



# L'ús dels models moleculars per a l'aprenentatge de la formulació química inorgànica: una experiència pilot a l'aula de secundària

Bartolomé Pizà-Mir  
Centro de Enseñanza Superior Alberta Giménez, UPCO (Palma)  
[bpiza@comillas.edu](mailto:bpiza@comillas.edu)

**Resum** • Es presenta la descripció d'una experiència didàctica amb l'ús de models moleculars per a l'aprenentatge de la formulació química al cursos de l'educació secundària obligatòria. Els resultats mostren que hi ha un increment del seu aprenentatge i l'ús dels models moleculars permet una major comprensió d'aquesta àrea de la química en la qual els estudiants solen presentar dificultats a causa de l'elevada abstracció d'aquests conceptes.

**Paraules clau** • Abstracció, aprenentatge, model molecular, química

---

## Use of molecular models for learning inorganic chemical formulation: a pilot study in secondary school classes

**Abstract** • The description of a didactic experience with the use of molecular models for the learning of chemical formulation in compulsory secondary education courses is presented. The results show that there is an increase in learning and the use of molecular models allows a better understanding of this area of chemistry in which students usually present difficulties due to the high abstraction of these concepts.

**Keywords** • Abstraction, learning, molecular model, chemistry

---

## INTRODUCCIÓ

És raonable pensar que l'ús de models moleculars tridimensionals pot ajudar al procés d'aprenentatge de la química, ja que és una ciència molt abstracta (Pozo i Gómez-Crespo, 1998). Els treballs de Mateo-González i Martínez-Peña (2013) i els de Álvarez-Rodríguez (2007) mostraren que les activitats d'aprenentatge centrades en el desenvolupament de la visió espacial i la geometria tenen un paper clau en el desenvolupament de processos cognitius i afavoreixen l'aprenentatge en diferents tipus de ciències amb components abstractes com per exemple en el camp de la biologia (Móndelo i Martínez, 1994).

Des del final dels anys noranta, Kim-Chwee i Treagust (1999) i De Posada (1999) i els anys posteriors els treballs de Riboldi, Pliego i Odetti (2004) mostraren que l'ensenyament de la química, i en concret de l'enllaç covalent presenten dificultats de comprensió entre els estudiants. Segons la bibliografia disponible els tres factors més importants que dificulten l'aprenentatge dels enllaços covalents i per tant de la formulació són:

- Nivell d'abstracció de conceptes químics (Lemke, 2006; Pozo i Gómez-Crespo, 1998).
- El vocabulari (terminologia) utilitzat durant les sessions (Perales-López i Romero-Barriga, 2005).
- La transposició didàctica, és a dir, que els conceptes científics es traslladin d'un mode clar i entenedor a l'aula per a aquells que no són professionals o acadèmics del camp de coneixement. (Cárdenas, 2006; De Posada, 1999; Solarte, 2006).

L'objectiu d'aquest estudi pilot és posar a prova la possibilitat que l'ús de models moleculars sigui un recurs efectiu per a l'ensenyament i l'aprenentatge dels fonaments de la formulació química.

## MATERIALS I MÈTODES

### Participants

La prova pilot es va dur a terme recollint dades durant el període acadèmic 2018-2019 de 95 estudiants en dos centres diferents de Mallorca (Illes Balears, Espanya): 76 dels quals eren dels primers cursos d'educació secundària obligatòria (2n i 3r curs, on l'assignatura de Física i Química és obligatòria), i 19 estudiants de l'últim any d'ESO (4t curs, on l'assignatura és optativa). Dins de cadascun d'aquests cursos, es van fer dos grups: un grup control (CC), en el qual la formulació s'ensenyava utilitzant el mètode tradicional (ensenyant les regles de formulació i nomenclatura de compostos recomanades per la IUPAC), i un altre grup experimental (Exp), en el qual s'utilitzaven models moleculars per a aprendre formulació química de compostos inorgànics. La llengua vehicular d'aquests estudiants era el català.

### Contingut curricular avaluat

A continuació es mostren els estàndards avaluables d'aprenentatge curriculars d'acord amb la norma curricular vigent, la LOMCE (Llei orgànica per a la millora de la qualitat de l'educació):

1. Interpreta l'ordenació dels elements de la taula periòdica.
2. Aprèn com s'uneixen els àtoms per formar compostos.
3. Formula i anomena compostos químics d'acord amb les regulacions IUPAC (prefixos i stock).
4. Relaciona les propietats d'un element amb la seva posició a la taula periòdica i la seva configuració electrònica.
5. Agrupa els elements de les famílies/grups representatius.
6. Interpreta els diferents tipus d'enllaç, la regla de l'octet, l'estructura de Lewis i la predicció de la geometria molecular.
7. Anomena i formula compostos ternaris d'acord amb les recomanacions de la IUPAC.



Figura 1: Material utilitzat durant l'estudi (model molecular DLS-1032)

El diferents ítems als que es fan referència al llarg de l'article, corresponen a aquests estàndards avaluable d'aprenentatge.

#### Material i explicació del procés d'aprenentatge

El kit de model molecular utilitzat per a aquesta prova va ser el DLS-1032 de Magical Science Official Store (figura 1), que es pot comprar per menys de 3€ a botigues en línia, com ara Aliexpress [1].

A l'educació secundària obligatòria es treballa amb compostos orgànics binaris (òxids, hidrurs i sals binàries) i ternaris (hidròxids i oxoàcids). A continuació es procedeix a fer una breu explicació de com fins ara s'han portat a terme els processos d'ensenyament-aprenentatge en aquest camp. Per al composts binaris, els dos elements que hi trobem són: el principal determina el tipus de compost i, per tant, el seu nom (òxid en el cas de l'oxigen, hidrur en el cas de l'hidrogen, etc.), l'altre element és l'element acompanyant.

A continuació (figura 2) es mostra un esquema d'un compost binari: A (element acompanyant), B (element principal), x (nombre d'àtoms de l'element



Figura 2: Representació esquemàtica d'un compost binari.1032)

acompanyant) i y (nombre d'àtoms de l'element principal).

Per a escriure la fórmula dels compostos o anomenar-los, el primer que s'ha de fer és la identificació de l'element principal (B) i acompanyant (A)

- Element principal (B): Si tenim la fórmula escrita, en els composts binaris és l'element de més a la dreta, si tenim el nom del compost és el primer dels noms, i si tenim la representació 3D és l'àtom que no està al centre (en composts binaris de més de 2 àtoms)
- Element acompanyant (A): En els composts binaris és l'element de l'esquerra, i si tenim la representació en 3D és la que es troba al centre.

Per anomenar compostos:

Si tenim la fórmula escrita, els subíndex indiquen quants àtoms d'aquest element estan en el compost (prefixos), per tant en la nomenclatura sistemàtica anomenam els composts seguint la següent regla.

Per exemple per al compost  $SO_3$ :

**PREFIXOS:** Prefix (mono, di, tri) + tipus de compost (element principal acabaten -ur, o òxid, si l'element principal és oxigen) + Prefix (mono, di, tri) + de + Nom de l'element acompanyant → Triòxid de sofre

**STOCK:** Prefix (mono, di, tri)+ tipus de compost (element principal -ur, o cedeix si l'element principal és oxigen) + element secundari + (nombre d'oxidació com a nombres romans = nombre de pins) → Òxid de sofre (VI)

Als següents apartats es mostra com els models moleculars permeten fugir de l'ensenyament clàssic i tradicional de la formulació química.

Per al grup de 4t d'ESO (ítems 6 i 7 específicament), per poder treballar amb composts ternaris, se'ls va explicar els hidròxids (com la unió d'un àtom d'oxigen i un d'hidrogen i que aquesta actuava com a element principal per a seguir amb la nomenclatura usada anteriorment) i els oxoàcids (a partir de l'òxid original i afegint una molècula d'aigua, mantenint la mateixa distribució,



Figura 3: CO<sub>2</sub>: diòxid de carboni (prefixos) o òxid de carboni (IV) (stock)

és a dir el grup -OH al voltant de l'àtom acompanyant que es troba al centre, i l'altre hidrogen a un dels oxigens que hi havia).

## RESULTATS I DISCUSSIÓ

La figura 3 mostra dos exemples de la llibreta d'alguns dels estudiants que van utilitzar models moleculars per al seu aprenentatge, en aquest cas representant la molècules de CO<sub>2</sub>.

Treballant amb models moleculars, els estudiants aprenen sobre alguns conceptes com l'enllaç (únic, doble), la geometria de la molècula (i la polaritat de la molècula), els electrons de valència i els nombres d'oxidació, així com el nombre d'àtoms que es treballen simultàniament de cada element que forma el compost i com es distribueixen espacialment.

En el cas de la nomenclatura stock, el nombre indicat entre parèntesis es refereix al nombre d'oxidació de l'element acompanyant, en aquest cas el sofre. Observant el model 3D de la figura 3, veiem que el carboni (negre) té 4 "pins" o llocs d'unió per formar enllaços covalents, per tant en aquest cas simplement comptant els pins sabem quin és el seu nombre d'oxidació, igual que ocorre en la figura 4, on el sofre és l'element acompanyant, i per tant comptant, es veu fàcilment que el nombre d'oxidació és 6.

Al mateix temps s'observa a la figura 1, que si se'ls entrega un esquema de la taula periòdica amb els colors que es mostren, poden observar que per exemple els òxids del sofre es formulen o



Figura 4: SO<sub>3</sub>: triòxid de sofre (prefixos) o òxid de sofre (VI) (stock)

anomenen igual que els de sel·leni, o que els de clor es formulen igual que el iode o el brom, ja que els elements que es troben a un mateix grup (columna de la taula periòdica) comparteixen característiques com els nombres d'oxidació, que són un reflex de la capacitat de formar enllaços covalents.

### 2n i 3r d'ESO

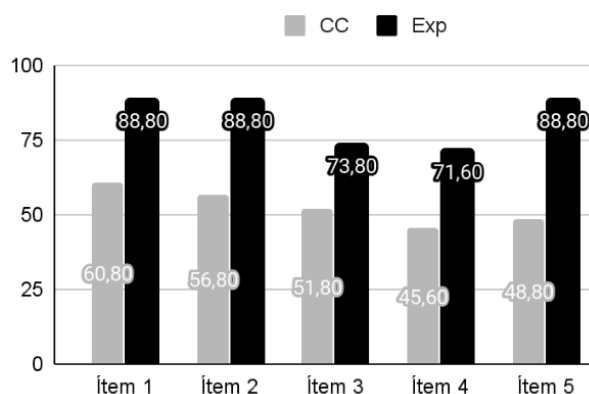


Figura 5: Comparació de resultats entre el grup control (CC) i l'experimental amb l'ús de models moleculars (Exp) a 2n i 3r d'ESO.

### 4t d'ESO

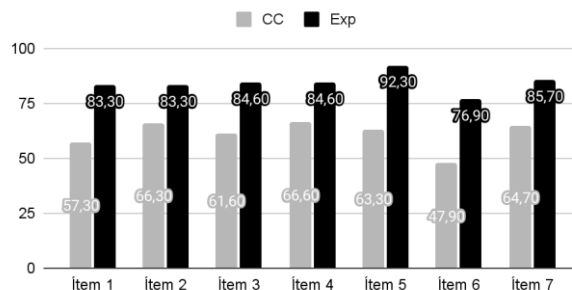


Figura 6: Comparació de resultats entre el grup control (CC) i l'experimental amb l'ús de models moleculars (Exp) a 4t d'ESO.

Tal i com s'observa tant en la figura 5 (2n i 3r d'ESO) com en la figura 4 (4t d'ESO) hi ha una diferència significativa en els resultats de les proves (mitjanes de les dues escoles) i exercicis.

A mode d'exemple es mostren altres compostos químics inorgànics (amoníac, hidròxid) com s'observa a la figura 7.

Del mateix mode, escau incloure una representació (figura 6) en la que es mostra com l'ús dels models permet també estudiar la

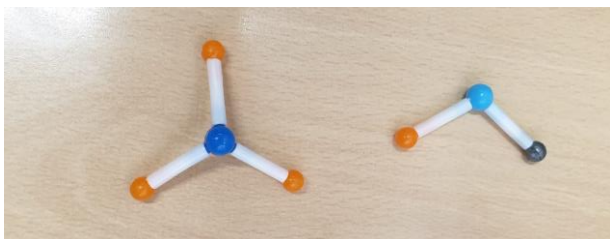


Figura 7: Models moleculars de l'amoníac (esquerra) i "hidròxid sòdic (dreta).

geometria molecular del compostos, en aquest cas apolars, o polars com es veu a la figura anterior (figura 8).

S'observen certes avantatges quan es treballa amb aquests models, per un costat ofereix una alternativa a l'ensenyament usat fins aleshores (clàssic) d'usar taules dels nombres d'oxidació dels diferents elements (que els alumnes poden aprendre o no, però que és difícil per la seva abstracció comprendre què representen cada un d'aquests nombres) i la posterior reducció dels subíndexs si escau, d'aquesta manera amb els models no cal aquest intercanvi ni la possible simplificació. Tradicionalment també s'han treballat els compostos hidràcids com la conjunció (suma) d'una molècula d'aigua a l'òxid corresponent, encara que no sia una mètode recomanat, fins i tot amb els models moleculars es pot fer aquesta associació, i veure que a l'hidràcid resultant hi ha un enllaç covalent entre l'oxigen i l'hidrogen, com per exemple l'obtenció d'àcid sulfúric ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a partir del triòxid de sofre (òxid de sofre VI) com es veu a la figura 9, on un dels dobles enllaços amb l'àtom central es desfà per a que s'integrin els elements que formaven part de la molècula d'aigua. Encara que aquest mètode d'ensenyament dels hidràcids no està recomanat, s'inclou en aquest

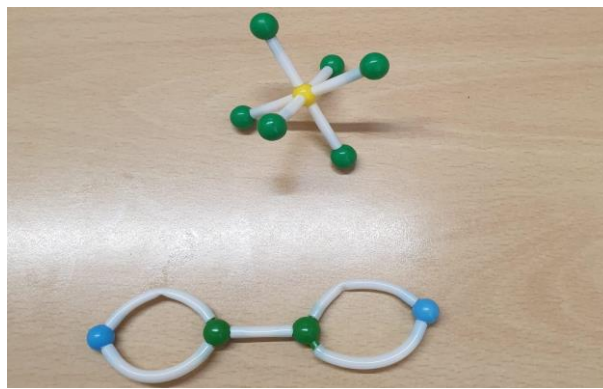


Figura 8: Models moleculars de compostos apolars (estructura octaèdrica i lineal).

apartat per donar exemples de la versatilitat dels models moleculars.

Al mateix temps, com sempre es treballa amb la molècula 3D (simplificada, perquè és espacialment la única disposició possible) la nomenclatura sistemàtica (prefixos) és molt fàcil (igual que amb la fórmula) i la de stock (nombres d'oxidació) només cal comptar el nombre d'enllaços (pins) de l'element central sense haver de pensar si s'han produït simplificacions, o aprendre de memòria/recórrer a taules de nombres d'oxidació.

Al mateix temps a 4t d'ESO on es comencen a treballar configuracions electròniques, disposició a la taula periòdica, el fet de treballar amb els models moleculars ajuda a comprendre com es disposen els diferents grups per la seva capacitat de formar enllaços, així com l'estudi de compostos ternaris, més enllà dels hidròxids (que són ternaris però la seva formulació és idèntica a la dels binaris, sempre tenint en compte que el grup hidròxil  $-\text{OH}$  es tracta com si fos un sol element, per tant indivisible).

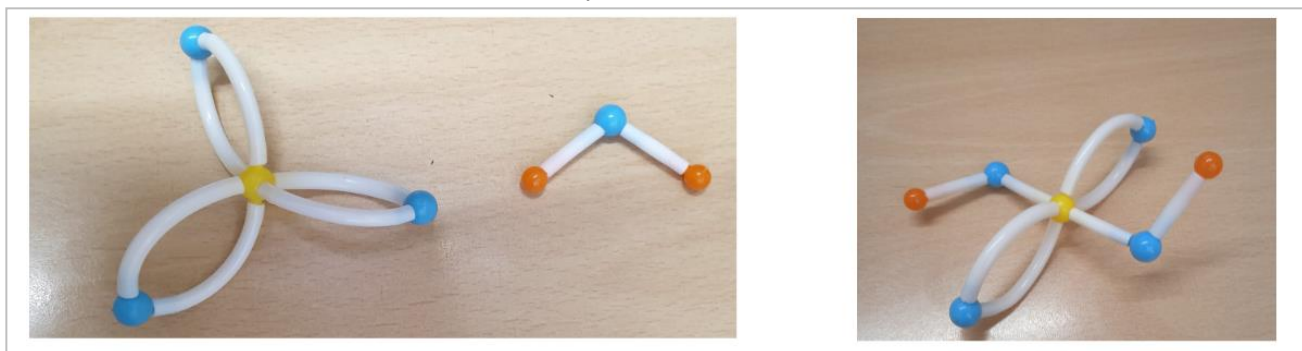


Figura 9: Representació amb models moleculars de la formació d'àcid sulfúric (dreta) a partir de triòxid de sofre (esquerra)



## CONCLUSIONES I LIMITACIONS DE L'ESTUDI

La principal limitació d'aquest estudi va ser el petit nombre d'escoles en les quals es va dur a terme l'estudi. Per tal que els resultats siguin més sòlids, la mostra hauria d'ampliar-se a un major nombre d'escoles.

Tot i així, les conclusions que es poden extreure d'aquest estudi són que els models moleculars faciliten l'estudi i aprenentatge sobre la formulació ja que no es depèn d'una taula amb nombres d'oxidació, i permet treballar continguts com la geometria molecular que no s'aprofundeix generalment fins a etapes superiors com el batxillerat (però permet introduir l'alumne en aquest camp ja durant l'ESO), d'un mode més fluïd i natural, ja que comptant el nombre de "pins" de l'element (o del nombre d'enllaços) es treballen els conceptes fonamentals de la química necessaris per a la comprensió de les bases de la formulació.

Al mateix temps, anima als estudiants que poden tenir dificultats en la relació i la comprensió de conceptes abstractes (com el nombre d'oxidació, disposin d'una taula o no), o mirant els diferents elements del model molecular, a saber en quina columna de la taula periòdica es troben (segons el color), i es pot obtenir una informació sense necessitat de conèixer la configuració electrònica de l'element.

## BIBLIOGRAFIA

- Álvarez Rodríguez, S. (2007). Procesos cognitivos de visualización espacial y aprendizaje. *Revista de Investigación en Educación*, 4, 61-71.
- Cárdenas, S.F.A. (2006). Dificultades de aprendizaje en química, caracterización y búsqueda de alternativas para superarla: Ampliación y continuación. *Ciência & Educação*, 3(12), 333- 346.

- De Posada, J.M. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. *Problemas de aprendizaje. Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 227-245.
- Kim-Chwee, D.T. i Treagust, D.F. (1999). Evaluating students' understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81(294), 75-83.
- Lemke, J.L. (2006). Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 5-12.
- Mateo González, E. i Martínez Peña, M.B. (2013). ¿Tengo Visión espacial? Simetría de modelos cristalográficos sobre alumnos de altas capacidades. IX Congreso Internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias. Girona.
- Móndelo, M. i Martínez, C. (1994). Materia inerte o materia viva ¿Tienen ambas constitución atómica? *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 226-233.
- Perales-López, J.C. i Romero-Barriga, J.F. (2005). Procesamiento conjunto de lenguaje e imágenes en contextos didácticos: Una aproximación cognitiva. *Anales de Psicología*, 24(1), 13- 30.
- Pozo, J.I. i Gómez-Crespo, M.A. (Ed. rev.). (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Riboldi, L., Pliego, O. i Odetti, H. (2004). El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 195-212.
- Solarte, M.C. (2006). Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica. *Revista ieRed*, 1(4), 1.

## NOTES

- [1] Exemple de pàgina web on es poden comprar models moleculars:

<https://es.aliexpress.com/item/2033847145.html>