

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>ENLLAÇ QUÍMIC I ESTRUCTURA<br/>DE LES SUBSTÀNCIES A<br/>L'EDUCACIÓ SECUNDÀRIA</b><br/><b>Una crítica al seu ensenyament<br/>tradicional i una proposta<br/>didàctica alternativa</b></p> <p><b>Aureli Caamaño</b><br/><i>Societat Catalana de Química</i></p> | <p>XI Jornada de<br/>Física i Química a<br/>l'IEC</p> <p>100 anys de la<br/>teoria de Lewis:<br/>l'enllaç químic a<br/>debat</p> <p>9 de novembre de<br/>2016</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

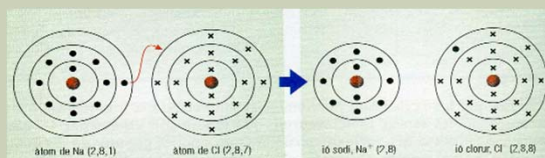
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Enllaç químic i estructura de les<br/>substàncies</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ 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 del batxillerat.</li></ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 1. ALGUNS PROBLEMES CONCEPTUALS QUE PRESENTA L'ENSENYAMENT TRADICIONAL DE L'ENLLAÇ QUÍMIC

■ A continuació faré una descripció de la forma habitual de presentació de l'enllaç químic en l'educació secundària i d'alguns problemes conceptuals que presenta l'ensenyament dels diferents models de l'enllaç químic.

- Enllaç covalent i iònic
- Enllaç metàl·lic
- Forces intermoleculars
- Enllaç d'hidrogen

### 1.1 L'enllaç covalent i l'enllaç iònic s'expliquen a través de la "regla de l'octet"



**Regla de l'octet:** "Els àtoms quan s'uneixen, tendeixen a organitzar les seves capes electròniques externes guanyant, perdent o compartint electrons fins adquirir l'estructura del gas noble més pròxim."

## Concepcions alternatives

### 1. La regla de l'octet afavoreix una explicació teleològica de l'enllaç

- 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 cedeixen o comparteixen electrons amb la finalitat d'adquirir l'estructura del gas noble més pròxim, que és una estructura més estable"*

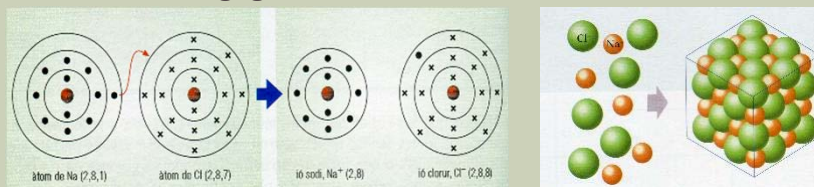
"Com saben els electrons que l'estructura del gas noble és més estable per tendir cap a ella?"

La regla de l'octet és una regla heurística i no un **model físic**, que amaga la **interacció electrostàtica** entre els nuclis, els electrons o els ions.

Aquesta regla té la seva **utilitat**: permet **predir la valència iònica i covalent** més probables dels elements dels tres primers períodes de la taula periòdica, però no és un bon model de l'enllaç químic.

### 2. Indueix a pensar que es formen parells iònics

- 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** i no una xarxa d'ions positius i negatius en posicions alternades, és a dir, una estructura gegant iònica

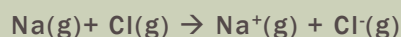


## No pot explicar-se de la mateixa manera la formació d'una molècula que la d'una estructura gegant

- El problema resideix 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 una **escala multi-iònica**.
- 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.

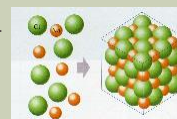
## 3. Indueix a pensar que la formació d'un parell iònic és exotèrmica

- **Concepció alternativa:** La regla de l'octet induïx a pensar que la cessió d'un electró d'un àtom immediatament posterior a un gas noble en la taula periòdica a un altre d'immediatament anterior dóna lloc a estructures electròniques més estables.



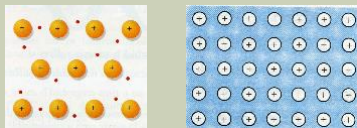
Però, és només gràcies a l'aproximació dels ions per formar una xarxa iònica que el procés és possible energèticament.

- $\text{Na(g)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{g}) + 1\text{e}^- \quad \Delta H_f^\circ = + 493,7 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\text{Cl(g)} + 1\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g}) \quad \Delta H_f^\circ = - 364,4 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{Na}^+\text{Cl}^-(\text{s}) \quad \Delta H_{\text{ret}}^\circ = -769,0 \text{ kJ mol}^{-1}$



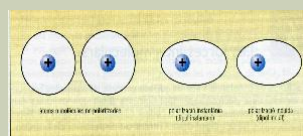
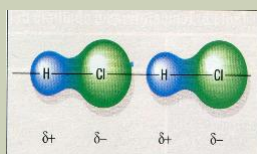
## 1.2. L'enllaç metàl·lic

- 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 es situa en el **nivell estructural correcte**: una estructura gegant metàl·lica.



## 1.3. Les forces intermoleculars

- Les **forces intermoleculars** 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.
- Es postulen dos tipus de forces intermoleculars: les **forces dipol-dipol**, que actuen entre molècules polars,
- i les **forces de dispersió de London**, per poder explicar l'atracció entre molècules apolars.

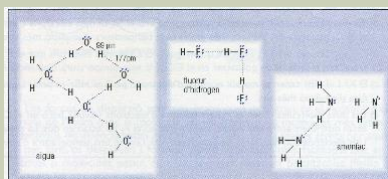


## Concepcions alternatives en relació a les forces intermoleculars

- 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 intensitat de les forces de dispersió.
- Cal destacar que les **forces de dispersió**
  - tenen lloc en tot tipus de molècules
  - i que són tant **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 amb molts llibres de tex.

## 1.4. 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 d'H.



- L'enllaç d'hidrogen **és preferible conceptualitzar-lo 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 determinada.

## EN RESUM

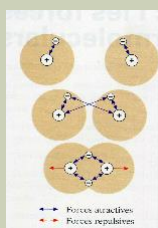
### L'ensenyament tradicional de l'enllaç químic

- Presenta una manca d'enfocament. A vegades es presenta com un **procés** (de compartició o transferència d'electrons) i d'altres com una **interacció**.
- No es planteja sempre en el **nivell estructural** adequat.
- No posa el suficient èmfasi en el caràcter mediador **del nivell multimolecular o multiatòmic** de les substàncies per explicar les seves propietats.

## 2. ALGUNES RECOMANACIONS DIDÀCTIQUES

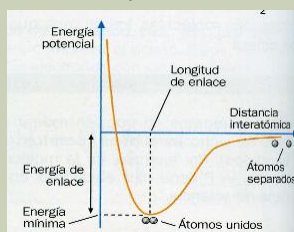
## 2.1 Cal explicar l'enllaç químic com una interacció electrostàtica

- La causa de qualsevol unió entre àtoms, ions o molècules és una **força de caràcter electrostàtic**.
- La formació d'un enllaç implica l'aproximació dels àtoms, ions o molècules fins a una distància mínima en què **les forces d'atracció s'equilibren amb les forces de repulsió**.
- Aquesta situació d'equilibri caracteritza la **longitud de l'enllaç**, en el cas de l'enllaç covalent i de l'enllaç d'hidrogen, i les distàncies entre partícules en l'estructura d'un sòlid.



## 2.2 La formació d'un enllaç implica una disminució d'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 la seva formació.
- Aquesta energia despresa (**energia de l'enllaç/energia reticular**) és una mesura de la **intensitat de l'enllaç**.

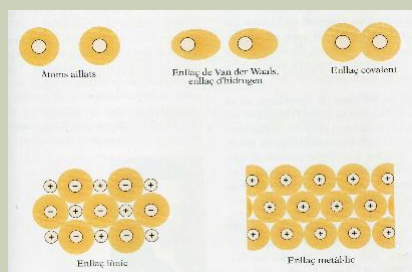


### 2.3. Cal integrar el model “interacció” i el model “disminució d'energia”

- 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 dóna lloc a una **disminució de l'energia de les partícules que s'enllacen**.
- **Energia d'enllaç** → Formació d'un enllaç covalent en una molècula
- **Energia reticular iònica** → Formació d'una estructura gegant iònica
- **Energia reticular covalent** → Formació d'una estructura sòlid covalent
- **Energia reticular metàl·lica** → Formació d'una estructura gegant metàl·lica
- **Energia reticular molecular** → Formació d'una estructura multimolecular

### 2.4. Cal considerar cada tipus d'enllaç en el nivell estructural que li correspon

- La modelització de l'enllaç covalent entre els àtoms que formen una molècula correspon al **nivell molecular**,
- però la modelització de l'enllaç iònic, metàl·lic, de l'enllaç d'hidrogen i de les forces intermoleculars correspon a un **nivell multi-iònic, multiatòmic o multimolecular**.

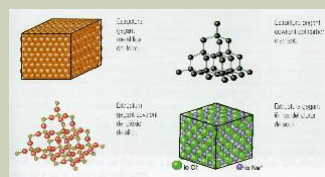
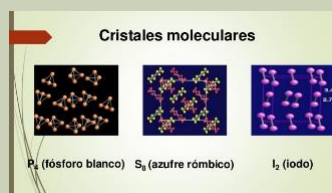


## 2.5. Les propietats de les substàncies han de ser explicades en funció de la seva estructura i enllaç

- La justificació de les **propietats de les substàncies** ha de fer-se a través de les característiques de **l'estructura de la substància**,
- ja sigui una **estructura multimolecular**
- o una **estructura gegant** (iònica, metàl·lic o covalent),
- i no únicament a través de consideracions sobre **el tipus d'enllaç**.

## 2.6. Cal diferenciar entre estructures multimoleculars i gegants

- Una **estructura multimolecular** és un conjunt ininterromput de molècules unides per **forces intermoleculars, que són febles**. La feblesa de les forces intermoleculars explica els baixos punts de fusió de les substàncies moleculars.



- Una **estructura gegant** 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 d'estructures gegants iòniques o metàl·liques.

## Estructures multimoleculars i estructures gegants

| Substància                  |            | Estructura        | Partícules                   | Tipus d'interacció                            |
|-----------------------------|------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|
| molecular                   |            | multimolecular    | molècules                    | Forces intermoleculars<br>Enllaços d'hidrogen |
| amb<br>estructura<br>gegant | iònica     | gegant iònica     | ions positius i<br>negatius  | Enllaç iònic                                  |
|                             | metàl·lica | gegant metàl·lica | ions positius i<br>electrons | Enllaç metàl·lic                              |
|                             | covalent   | gegant covalent   | àtoms                        | Enllaç covalent                               |

## 2.7 La diferència entre el significat dels termes “enllaç” i “força” ha de ser ressaltada

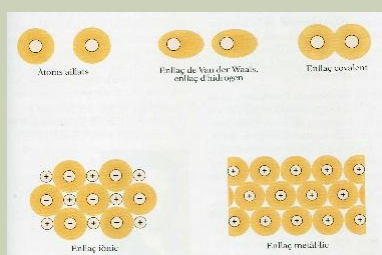
- El terme “enllaç” té un doble significat:
  - - en un sentit genèric implica **tot tipus d'unió entre àtoms, ions o molècules**, en aquest sentit es parla tant de l'enllaç covalent com de l'enllaç iònic, metàl·lic i molecular.
  - - en un sentit més restrictiu, un enllaç és **una unió direccional entre dos àtoms**; amb aquest significat només els enllaços covalents i els enllaços d'hidrogen són pròpiament enllaços, que es caracteritzen per una longitud d'enllaç, un angle d'enllaç i una energia d'enllaç.
- Per tant, cal anar en compte en els dos significats del terme “enllaç” i també cal diferenciar entre l'ús del terme enllaç o força.
- Notem que hi ha un seguit de termes –**unió, interacció, enllaç i força**– que comparteixen part del seu significat però que no són exactament equivalents.

## 2.8 El significat de la varietat de representacions gràfiques per representar els diferents tipus d'enllaç i les estructures ha de ser discutit amb els estudiants

- 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.

## 2.9 Cal fer èmfasi en la unitat de l'enllaç químic

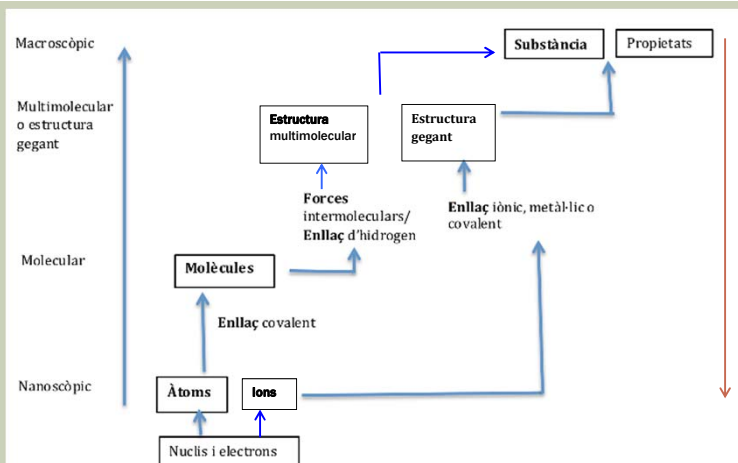
- Per concebre la **unitat que hi ha a sota dels diferents tipus d'enllaç** pot resultar útil l'ús de diagrames en què es representen **els "cors" dels àtoms i dels ions,**



- mitjançant un **cercle amb el signe positiu** de la càrrega neta del cor, i els electrons de valència, mitjançant un **núvol concèntric**.

### 3. UNA PROPOSTA DE SEQÜENCIACIÓ PER A L'APRENTATGE DE L'ESTRUCTURA I L'ENLLAC QUÍMIC

Que tingui en compte la **diferència entre els nivells nanoscòpic, molecular, "multimolecular/estructura gegant" i macroscòpic** dels sòlids moleculars i dels sòlids amb estructures gegants



## Dues possibilitats de seqüenciació i modelització

- Dues possibilitats de **seqüenciació**.
  - De **baix a dalt** (del món nanoscòpic al món macroscòpic).
  - De **dalt a baix** (del món macroscòpic al nanoscòpic, prenent les estructures multimoleculars o multiatòmiques com a nivell intermedi interpretatiu).

### ■ PROPOSTA

Partir d'una classificació de les substàncies per tal d'elaborar models d'estructura i d'interaccions entre partícules que expliquin les propietats físiques de quatre tipus de substàncies: moleculars, covalents reticulars, iòniques i metàl·liques.

- (Química Faraday, 1990)

## Estructura i tipus d'enllaç de sis substàncies sòlides

| Substància                                                                                                               |                                                                                     |                                                                                                        |                                                                                     |                                                                                                                                                        |                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Sofre (s)                                                                                                                | Aigua(s)                                                                            | Diamant                                                                                                | Diòxid de silici(s)                                                                 | Clorur de sodi (s)                                                                                                                                     | Coure (s)                                                                           |
|                                       |  |                     |  |                                                                     |  |
| Estructura i partícules                                                                                                  |                                                                                     |                                                                                                        |                                                                                     |                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| Multimolecular                                                                                                           |                                                                                     | Gegant covalent                                                                                        |                                                                                     | Gegant iònica                                                                                                                                          |                                                                                     |
|  Molècules de octosofre, $S_8$        |                                                                                     |  Àtoms de C         |                                                                                     |  Ions sodi ( $Na^+$ ) i ions clorur ( $Cl^-$ )                      |                                                                                     |
|  Molècules d'aigua $H_2O$ , en el gel |                                                                                     |  Àtoms de Si i de O |                                                                                     |  Ions coure ( $Cu^{2+}$ ) envoltats d'electrons de valència lliures |                                                                                     |
| Tipus d'enllaç o interacció                                                                                              |                                                                                     |                                                                                                        |                                                                                     |                                                                                                                                                        |                                                                                     |
| - Forces intermoleculars<br>- Enllaços d'hidrogen (en el cas de l'aigua)                                                 |                                                                                     | Enllaç covalent<br>(forces electrostàtiques entre els electrons compartits i els nuclis)               |                                                                                     | Enllaç iònic<br>(forces electrostàtiques entre els ions)                                                                                               |                                                                                     |
|                                                                                                                          |                                                                                     |                                                                                                        |                                                                                     | Enllaç metàl·lic<br>(forces electrostàtiques entre els ions positius i els electrons de valència deslocalitzats)                                       |                                                                                     |

## 3.1 SUBSTÀNCIES MOLECULARS

- **SUBSTÀNCIES MOLECULARS** formades per molècules amb **forces intermoleculars febles**.



### Modelització de l'enllaç covalent en les molècules

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

## 3.1 SUBSTÀNCIES MOLECULARS

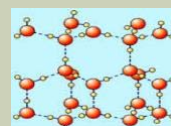
### Estructures multimoleculars

- **Sustancias moleculares amb forces intermoleculars**

- Forces dipol-dipol
- Forces de dispersió



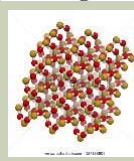
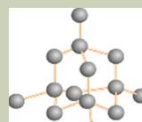
- **Substàncies moleculares amb enllaços d'hidrogen**



## 3.2 SUBSTÀNCIES COVALENTS RETICULARS

### ■ Estructura i propietats dels **sòlids covalents reticulars**

- Diamant i grafit
- Nanotubs
- Diòxid de silici



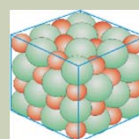
## 3.3 SUBSTÀNCIES IÒNIQUES

### ■ Estructura dels sòlids iònics

#### ■ Interacció electrostàtica

#### ■ Formació d'un sòlid iònic:

1. Formació dels ions positius.
2. Formació dels ions negatius
3. Aproximació dels ions positius i negatius per formar l'estructura gegant iònica.

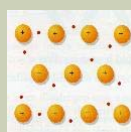
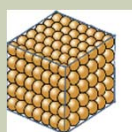


#### ■ Energia reticular

## 3.4 SUBSTÀNCIES METÀL·LIQUES

### Estructura dels sòlids metàl·lics

- Interacció electrostàtica
- Energia
- Estructura i propietats



## CONCLUSIONS

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.
- d'altra, com un **procés** que condueix a una **disminució d'energia** del sistema.

I hem fet èmfasi en els conceptes **d'estructura multimolecular** i **estructura gegant** com **conceptes mediadors** entre el nivell atomicomolecular i el nivell macroscòpic de les substàncies i les seves propietats.

## CONCLUSIONS

- També hem abordat algunes **consideracions terminològiques** i de **representació gràfica dels models** que considerem essencials per a una millor conceptualització de l'enllaç químic.
- Totes aquestes orientacions creiem que 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.

## CONCLUSIONS

- Per últim, hem proposat una **seqüenciació didàctica** per a l'ensenyament de l'enllaç i l'estructura:
- Que **parteix de les propietats físiques de les substàncies** que volem explicar,
- per fer hipòtesis sobre la seva **estructura i tipus d'enllaç**.
- I que integra els conceptes d'**interacció i energia d'interacció**
- I els diferents **nivells estructurals** de les substàncies

Moltes gràcies per la seva atenció.

## BIBLIOGRAFIA

- BERGQVIST, A., DRECHSLER, M., DE JONG, O., RUNDGREN, S. C., 2013, Representations of chemical bonding models in school textbooks –help or hindrance for understanding?, *Chemistry Education Research and Practice*, 14, pp. 589-606.
- CAAMAÑO, A., 2014, La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas, *Alambique*, 78, pp. 7-20.
- CAAMAÑO, A., 2016, Un enfoque para vencer errores y ambigüedades. Enlace químico y estructura de las sustancias en secundaria, *Alambique*, 86, pp. 8-18.
- CAAMAÑO, A., 2016, Secuenciación didáctica para el aprendizaje de los modelos de enlace, *Alambique*, 86, pp. 39-45.
- GRUP RECERCA-FARADAY, 1990, *Química Faraday*, Barcelona, Teide, pp. 97-108.
- 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*, 14, pp. 214-222.

- NAHUM, T.L., MAMLOK-NAAMAN,R., HOFSTEIN,A., 2008, A New "Bottom-Up" Framework for Teaching Chemical Bonding, *Journal of Chemical Education*, 85, 12, pp. 1680-1685.
- RIBOLDI, L., PLIEGO, O., ODETTI, H. 2004, El enlace químico: una conceptualización poco comprendida, *Enseñanza de las ciencias*, 22, 2, pp. 195-212.
- TABER, K., 2001, Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research, *Chemistry Education Research an Practice*, 2, 2, pp. 123-158.
- TABER, K., 2009, Challenging Misconceptions in the Chemistry Classroom: resources to support teachers. *Educació Química EduQ*, 4, pp.13-20.
- TABER, K., 2016, Enlace químico y estructura atómico-molecular en secundaria, *Alambique*, 86, pp. 19-27.

# ENLLAÇ QUÍMIC I ESTRUCTURA DE LES SUBSTÀNCIES A L'EDUCACIÓ SECUNDÀRIA

## Una crítica al seu ensenyament tradicional i una proposta didàctica alternativa

Aureli Caamaño  
*Societat Catalana de Química*

XI Jornada de  
Física i Química a  
l'IEC

100 anys de la  
teoria de Lewis:  
l'enllaç químic a  
debat

9 de novembre de  
2016