

Entrant en matèria, treball de les interaccions entre les partícules a partir d'experiències al laboratori

Going into the matter, work about the interactions between particles from laboratory experiences

Carme Grimalt-Álvaro i María Isabel Hernández Rodríguez / Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM)

Montserrat Pagès Blancafort / Institut Puig Castellar (Santa Coloma de Gramenet)

Maria Teresa Pujol Bosch / Institut Arraona (Sabadell)

Maria Dolors Ribera Vall / Institut de Matadepera



resum

Es presenta una unitat didàctica sobre propietats i estructura interna de la matèria destinada a alumnat de 4t d'ESO. Aquesta unitat es caracteritza per un plantejament didàctic que parteix de l'experimentació d'unes determinades propietats físiques de substàncies per interpretar-les posteriorment en termes del model d'interaccions entre partícules. El procés de modelització de l'alumnat està orientat per mitjà de preguntes clau, analogies i ús de TIC que faciliten la visualització de representacions del model.

paraules clau

TIC, secundària, estructura, laboratori, enllaços.

abstract

A teaching sequence on properties and internal structure of matter addressed to 10th graders is presented here. This sequence is characterised by a teaching approach that promotes experimentation of certain physical properties of substances and interpretation of these properties in terms of the model of particles interaction. Students' modelling process is oriented through key questions, analogies and use of ICT to facilitate the visualisation of the representations of the model.

keywords

ICT, secondary school, structure, laboratory, bonds.

Introducció

En aquest article es presenta una unitat didàctica sobre propietats i estructura interna de la matèria destinada a alumnat de 4t d'ESO i que s'ha desenvolupat en el marc del treball del grup de professors DIATIC. El grup DIATIC es constituí el curs 2012-2013 a l'entorn de professorat de ciències de secundària amb una àmplia experiència docent i provinent de diferents centres educatius de Catalunya.

Un dels objectius que comparteixen aquests professionals és el que dóna nom al grup: la integració i l'ús de les TIC en les propostes d'aula per tal d'afavorir l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències. Així, els docents que integren aquest grup s'organitzen per elaborar i pilotar activitats contextualitzades que siguin bons exemples per millorar el procés educatiu mitjançant l'ús de les TIC a les classes de ciències.

La interacció entre les partícules de la matèria, contingut conceptual

La interacció entre les partícules de la matèria és un contingut conceptual que s'introdueix a 3r d'ESO i es treballa de manera extensiva a 4t d'ESO, a l'assignatura optativa de física i química («Decret 187/2015...», 2015). El model d'interacció entre partícules parteix de la teoria cinetomolecular i és un dels models més recurrents al llarg de la química.

L'ensenyament del model d'interacció entre partícules presenta un repte especialment difícil per als estudiants de secundària, ja que esdevé quelcom abstracte i desconectat d'un significat pràctic. És a dir, es presenta com un conjunt de models i teories que no tenen cap relació amb fenòmens experimentals (Gillespie, Spencer i Moog, 1996a). Per aquest motiu, diversos autors, com Merino i Izquierdo (2011), recomanen relacionar els conceptes abstractes (per exemple, la compartició dels electrons en els diferents tipus d'interaccions) amb les

proprietats observables i mesurables de diversos materials (com ara la conductivitat, la solubilitat o el punt de fusió o d'ebullició). Aquesta observació de les diferències entre les propietats mesurables de diversos materials i la seva explicació en termes dels tipus d'interaccions que es poden establir entre els àtoms, ions i molècules permet establir un vincle entre el món observable i el món abstracte dels models.

La unitat didàctica que es planteja a continuació parteix justament d'un enfocament similar per facilitar als estu-

dians la construcció del model d'interacció entre partícules. No obstant això, la relació entre les observacions experimentals i els models teòrics obliga a sintetitzar els models utilitzats a l'aula i a identificar quines són les idees clau. Per aquest motiu, la proposta que es presenta se centra en els enllaços interatòmics o interaccions fortes. A la taula 1 es presenten les idees clau que es tractaran al llarg de les activitats.

Tal com s'observa, a l'hora de presentar els sòlids moleculars, serà necessari considerar que hi ha altres tipus d'interaccions

Taula 1. Resum dels continguts conceptuals que es tracten a la unitat didàctica

	Model conceptual (nivell micro)	Relació amb les propietats observades de les substàncies		
		Ductilitat/mal-leabilitat i fragilitat	Conductivitat elèctrica en estat sòlid	Conductivitat elèctrica en solució aquosa
Interacció tipus enllaç iònic	Unió d'ions de signe oposat per atracció electrostàtica. Donen lloc a macroestructures reticulars.	Són fràgils. Una força aplicada a una estructura basada en enllaços de tipus iònic pot desplaçar part d'aquesta estructura i generar repulsions entre càrregues similars	Són sòlids no conductors. Els electrons es troben fixos en l'estructura de l'anió i, per tant, no poden moure's lliurement per conduir l'electricitat.	En solució aquosa, són conductors. Els ions es dissocien a l'aigua, fet que facilita el moviment d'electrons a través d'aquest medi.
Interacció tipus enllaç covalent	Compartició d'electrons entre àtoms. Donen lloc a macroestructures reticulars o bé sòlids moleculars (en conjunció amb interaccions intermoleculars febles).	Són fràgils. Les interaccions covalents són direccionals (succeeixen entre dos o més àtoms distribuïts a l'espai).	Són sòlids no conductors. En estat sòlid, els electrons no es poden moure fàcilment per l'estructura.	Si són solubles, no condueixen l'electricitat. Les partícules formades per enllaços covalents no estan carregades. Els electrons compartits estan units fermament i, per tant, no permeten el moviment de la càrrega.
Interacció tipus enllaç metàl·lic	Unió electrostàtica de cations per un núvol deslocalitzat d'electrons. Donen lloc a macroestructures reticulars.	Són dúctils i mal-leables. Els cations poden lliscar els uns sobre els altres. Els electrons deslocalitzats impedeixen que es generi repulsió entre els cations que formen la xarxa cristal·lina.	Són sòlids conductors. Els electrons circulen lliurement per la xarxa cristal·lina. Aquest moviment és el que es coneix com a <i>conducció elèctrica</i> .	No es dissolen en aigua. La deslocalització dels electrons és més forta que la possible interacció amb les partícules de l'aigua.

NOTA: A la taula es descriu el model conceptual i la seva relació amb les propietats observables.

entre les partícules de la matèria (com ara interaccions intermoleculares). No obstant això, les interaccions intermoleculares no són una idea central de la unitat didàctica que ara es presenta, sinó que el seu estudi es realitzaria en una fase d'ampliació posterior. De la mateixa manera, si bé les propietats descrites a la taula 1 són suficients per permetre la distinció entre els tres tipus d'interaccions entre partícules, també es podrien considerar en una fase d'ampliació posterior altres propietats de les substàncies, com ara la temperatura de fusió, la solubilitat o la duresa.

Igualment, si bé la distribució dels electrons en nivells d'energia és un contingut conceptual que es considera en el currículum de ciències de 4t d'ESO («Decret 187/2015...», 2015) i pot ser utilitzat per aprofundir en el model d'interacció entre les partícules de la matèria, no considerem que sigui apropiat tractar-lo en aquesta etapa. En efecte, els orbitals atòmics que s'utilitzen per presentar i explicar la compartició dels electrons en els enllaços són funcions d'ona que surten de la solució de les equacions de Schrödinger per a un àtom d'hidrogen. Aquestes equacions i les seves solucions no s'introdueixen a secundària, la qual cosa provoca que el concepte *orbital* tingui poc significat per als estudiants i que les seves diferents formes no deixin de ser un misteri (Gillespie, Spencer i Moog, 1996b). Així, deixant també aquest contingut per a una etapa d'ampliació posterior, volem reforçar en aquesta el vincle entre els conceptes de la química i els fets experimentals.

Val a dir que, al llarg del procés de construcció del model conceptual d'interaccions entre partícules de la matèria a les

classes de química, els estudiants poden generar idees que no es corresponen amb el model acceptat per la comunitat científica. Aquestes idees alternatives dels estudiants respecte al model d'interaccions estan resumides a la taula 2.

Taula 2. Resum de les idees alternatives principals relacionades amb el model de matèria

Els enllaços intermoleculares, com les forces de Van der Waals, són més forts que els enllaços intramoleculares (Coll i Treagust, 2002).

Les xarxes cristal·lines covalents, com el SiO_2 , o iòniques, com el NaCl , estan formades per espècies moleculars. Els estudiants apliquen el concepte *interacció intermolecular* en contextos no apropiats (Coll i Treagust, 2002).

L'atracció entre dues espècies amb càrrega oposada resulta en la neutralització de la càrrega en comptes de la formació d'un enllaç (Coll i Treagust, 2002; Taber, 1998).

La formació d'enllaços covalents implica la transferència completa d'electrons entre els diversos àtoms (Coll i Treagust, 2002).

L'enllaç metàl·lic és menys important que la resta de les interaccions (Coll i Treagust, 2002).

Així, més enllà de conèixer quins continguts clau cal ensenyar, el disseny de les diverses activitats i la posterior realització han de possibilitar que els estudiants prenguin consciència d'aquestes idees alternatives i puguin fer-les evolucionar. Per aquest motiu, és necessari considerar-ne també el plantejament didàctic.

Plantejament de la unitat didàctica

Com es promou la construcció de coneixement de l'alumnat?

L'aprenentatge (en particular, l'aprenentatge de les ciències) és un fenomen complex: desenvolupar el coneixement de l'alumnat implica no només que els estudiants coneguin els principals models i sàpiguen aplicar-

los per interpretar fenòmens, sinó també que compreguin com es construeix la ciència, és a dir, com sabem el que sabem (Osborne, 2014). Per aquest motiu, en els darrers anys, s'ha fet un esforç per promoure el desenvolupament de les compe-

tències científiques de l'alumnat. Ser competent científicament implica disposar i mobilitzar els coneixements científics per comprendre i actuar en un context determinat, així com disposar d'uns valors determinats que permetin a l'estudiant situar-se personalment en el món com a ciutadà (OCDE, 2014). Les competències científiques, per tant, articulen tres tipus de coneixement: el conceptual, el procedimental i l'epistèmic (OCDE, 2014).

Per articular aquests tres tipus de coneixement, és necessari implicar els estudiants en una pràctica científica autèntica a l'aula (Osborne, 2014). És a dir, cal partir d'un plantejament a l'aula que reproduïx aspectes de les pràctiques científiques reals per tal que els estudiants

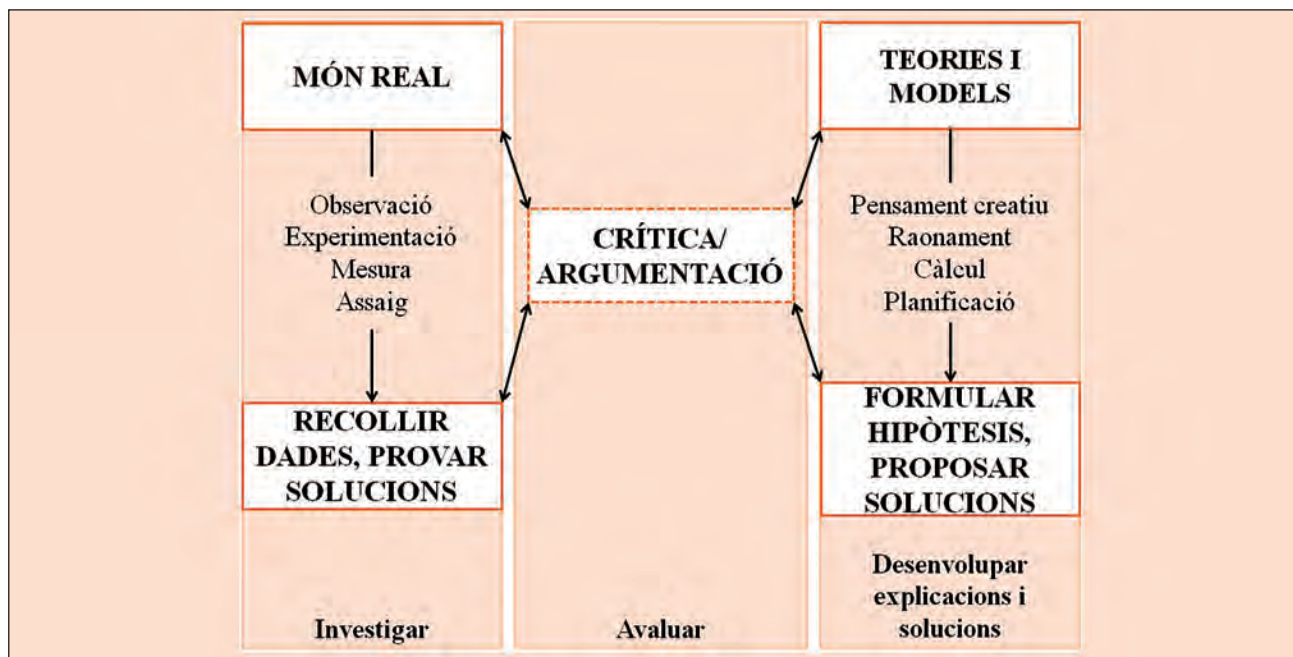


Figura 1. Model de l'activitat científica. Adaptació d'Osborne (2014).

entenguin què és la ciència i com es genera. Aquesta pràctica científica que pretén explicar els fets del món real mitjançant teories o models es resumeix en tres grans processos (fig. 1): investigar, avaluar i desenvolupar explicacions i/o solucions (Osborne, 2014).

D'acord amb el marc presentat, les activitats que es plantejen en aquest article pretenen oferir a l'alumnat una oportunitat per poder desenvolupar la competència científica. Per aquest motiu, un element important de la unitat és el procés de modelització de l'alumnat, ja que es promou que els estudiants parteixin dels models inicials propis i elaborin models explicatius en termes de les interaccions entre partícules per interpretar les propietats observades de les substàncies. Amb aquesta finalitat, la unitat didàctica dissenyada inclou activitats de recollida i anàlisi de dades que permeten que l'alumnat s'aproximi als fenòmens reals que haurà d'interpretar en termes de models explicatius.

I què aporten les TIC al plantejament de la unitat didàctica?

Una altra de les inquietuds de les autores en el desenvolupament de la unitat didàctica que es presenta és la incorporació de diverses TIC (tecnologies de la informació i la comunicació) que puguin facilitar l'aprenentatge de l'alumnat. Més enllà del desenvolupament de competències transversals de l'alumnat, les TIC posseeixen diverses potencialitats per promoure l'aprenentatge de les ciències. Així, els dispositius mòbils (com ara portàtils, telèfons o tauletes) permeten disposar de manera ràpida d'una gran quantitat d'informació actualitzada. Disposar d'aquesta informació no només esdevé una ajuda important en la contextualització de l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències, sinó que també promou que els estudiants realitzin preguntes i puguin dissenyar investigacions per resoldre-les (Osborne i Hennessy, 2003). A més, la capacitat de les TIC (en especial, la pissarra digital interactiva, PDI) per a la representació gràfica de la informació facilita que els estudiants puguin

explicitar el seu coneixement previ respecte del model que es pretén desenvolupar (Roschelle et al., 2001). Les aplicacions per a la realització de mapes mentals o esquemes, així com el programari de modelització i programació, també poden facilitar aquesta explicitació del pensament de l'alumnat, que, d'altra banda, esdevindria més difícil sense aquest suport gràfic.

Una altra característica de les TIC és el seu potencial per facilitar el disseny i la realització d'investigacions. En particular, les simulacions ofereixen als estudiants un entorn òptim per familiaritzar-se amb el laboratori i provar diversos dissenys de recerca. Certament, les simulacions no han de substituir el treball experimental real, però ofereixen una resposta immediata que ajuda l'alumnat en el disseny i la revisió d'investigacions (Roschelle et al., 2001). Les exercicis virtuals, els jocs educatius, els entorns oberts com Algodoo (<http://www.algodoo.com/>) o els laboratoris virtuals també disposen d'un gran potencial en aquest sentit.

En relació amb el treball experimental, les TIC (en particular, els captadors automàtics de dades o els dispositius mòbils) faciliten l'adquisició de dades. Així, agilitzen la presa d'aquestes i possibiliten que els estudiants disposin de més temps per a la discussió dels resultats. A més, els fulls de càlcul, el programari per a l'anàlisi de vídeos i altres aplicacions similars optimitzen el tractament posterior de les dades recollides i la representació gràfica. Aquestes capacitats faciliten la identificació de patrons o tendències en les dades (Osborne i Hennessy, 2003).

En particular, a la unitat didàctica que es presenta a continuació, s'ha considerat la utilització d'una simulació i d'animacions o vídeos. La tria d'aquests recursos, a més de les potencialitats anteriorment esmentades per a l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències, està motivada per la voluntat que siguin fàcils d'utilitzar i es puguin fer servir en diversos contextos educatius.

Estructura de la unitat didàctica

D'acord amb el plantejament descrit, la unitat didàctica ha estat estructurada en sis activitats:

— Una activitat experimental inicial en la qual els estudiants puguin expressar els seus coneixements previs sobre les interaccions entre les partícules i l'estructura de la matèria. Aquesta activitat està centrada en l'observació de diverses propietats macroscòpiques de substàncies diferents i en la identificació de patrons o similituds en les propietats observades.

— Una segona activitat centrada en els sòlids iònics que pretén que l'alumnat desenvolupi un model explicatiu de les propietats observades.

En relació amb el treball experimental, les TIC (en particular, els captadors automàtics de dades o els dispositius mòbils) faciliten l'adquisició de dades. Així, agilitzen la presa d'aquestes i possibiliten que els estudiants disposin de més temps per a la discussió dels resultats

— Una tercera activitat centrada en els sòlids covalents. Partint del model anterior, els estudiants hauran de refinar-lo per explicar les propietats observades d'aquest grup de substàncies.

— Una quarta activitat centrada en els sòlids metàl·lics i basada, igualment, en la revisió del model dels estudiants.

— Una cinquena activitat que pretén que els estudiants realitzin una síntesi dels conceptes apresos.

— Una sisena activitat d'aplicació dels conceptes apresos en un nou context.

Per qüestions d'espai, es comentaran de manera extensiva les activitats primera i segona i, menys profundament, la resta. No obstant això, la unitat completa es pot consultar a l'enllaç <https://goo.gl/bz0lUh>.

Descripció de les activitats

A continuació, es presenten les diverses activitats de la unitat didàctica, que pretenen que els estudiants construeixin explicacions científiques per interpretar i predir les propietats físiques dels materials en termes de l'estructura interna i, en particular, en termes del model d'interacció entre partícules de la matèria.

Activitat 1. Què en sabem, de les propietats dels materials?

La unitat comença proposant als estudiants la visualització d'un fragment de vídeo sobre el grafè (<https://youtu.be/JICxb9T0I4k>) (fig. 2). En el vídeo es parla de les propietats d'aquest material i de la seva estructura. Igualment, es posen de manifest algunes diferències respecte del grafit.

Aquesta introducció pot motivar una discussió inicial a classe sobre com l'estructura que conformen les partícules dels materials pot condicionar les seves propietats macroscòpiques, per exemple, a partir de preguntes com ara «Per què creieu que el grafit i el grafè són tan diferents, si estan fets de les mateixes partícules? Com ho podeu explicar?».

A continuació, es proposa una activitat pràctica que estructurarà la construcció del model d'interacció entre partícules de la matèria. Per realitzar l'activitat, els estudiants disposaran de diversos materials sòlids, com alumini, coure (si pot ser, en forma de fils o làmines), sal comuna (NaCl), grafit (una mina de llapis gruixuda, tipus 2 mm), hidrogencarbonat de sodi, diòxid de silici (en forma de sorra o quars), sucre... o d'altres similars. Els estudiants recolliran dades sobre les propietats següents:

— Característiques visibles a ull nu: color, mal·leabilitat¹ i fragilitat.

— Conductivitat en estat sòlid (per observar aquesta propietat i la següent es necessitarà un polímetre, tot i que també es pot mesurar la conductivitat muntant un petit circuit amb una bombeta i veure si s'encén).

— Conductivitat en solució.

¹ La capacitat d'un material d'estendre's en làmines per l'acció d'un esforç extern, segons el *Diccionari de la llengua catalana* de l'Institut d'Estudis Catalans.



Figura 2. Imatge d'un vídeo sobre l'electrònica basada en el grafè. Font: Universitat Autònoma de Barcelona.

L'objectiu d'aquesta sessió és que els estudiants siguin capaços d'identificar algun patró que es repeteix en les dades recollides, és a dir, una característica que sigui comuna en alguns materials i en d'altres, no (per exemple, la conductivitat en estat sòlid o el color).

Aquesta identificació i classificació de regularitats emula el procés de modelització que els investigadors duen a terme a l'hora de generar models científics. És important que aquest procés es realitzi de manera iterativa, és a dir, revisant la classificació pròpia i contrastant-la amb la d'altres. Així, en aquesta etapa, pot ser útil combinar el treball en petits grups i en gran grup. Al final, caldria que els alumnes haguessin identificat tres grups de substàncies, que posteriorment tractaran en detall.

Activitat 2. Substàncies conductores en solució aquosa però no en estat sòlid

Aquesta activitat és una continuació de l'anterior. Se centra en el grup de substàncies iòniques. La finalitat de l'activitat és que els estudiants desenvolupin un model per explicar el tipus d'interaccions que hi ha entre les partícules que conformen cada substància d'aquest grup i el relacionin amb les propietats observades.

Així, en primer lloc, és recomanable preguntar als estudiants

quines són les seves idees prèvies amb relació al tipus d'interaccions. Algunes preguntes que poden ser útils per guiar la discussió són les següents: «Com ens imaginem que deuen ser les partícules que conformen aquestes substàncies?», o bé «De quina manera poden estar unides per formar una substància determinada?».

Convé destacar la possible càrrega de les partícules i la seva relació amb la conducció de l'electricitat en dissolució aquosa. També és convenient posar de manifest les altres propietats observades (fragilitat, no-conducció en estat sòlid...) i intentar explicar-les sobre la base dels coneixements previs.

Un recurs que pot ser útil per relacionar la teoria dels enllaços iònics amb la pràctica observada (la fragilitat dels compostos) és realitzar una analogia amb diversos imants. Així, es repartiran diversos imants en grups petits de forma que el pol N d'un imant quedi unit al pol S de l'altre. D'aquesta manera, es poden arribar a construir macroestructures que queden ben unides. En canvi, si es realitza una petita força que desplaci una fila de forma que els pols iguals coincideixin o s'apropin, les dues files se separen per repulsió (fig. 3).

Certament, l'analogia anterior posseeix diverses potencialitats, però no ajuda a explicar per què els compostos iònics no són

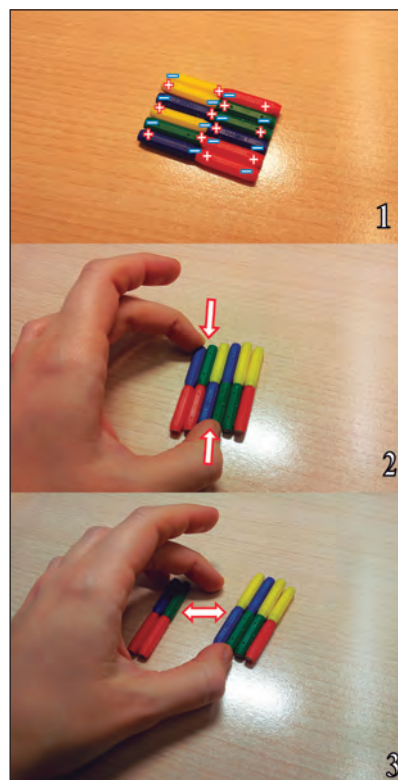


Figura 3. Representació de l'analogia amb imants. A la primera imatge es mostren diversos imants col·locats amb els pols de manera alternada formant una superfície. A la segona imatge es realitza una petita força en el sentit que marquen les fletxes. A la tercera imatge, els imants s'han separat a conseqüència del desplaçament de l'estructura i la repulsió entre els pols generada.

conductors en estat sòlid (les forces d'atracció electrostàtiques impedeixen el moviment dels

Un recurs que pot ser útil per relacionar la teoria dels enllaços iònics amb la pràctica observada (la fragilitat dels compostos) és realitzar una analogia amb diversos imants. Així, es repartiran diversos imants en grups petits de forma que el pol N d'un imant quedi unit al pol S de l'altre

ions) i, en canvi, sí que ho són en dissolució aquosa (on les diverses partícules carregades se separen). Com a procés de construcció del coneixement científic, és important evidenciar aquesta característica, així com intentar explicar amb els estudiants què és el que pot estar succeint. Per a aquesta mateixa finalitat, hi ha algunes eines que poden ser útils i, en particular, el treball amb simulacions adquireix un paper destacat.

De la pàgina web PhET es pot descarregar una simulació gratuïta que s'anomena *Sucre i solucions salines* (https://phet.colorado.edu/sims/sugar-and-salt-solutions/sugar-and-salt-solutions_ca.jnlp). Aquesta simulació és particularment interessant, perquè ofereix tres nivells de representació: 1) un primer nivell macroscòpic, en el qual es pot comparar la conductivitat del sucre i la sal comuna en dissolució aquosa; 2) un segon nivell que combina una representació macroscòpica i una de microscòpica, en el qual es representa més en detall el procés de dissolució del sucre i la sal comuna, i 3) un tercer nivell completament microscòpic, en el qual es representa la relació entre les partícules d'aigua i la sal comuna i el sucre en dissolució (fig. 4).

Algunes preguntes que poden ajudar a desenvolupar el model són les següents: «Quins són els elements que es representen en la simulació?»² «Què succeeix en l'àmbit de les partícules quan el clorur de sodi es dissol en aigua?» i «Quina relació podem trobar entre la simulació i el que hem observat al laboratori?».

² El fet d'explicitar els elements d'una simulació amb els estudiants és important per poder entendre i interpretar el model que s'hi representa.



Figura 4. Captura de pantalla de la simulació Sucre i solucions salines, en què es representa la dissolució de la sal comuna i del sucre en aigua a tres nivells: 1) completament macroscòpic, en el qual es pot mesurar la conductivitat; 2) una combinació del macroscòpic i el microscòpic, i 3) una representació del nivell microscòpic. Font: Universitat de Colorado (2004-2011).

Algunes preguntes que poden ajudar a desenvolupar el model són les següents: «Quins són els elements que es representen en la simulació?», «Què succeeix en l'àmbit de les partícules quan el clorur de sodi es dissol en aigua?» i «Quina relació podem trobar entre la simulació i el que hem observat al laboratori?»

Cal destacar que, si bé aquesta simulació posseeix grans potencialitats per treballar el model d'interaccions entre partícules d'un compost iònic, és necessari evidenciar a l'aula amb els estudiants algunes de les seves limitacions (per exemple, tot i que pretén ser una representació realista, permet treure el solut «sense més» de la dissolució). En cas que aquestes limitacions no s'evidenciïn a l'aula, els estudiants poden desenvolupar dificultats a l'hora de comprendre i aplicar el model desitjat, tal com descriu extensament López (2014). En particular, recomanem evitar la pestanya de la simulació en la qual s'observa una barreja entre la representació macroscòpica de l'aigua i una representació microscòpica del sucre o de la sal (segona imatge de la fig. 4). Aquesta barreja de representacions pot induir idees errònies respecte del model cineticomolecular (López, 2014). Per exemple, pot fer creure que l'aigua no està formada per partícules, que les partícules de l'aigua no es mouen o que les partícules de l'aigua no influeixen en la dissolució del sucre o de la sal.

Activitat 3. Substàncies no conductores

Després de l'aproximació a les substàncies iòniques, es tornen a recuperar els resultats de la part experimental inicial. Així, un segon grup de substàncies identificat eren aquelles que no eren conductores ni en estat sòlid, ni en estat líquid, i, fins i tot, manifestaven poca solubilitat en alguns casos: es tracta dels sòlids covalents.

Per seguir desenvolupant el model d'interaccions, es continua treballant amb la simulació presentada anteriorment, que permet establir comparacions tant a nivell *macro* com a nivell *micro* entre la sal comuna i el

Després de l'aproximació a les substàncies iòniques, es tornen a recuperar els resultats de la part experimental inicial. Així, un segon grup de substàncies identificat eren aquelles que no eren conductores ni en estat sòlid, ni en estat líquid, i, fins i tot, manifestaven poca solubilitat en alguns casos: es tracta dels sòlids covalents

sucres (o altres compostos iònics i covalents). La confrontació de les diferències dels compostos que es poden observar en la simulació s'ha d'estendre també a les diferències observades en l'experimentació inicial per desenvolupar un model que pugui explicar-les. Aquesta connexió entre el model i les propietats observades facilita la construcció de conceptes més abstractes. Igualment, el procés de construcció d'aquesta nova explicació és recomanable que primer l'intentin realitzar els estudiants en petits grups i, després, en una posada en comú.

Activitat 4. Substàncies conductores en estat sòlid i no solubles

Finalment, tornant als resultats de l'experimentació inicial, cal destacar un tercer grup identificat de substàncies les propietats de les quals no es poden explicar amb els enllaços iònics i covalents: es tracta dels sòlids metàl·lics. Per tant, es necessita una nova idea clau del model d'interaccions per explicar les propietats observades. La proposta i revisió progressiva de models explicatius també permet

als estudiants aprendre com es genera el coneixement científic. Algunes preguntes que poden suggerir el debat són les següents: «Els àtoms en els metalls no poden estar units amb una interacció de tipus iònic perquè són bons conductors en estat sòlid. Com podríem explicar aquest comportament?» i «Com us imagineu que poden estar unides les partícules dels sòlids metàl·lics?».

Activitat 5. Síntesi de la unitat

En acabar les diverses activitats, es proposa realitzar una síntesi dels conceptes treballats, per exemple, amb un mapa conceptual.³ Per tal de facilitar la tasca als estudiants, es poden destacar algunes de les paraules clau que s'han treballat durant la unitat i que han d'aparèixer en el mapa.

Activitat 6. Del grafit al grafè

Després de la realització de la síntesi (i tornant novament als resultats experimentals), es destaca el cas del grafit. Caldria evidenciar que, si bé es tracta d'una substància no soluble en aigua, és capaç de conduir l'electricitat en determinades direccions. Així, seria interessant discutir amb els estudiants quina possible estructura pot tenir per concloure que, en alguns casos, la disposició de les partícules que conformen les substàncies pot donar lloc a diversos tipus d'interaccions entre partícules. Per a aquesta etapa, es poden utilitzar diversos recursos gràfics per tal de motivar la participació de l'alumnat.⁴ En aquest punt,

es proposa recuperar el vídeo inicial del grafè i intentar-ne explicar les propietats a la llum del que s'ha après. Igualment, també és recomanable considerar altres propietats de les substàncies, com ara la temperatura de fusió, per posar a prova el model d'interaccions entre partícules que s'ha construït i ampliar-lo.

En una fase d'ampliació posterior o en nivells escolars superiors, es poden considerar altres conceptes relacionats amb el model, com són l'estructura de l'àtom i la distribució dels electrons en nivells d'energia o la seva electronegativitat.

Avaluació de l'experiència

Les diverses activitats descrites es van implementar en dos grups de 4t ESO (de vint-i-quatre i de vint alumnes). Els alumnes amb els quals es va implementar la unitat no estaven habituats a treballar de forma autònoma amb eines TIC i, per tant, va ser necessari dedicar algunes estones a l'aprenentatge d'aquestes eines. Per aquesta raó, la durada total de les activitats descrites es va incrementar respecte de la durada prevista inicialment, que era de dotze hores. De la mateixa manera, és necessari disposar d'un bon equipament i infraestructura a l'aula per garantir un bon desenvolupament de les activitats. No obstant això, el grau d'aprenentatge dels estudiants va ser satisfactori: durant les posades en comú, i un cop acabada la unitat, la majoria van ser capaços de donar resposta a les qüestions plantejades pel docent.

Referències

COLL, R. K.; TREAGUST, D. F. (2002). «Learners' use of analogy and alternative conceptions for chemical bonding: a cross-age study». *Australian Science*

³ Hi ha nombrosos recursos digitals que faciliten la realització i compartició de mapes conceptuals, com ara <https://www.mindmup.com>, <http://www.wisemapping.com/> o <https://bubbl.us/>.

⁴ Per exemple, vídeos com <https://youtu.be/fuinLNKknI> o pàgines web com <http://goo.gl/oPMghA>.

- Teachers' Journal*, vol. 48, núm. 1, p. 24-32.
- «Decret 187/2015, de 25 d'agost, d'ordenació dels ensenyaments de l'educació secundària obligatòria» (2015). DOGC, 28 agost, núm. 6945, s. p.
- GILLESPIE, R. J.; SPENCER, J. N.; MOOG, R. S. (1996a). «Demystifying introductory chemistry. Part 1: electron configurations from experiment». *Journal of Chemical Education*, vol. 73, núm. 7, p. 617-622.
- (1996b). «Demystifying introductory chemistry. Part 2: bonding and molecular geometry without orbitals. The electron domain model». *Journal of Chemical Education*, vol. 73, núm. 7, p. 622-627.
- LÓPEZ, V. (2014). *Les dificultats dels estudiants de secundària en la lectura d'imatges científiques representades en simulacions de física*. Cerdanyola del Vallès: Universitat Autònoma de Barcelona.
- MERINO, C.; IZQUIERDO, M. (2011). «Aportes a la modelización según el cambio químico». *Educación Química*, vol. 22, núm. 3, p. 212-223.
- OCDE (2014). *PISA 2015 draft science framework*. Brussel·les: OCDE.
- OSBORNE, J. (2014). «Teaching scientific practices: meeting the challenge of change». *Journal of Science Teacher Education*, núm. 25, p. 177-196.
- OSBORNE, J.; HENNESSY, S. (2003). *Literature review in science education and the role of ICT: Promise, problems and future directions*. Bristol: NESTA Futurelab.
- ROSHELLE, J. M.; PEA, R. D.; HOADLEY, C. M.; GORDIN, D. N.; MEANS, B. M. (2001). «Changing how and what children learn in school with computer-based technologies». *The Future of Children*, vol. 10, núm. 2, p. 76-101.

TABER, K. S. (1998). «An alternative conceptual framework from chemistry education». *International Journal of Science Education*, vol. 20, núm. 5, p. 597-608.



Carme Grimalt-Álvaro

És llicenciada en química per la Universitat de Barcelona i doctora en didàctica de la matemàtica i les ciències experimentals per la Universitat Autònoma de Barcelona. Des de l'any 2011, treballa al Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM). El seu interès en la recerca se centra en la utilització de la tecnologia per a l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències. És membre del grup d'innovació DIATIC.
A/e: Carme.Grimalt@uab.cat.



María Isabel Hernández Rodríguez

És llicenciada en ciències físiques i doctora en didàctica de les ciències experimentals per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Treballa al Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM) com a investigadora i també és professora associada del Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals de la UAB. El seu interès principal està relacionat amb el desenvolupament de les competències científica i digital de l'alumnat a través del disseny

d'innovacions didàctiques i l'anàlisi d'aquestes innovacions.
A/e: MaríaIsabel.Hernandez@uab.cat.



Montserrat Pagès Blancafort

És llicenciada en ciències químiques per la Universitat de Barcelona i catedràtica de l'institut Puig Castellar (Santa Coloma de Gramenet). Combina la tasca docent amb la participació al grup d'innovació didàctica DIATIC.
A/e: mpages17@xtec.cat.



Maria Teresa Pujol Bosch

És llicenciada en ciències químiques per la Universitat de Barcelona i catedràtica de l'institut Arraona (Sabadell). Combina la tasca docent amb la participació al grup d'innovació didàctica DIATIC.
A/e: mpujol@xtec.cat.



Maria Dolors Ribera Vall

És llicenciada en ciències químiques per la Universitat de Barcelona i catedràtica de l'institut de Matadepera. Combina la tasca docent amb la participació al grup d'innovació didàctica DIATIC.
A/e: mribera5@xtec.cat.