parlar

en sentit genèric de l'enllaç iònic i del metàl·lic. Ni enllaços intermoleculars, a excepció dels enllaços d'hidrogen. El que hi ha entre els ions d'un sòlid iònic o entre els nuclis positius i els electrons d'un sòlid metàl·lic són forces electrostàtiques. En el cas d'un sòlid molecular amb molècules polars, l'orientació de les molècules és aquella que fa que l'energia potencial de l'estructura multimolecular sigui mínima.

8. Cal discutir amb els estudiants el significat de la varietat de representacions gràfiques per representar els diferents tipus d'enllaç i les estructures

La gran varietat de representacions de l'enllaç i de les estructures suposa una dificultat conceptual interpretativa. El significat d'aquesta varietat de representacions gràfiques ha de ser discutit amb els estudiants.

9. Cal fer èmfasi en la unitat de l'enllaç químic

Per concebre la unitat que hi ha en els diferents tipus d'enllaç, pot resultar útil l'ús de diagrames en els quals es representin els «cors» dels àtoms i dels ions, mitjançant un cercle amb el signe positiu de la càrrega neta del «cor», i els electrons de valència, mitjançant un núvol concèntric. El «cor» està format pel nucli d'un àtom més tota l'escorça electrònica excepte els electrons de la capa de valència (fig. 13).

10. En l'aprenentatge de l'estructura i l'enllaç químic, cal tenir en compte la diferència entre els nivells nanoscòpic, molecular, multimolecular i estructura gegant i macroscòpic

La fig. 14 mostra la relació entre els nivells nanoscòpic, molecular, «multi-» (multimolecular o gegant) i macroscòpic amb relació a les partícules i l'enllaç que intervien en les diferents estructures (Caamaño, 2014).

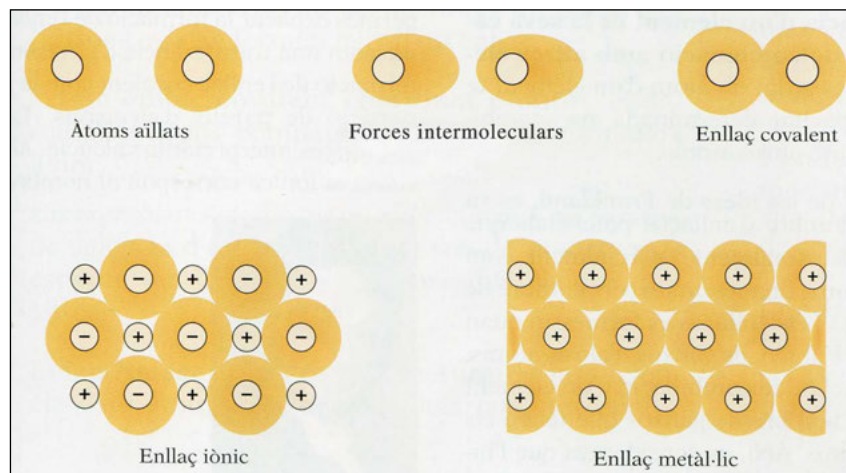


Figura 13. Representació de diferents tipus d'enllaç i estructures mitjançant l'ús de «cors» positius i núvols d'electrons de valència. A l'enllaç metàl·lic, el núvol també pot representar-se de manera uniforme per indicar la deslocalització dels electrons de valència (fig. 4b).

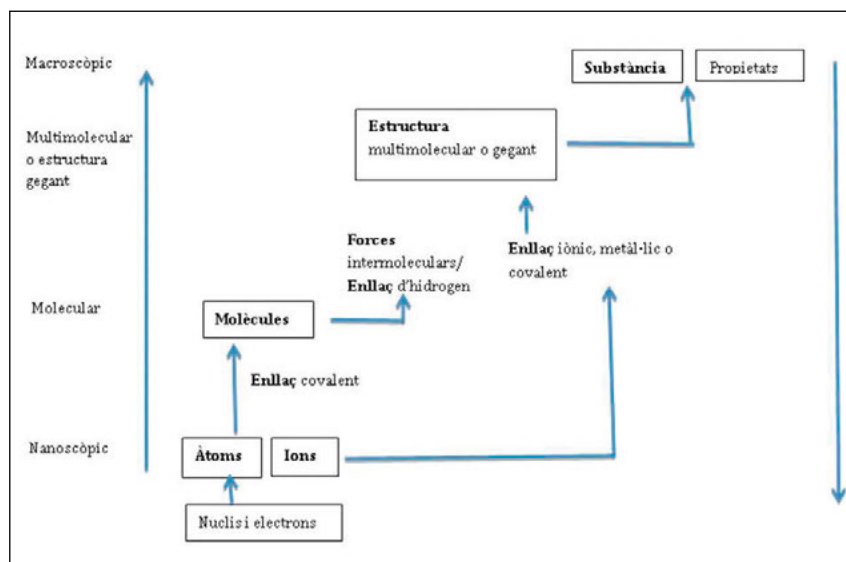


Figura 14. Nivells nanoscòpic, molecular, multimolecular/gegant i macroscòpic dels sòlids moleculars i dels sòlids amb estructures gegants.

Una proposta de seqüenciació per a l'aprenentatge de l'estructura i l'enllaç químic

D'acord amb les recomanacions fetes, proposem una modelització de l'estructura i l'enllaç químic basada en quatre conceptes: el tipus de partícula constitutiva (àtoms, ions, nuclis positius, electrons, molècules); l'estructura (de les molècules i de les estructures multimoleculars i gegants); el tipus d'enllaç o interacció entre les partícules, i la intensitat o energia de la interacció (Caamaño, 2016b). En general, la

seqüenciació pot fer-se de baix a dalt (Levy Nahum *et al.*, 2008) o de dalt a baix, és a dir, del nivell nanoscòpic al macroscòpic o del macroscòpic al nanoscòpic (Grup Recerca-Faraday, 1990).

Proposem utilitzar aquest segon enfocament, és a dir, començar per fer una classificació dels sòlids en funció de les seves propietats físiques. Per exemple, començar per la consideració de les propietats del sofre, l'aigua sòlida, el carboni diamant, el diòxid de silici, el clorur de sodi i el coure (taula 2). A continuació,

tenir en compte aquelles propietats que més fàcilment puguin ser relacionades amb els elements clau de l'estructura. Per exemple, la baixa temperatura de fusió, en el cas dels sòlids moleculars, com el sofre; l'alta conductivitat elèctrica en estat sòlid dels sòlids metàl·lics; la conducció elèctrica dels compostos iònics en estat líquid; l'alta temperatura de fusió i la nul·la conductivitat elèctrica dels sòlids tipus diamant o diòxid de silici, etc.

Caldria iniciar la modelització fent hipòtesis sobre les partícules

constituents d'aquests sòlids i sobre la intensitat dels enllaços o les interaccions entre aquestes partícules, per tal d'explicar-ne les propietats físiques més significatives. I fer una primera diferenciació entre sòlids moleculars amb forces intermoleculars febles i sòlids amb estructures gegants amb interaccions fortes entre les seves partícules constituents.

Amb aquestes consideracions, les etapes de la modelització de l'enllaç químic i de l'estructura dels sòlids podrien ser les següents:

1. Classificació de les substàncies sòlides d'acord amb les seves propietats: temperatura de fusió, duresa, conductivitat elèctrica, etc.

2. Diferenciació entre substàncies moleculars i substàncies amb estructures gegants.

3. Modelització de l'enllaç covalent i de l'estructura de les molècules. Model de Lewis. Diagrama de Lewis. Model electrostàtic. Visió energètica de l'enllaç (diagrama energia potencial-distància entre àtoms). Enllaços simples, dobles i triples. Excepcions a la regla de l'octet. Polaritat de l'enllaç covalent. Predicció de la geometria i la polaritat de les molècules.


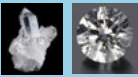








4. Modelització de l'estructura i del tipus d'enllaç de cada tipus de substància sòlida, atesos el tipus d'interacció entre les partícules, la intensitat de la interacció i l'energia de formació, amb l'objectiu d'explicar-ne les propietats:

- Substàncies moleculars.
 - Substàncies moleculars amb enllaços d'hidrogen.
 - Substàncies iòniques.
 - Substàncies metàl·liques.
5. Recapitulació i síntesi: la unitat de l'enllaç químic.

Conclusions

L'ensenyament tradicional de l'enllaç químic presenta una manca d'unitat d'enfocament en la modelització dels diferents tipus d'enllaç. A vegades es presenta com a conseqüència d'un procés de compartició o transferència d'electrons entre els àtoms (en els enllaços covalent i iònic) i d'altres, com una interacció entre ions (en l'enllaç iònic), entre ions positius i electrons (en l'enllaç metàl·lic) o entre molècules entre si (en l'enllaç entre molècules). D'altra banda, l'explicació de l'enllaç químic es planteja a escala

Taula 2. Estructura i tipus d'enllaç de sis substàncies sòlides preses com a punt de partida per abordar la modelització dels diferents tipus d'enllaç i estructures

Substància			
Sofre(s) / Aigua(s)	Diamant / Diòxid de silici(s)	Clorur de sodi(s)	Coure(s)
			
Estructura i partícules			
Multimolecular	Gegant covalent	Gegant iònica	Gegant metàl·lica
Molècules d'octosofre, S ₈ 	Àtoms de C  Àtoms de Si i de O 	Ions sodi (Na ⁺) i ions clorur (Cl ⁻) 	Ions coure (Cu ²⁺) envoltats d'electrons de valència lliures 
Molècules d'aigua, H ₂ O, en el gel 			
Tipus d'enllaç o interacció			
Forces intermoleculars. Enllaços d'hidrogen (en el cas de l'aigua)	Enllaç covalent (forces electrostàtiques entre els electrons compartits i els nuclis)	Enllaç iònic (forces electrostàtiques entre els ions)	Enllaç metàl·lic (forces electrostàtiques entre els ions positius i els electrons de valència deslocalitzats)

En el present article, hem apuntat una sèrie de recomanacions didàctiques per abordar la modelització de l'enllaç químic des d'una perspectiva integradora

atòmica, en el cas de l'enllaç covalent i de l'iónic, a causa de l'ús de la regla de l'octet, quan aquest últim tipus d'enllaç requereix una interpretació en el nivell multi-iònic. A més, l'enfocament didàctic tradicional no acaba de resoldre bé la relació entre les propietats de les substàncies i els tipus d'enllaç, en no tenir sempre en compte el nivell estructural multi-iònic, multiatòmic o multimolecular de les substàncies.

En el present article, hem apuntat una sèrie de recomanacions didàctiques per abordar la modelització de l'enllaç químic des d'una perspectiva integradora: d'una banda, com una interacció electrostàtica considerada en el nivell estructural adequat; de l'altra, com un procés que condueix a una disminució d'energia del sistema. I hem fet èmfasi en els conceptes *estructura multi-molecular* i *estructura gegant* com a mediadors entre el nivell atomicomolecular i el macroscòpic de les substàncies i les seves propietats.

També hem tingut en compte algunes consideracions terminològiques i de representació gràfica dels models que creiem essencials per a una conceptualització de l'enllaç químic millor. Totes aquestes orientacions poden contribuir a una modelització més coherent de l'enllaç químic i l'estructura de les substàncies, alhora que poden ajudar a evitar l'aparició de les concepcions

alternatives descrites. Finalment, hem proposat una seqüenciació didàctica per a la modelització de l'enllaç i l'estructura que parteix de les propietats físiques de les substàncies que volem explicar i que fa hipòtesis sobre l'estructura i el tipus d'enllaç.

Referències

- BERGQVIST, A.; DRECHSLER, M.; JONG, O. de; RUNDGREN, S. C. (2013). «Representations of chemical bonding models in school textbooks: help or hindrance for understanding?». *Chemistry Education Research and Practice*, núm. 14, p. 589-606.
- CAAMAÑO, A. (2014). «La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas». *Alambique*, núm. 78, p. 7-20.
- (2016a). «Un enfoque para vencer errores y ambigüedades. Enlace químico y estructura de las sustancias en secundaria». *Alambique*, núm. 86, p. 8-18.
- (2016b). «Secuenciación didáctica para el aprendizaje de los modelos de enlace». *Alambique*, núm. 86, p. 39-45.
- GRUP RECERCA-FARADAY (1990). *Química Faraday*. Barcelona: Teide, p. 97-108.
- LEVY NAHUM, T.; MAMLOK-NAAMAN, R.; HOFSTEIN, A.; KRONIK, L. (2008). «A new bottom-up framework for teaching chemical bonding». *Journal of Chemical Education*, vol. 85, núm. 12, p. 1680-1685.
- LUNDELL, J. (2016). «Hydrogen bond made visible by molecular modelling». *Educació Química EduQ*, núm. 21, p. 33-36.
- LUXFORD, C. J.; LOWERY, S. (2013). «Moving beyond definitions: what student-generated models reveal about their understanding of covalent bonding and ionic bonding». *Chemistry Education Research and Practice*, núm. 14, p. 214-222.
- RIBOLDI, L.; PLIEGO, O.; ODETTI, H. (2004). «El enlace químico: una conceptualización poco comprendida». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 22, núm. 2, p. 195-212.
- TABER, K. (2001). «Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research». *Chemistry Education Research and Practice*, núm. 2, p. 123-158.
- (2009). «Challenging misconceptions in the chemistry classroom: resources to support teachers». *Educació Química EduQ*, núm. 4, p. 13-20.
- (2016). «Enlace químico y estructura atómico-molecular en secundaria». *Alambique*, núm. 86, p. 19-27.
- TALANQUER, V. (2007). «Explanations and teleology in chemistry education». *International Journal of Science Education*, vol. 29, núm. 7, p. 853-870.
- (2013). «When atoms want». *Journal of Chemical Education*, núm. 90, p. 1419-1423.



Aureli Caamaño Ros

És doctor en química per la Universitat de Barcelona (UB). Ha estat catedràtic de física i química de secundària i professor del CAP i del màster de formació del professorat de secundària de la UB. És coautor de diversos llibres i de més de seixanta articles sobre l'ensenyament de la química i de les ciències. Codirector de la revista *Alambique* i coeditor de la revista *Educació Química EduQ*, actualment treballa en l'àmbit de la formació del professorat i en l'elaboració de materials curriculars i estudia el grau d'humanitats a la Universitat Pompeu Fabra.
A/e: aurelicaamano@gmail.com.