



SUBSTÀNCIES COMPLEXES, CANVIS D'ESTAT I LLINDAR DE COMPREENSIÓ DEL MODEL MATÈRIA A 2N D'ESO

Recepció: 06/02/2020 | Revisió: 06/03/2020 | Acceptació: 03/04/2020

Víctor LÓPEZ SIMÓ

CRECIM - Universitat Autònoma de Barcelona
INS Pau Vila (Sabadell)
victor.lopez@uab.cat

Anna GARRIDO-ESPEJA

CRECIM - Universitat Autònoma de Barcelona
INS Les Aimerigues (Terrassa)
agarridoespeja@gmail.com

Resum: Aquesta recerca pretén estudiar la influència de dues unitats didàctiques orientades a la construcció del model matèria, implementades a l'assignatura de Física i Química de 2n d'ESO en un institut públic de Catalunya. La primera aborda els canvis d'estat entre sòlid, líquid i gas, i la segona, la diferència entre substància pura i mescla. Les dues unitats segueixen una estructura basada en el cicle de modelització, on els estudiants expressen, avaluen, revisen i apliquen els seus models mentals sobre l'estructura interna de la matèria. Recollim les explicacions de 49 estudiants en dos moments del procés d'aprenentatge sobre quin canvi d'estat es produeix quan s'asseca el fang i la pintura, i analitzem si superen el llindar de comprensió del model matèria. Els resultats mostren una influència positiva en aquells estudiants amb un nivell mitjà de competència científica, alhora que no s'observa influència en els que tenen un nivell baix de competència científica. Sobre la base d'aquests resultats, discutim el paper de les activitats de modelització com a estratègia didàctica i assenyalam algunes implicacions per tal de millorar el procés d'aprenentatge de l'alumnat.

Paraules clau: modelització; model matèria; física i química; canvis d'estat; mescles.

SUSTANCIAS COMPLEJAS, CAMBIOS DE ESTADO Y UMBRAL DE COMPREENSIÓN DEL MODELO MATERIA EN 2º DE ESO

Resumen: Esta investigación pretende estudiar la influencia de dos unidades didácticas orientadas a la construcción del modelo materia, implementadas en la asignatura de Física y Química de 2º de ESO en un instituto público de Cataluña. La primera aborda los cambios de estado entre sólido, líquido y gas, y la segunda, la diferencia entre sustancia pura y mezcla. Las dos unidades siguen una estructura basada en el ciclo de modelización, donde los estudiantes expresan, evalúan, revisan y aplican sus modelos mentales sobre la estructura interna de la materia. Recogemos las explicaciones de 49 estudiantes en dos momentos del proceso de aprendizaje sobre qué cambio de estado se produce cuando se seca el barro y la pintura, y analizamos si superan el umbral de comprensión del modelo materia. Los resultados muestran una influencia positiva en aquellos estudiantes con un nivel medio de competencia científica, al tiempo que no se observa influencia en los que tienen un nivel bajo de competencia científica. En relación con estos resultados, discutimos el papel de las actividades de modelización como estrategia didáctica y señalamos algunas implicaciones para mejorar el proceso de aprendizaje del alumnado.

Palabras clave: modelización; modelo materia; física y química; cambios de estado; mezclas.

COMPLEX SUBSTANCES, CHANGES OF STATE AND COMPREHENSION THRESHOLD OF THE MODEL OF MATTER IN SECONDARY SCHOOL

Abstract: This research aims to study the influence of two instructional sequences oriented to the understanding of the model of matter. These sequences have been implemented in an 8th grade science course in a public secondary school in Catalonia. The first sequence addresses the changes of state between solids, liquids and gases. The second addresses the differences between pure substances and mixtures. They both follow the modeling cycle, in which students express, evaluate, review and apply their mental models about the internal structure of the matter. We collected the explanations of 49 students in two different moments of the sequences by asking them about which changes of state occurs when mud and paint become dry. We analyze if students can overcome the comprehension threshold necessary to explain these changes of state. The results show a positive effect in those students with an intermediate scientific competence level, but no influence in those students with a lower scientific competence level. Based on these results, we discuss the role of modeling activities as an educational strategy, and we point out some educational implications to enhance students' learning process.

Keywords: modeling; model of matter; physics and chemistry; changes of state; mixtures.

Introducció

«Tot el material de l'Univers està fet de partícules molt petites» (Harlen, 2010:8). Aquesta és l'afirmació que fa servir Harlen per englobar el que anomena com la primera de les 10 Grans Idees de la ciència. En aquesta idea, l'autora exposa que: «Els àtoms són els blocs de construcció de tots els materials, vius i no vius. El comportament d'aquests àtoms permet explicar les propietats dels diferents materials» (Harlen, 2010:29).

Aquesta idea, que pot semblar fàcil d'expressar, és extremadament complexa de comprendre en profunditat i s'ha considerat des de la didàctica de la ciència com un dels models científics escolars claus de l'escolarització. Aquest model ha estat anomenat de diverses maneres per diferents autors, però es simplifica i es coneix més comunament en l'àmbit de la didàctica de les ciències com el «Model matèria». Cal recordar, a més, que aquest model no és un contingut exclusiu d'un sol nivell educatiu, sinó que es construeix progressivament al llarg de l'escolaritat, des de la primera infantesa fins a les etapes post-obligatòries, en un currículum en espiral (Sanmartí, 2002). En aquest article pretenem endinsar-nos en l'ensenyament i aprenentatge del model matèria a 2n d'ESO, analitzant fins a quin punt els estudiants adquireixen la capacitat d'explicar alguns canvis d'estat fent servir aquest model.

1. Marc teòric

1.1 El model matèria a l'ESO, o com explicar la matèria que veiem a partir de com ens imaginem les seves partícules

A Catalunya, i en molts altres contextos educatius similars, el model matèria es treballa en profunditat en l'assignatura de Física i Química de 2n d'ESO, esdevenint un dels principals objectius d'aprenentatge d'aquesta assignatura, conjuntament amb el model d'interaccions mecàniques. L'actual currículum (Departament d'Ensenyament, 2016) el situa com el primer del llistat dels 30 continguts claus de l'àmbit científicotecnològic.

La rellevància del model matèria a l'assignatura de 2n d'ESO es constata en la seva aparició com a bloc de contingut curricular anomenat «La matèria» en el Decret d'Ordenació dels ensenyaments de l'educació secundària obligatòria (Decret 187/2015, 2015), així com en els principals llibres de text de Física i Química d'aquest curs, on s'inclouen entre els principals temes títols com «La matèria», «Les propietats de la matèria» o «Els estats de la matèria». En tots ells es poden llegir nombrosos exemples de com les propietats físiques de la matèria (densitat, temperatura, estat d'agregació, puresa, duresa...) s'expliquen a partir del comportament submicroscòpic de les partícules que constitueixen aquesta matèria.

El model s'ha anomenat fora de la didàctica de les ciències de diverses maneres, com model «material-partícules», que es pot desenvolupar en el submodel «propietats-canvi d'estat» (Izquierdo *et al.*, 1999:84); «model s-l-g de partícules», que forma part del «model genèric de material» (Izquierdo, 2014:74), «model substància» (Sanmartí, 2002:83); «model cinètic-corpúscular de la matèria» (Talanquer, 2009:2126); i «model matèria» (Achér, Arcà i Sanmartí, 2007:400). Izquierdo

anomena «Model s-l-g de partícules» al model, perquè considera que «pensar el món des de la perspectiva dels tres estats d'agregació és ja una gran abstracció que no ha de quedar enfosquida pensant únicament en unes misterioses partícules» (Izquierdo, 2014:74). Ara bé, en tots els casos, es comparteixen uns principis o regles del joc comuns, que es basen en una mateixa visió de la matèria, la seva estructura i el seu funcionament (Talanquer, 2009). Tenint en compte això i que es tracta de la terminologia més usada al nostre àmbit (tant al currículum com a l'escola), hem considerat oportú anomenar-lo a partir d'ara «Model matèria».

El denominador comú d'aquest model pot resumir-se en tres grans postulats: (1) La matèria està constituïda per partícules molt petites; (2) Les partícules interactuen entre elles a través de forces d'atracció i repulsió; i (3) les partícules estan en moviment constant però d'intensitat variable. Segons aquests postulats, parlem de «partícules» de forma genèrica, sense concretar la seva naturalesa molecular, atòmica (amb els seus respectius isòtops) o sub-atòmica, ja que aquesta distinció requeriria endinsar-se en la naturalesa atòmica de la matèria, i per tant, en la idea d'estructura atòmica i enllaç químic, la qual cosa sí que es fa però en nivells superiors. També parlem de «forces» de forma genèrica, sense concretar la seva naturalesa elèctrica, gravitatòria o nuclear forta/dèbil, ja que la naturalesa de la interacció escapa de l'abast d'aquest model escolar.

Aquests tres postulats són extremadament potents per establir la connexió entre el món macroscòpic i submicroscòpic (Talanquer, 2009), ja que permeten explicar tota mena de propietats observables a l'abast dels estudiants de 13 i 14 anys, com ara la temperatura (concebuda com el resultat de la intensitat de vibració mitjana de les partícules), els estats d'agregació o les mescles. En la literatura es poden trobar diferents propostes de com fer que l'alumnat pugui progressar en la seva comprensió (Smith *et al.*, 2006; Smith, Wiser i Carraher, 2010; Stevens, Delgado i Krakcik 2009; Talanquer, 2009).

1.2 Sòlid, líquid i gas: una explicació recurrent però molt poc satisfactòria

La majoria de llibres de text escolars de 2n d'ESO presenten els estats d'agregació (S-L-G) relacionant el comportament submicroscòpic de les partícules (moviment i forces d'atracció entre partícules) amb les propietats macroscòpiques (volum i forma), tal com s'exposa en la Taula 1. Alhora, els canvis entre aquests tres estats d'agregació resultat d'una transferència d'energia (progressius si la transferència és de l'entorn al material i regressius si és del material a l'entorn), de manera que es modifica la intensitat de vibració de les partícules i, per tant, s'afebleix o s'intensifica la força dels enllaços.

	Comportament submicroscòpic		Propietat macroscòpica	
	Intensitat de les forces d'atracció entre partícules	Intensitat del moviment de les partícules	Volum	Forma
Sòlid	Molt gran	Molt petita	Constant, però poden dilatar-se	Pròpia
Líquid	Mitjana	Mitjana	Constant, però poden dilatar-se	Depèn del recipient que els conté
Gas	Molt dèbils	Es mouen amb llibertat per tot l'espai	Ocupen tot el volum possible	Depèn del recipient que els conté

Taula 1. Relació entre el comportament submicroscòpic i propietats macroscòpiques de la matèria. Font: Elaboració pròpia.

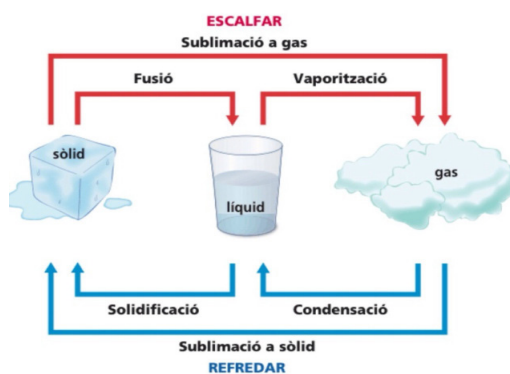


Figura 1. Diagrama comú que es fa servir per expressar els canvis d'estat progressius i regressius. Font: Blog «Matèria i materials» de l'escola Pont de l'Arcada. <https://sites.google.com/site/materiaimaterialscs/>

La relació submicro - macro de la Taula 1, conjuntament amb el diagrama de la Figura 1, és el que normalment es mostra en llibres de text i és molt útil per explicar alguns fets observables on intervien substàncies pures, però en canvi és molt poc útil per explicar altres fenòmens on intervien substàncies complexes (Mans, 2018). Si pensem en l'exemple de com es fon un glaçó, podem explicar que absorbeix energia de l'entorn perquè les forces d'atracció entre les seves partícules s'afebleixen, i per això, a nivell macroscòpic, la forma de l'aigua líquida passa a dependre del recipient que la conté. Ara bé, si pensem en la formació de núvols, les idees de la Figura 1 mostren una contradicció: en quin estat d'agregació és un núvol? Si un núvol és un líquid, perquè no requereix d'un recipient per contenir-lo com deia la Taula 1? I si és un gas, perquè no s'expandeix sense aturador com s'afirmava en aquesta mateixa taula? Mans (2018) explica que la resposta a aquestes preguntes no es troba només en la transposició didàctica anterior (Figura 1 i Taula 1), sinó que cal afegir la idea següent. Un núvol és una substància complexa que inclou diferents substàncies que es troben en diferents estats d'agregació: una fase contínua formada per aire atmosfèric (una mescla homogènia que a la seva vegada inclou vapor d'aigua), i una fase

discreta formada per petites gotetes d'aigua líquida o per petits cristalls de gel, segons el tipus de núvol. És aquesta combinació de les dues fases la que fa que, a ull nu, un núvol sembli tenir propietats de sòlid, altres de líquid i altres de gas.

En les explicacions formals que trobem en els llibres escolars s'aclareix que els estats de la Taula 1 i els canvis d'estat de la Figura 1 només atenyen a les substàncies pures i no a les complexes com en el cas del núvol. Ara bé, aquest detall sovint passa desapercbut per l'alumnat i, fins i tot, pel professorat. De fet, fa més de 30 anys que la literatura especialitzada en concepcions alternatives ha assenyalat que la majoria d'infants i joves tendeixen espontàniament a pensar que un núvol és un gas (Dove, 1998; Osborne i Cosgrove, 1983), idea simple a la qual ens porta el nostre sentit comú. I és que, com afirma Viennot (2002), les explicacions satisfactòries sobre molts fenòmens físics quotidians són sovint contradictòries amb les que ofereix la intuïció i el sentit comú. Per tant, podem dir que la divisió recurrent sòlid-líquid-gas no sempre acaba de funcionar com a model explicatiu útil, ja que no és satisfactori per explicar fenòmens naturals extremadament senzills i quotidians, però alhora complexos, com ara la formació de núvols a l'atmosfera o la formació de baf quan exhalem o quan bullim aigua.

1.3 Canvis d'estat confusos i l·lindar de comprensió: el cas de l'assecatge

Igual com succeeix amb els núvols i el baf, el cas de l'assecatge del fang o de la pintura també acostuma a generar confusions en l'alumnat. El fang o la pintura fresques són substàncies complexes, formades per una combinació de sòlid (que pot ser argila, pigment, etc.) i líquid (aigua, alcohol, oli o altres dissolvents). Quan el fang o la pintura s'assequen, part del líquid s'evapora, i en perdre líquid, la substància complexa adquireix propietats més semblants a les d'un sòlid¹. Ara bé, un estudiant que es deixi portar per la literalitat de les definicions de s-l-g pot pensar que el canvi d'estat que experimenta el fang o la pintura quan s'assequen és el de solidificació, ja que ha passat de tenir propietats de líquid a tenir les propietats de duresa i rigidesa d'un sòlid. Però aquesta explicació errònia basada en la idea de solidificació entra clarament en contradicció amb la idea de balanç energètic: si el fang i la pintura s'assequen quan s'escalfen, el canvi d'estat hauria de ser progressiu i no regressiu, com ho és la solidificació.

Segons Viennot i Décamp (2016), aquesta contradicció entre canvi d'estat aparent de solidificació i balanç energètic es podria explicar amb la idea de l·lindar de comprensió (en anglès, *threshold of comprehension*). El l·lindar de comprensió es pot explicar com el nivell mínim de domini d'un model que requereix un aprenent per poder identificar incoherències o inconsistències en una explicació de manera que, per sota d'aquest l·lindar, qualsevol explicació s'accepta de forma acrítica. Aquesta idea de l·lindar de comprensió ha estat àmpliament discutida per aquests autors en una varietat de fenòmens físics com ara forces, pressions, osmosi o desintegració nuclear (Décamp i Viennot, 2015; Viennot i Décamp, 2016).

¹ Els autors som conscients que tant en el cas del fang com de la pintura, a part de canvis d'estat, també es produeixen canvis de naturalesa química, però aquests escapen de la explicació que pot oferir el model matèria i per això no els hem tingut en compte en aquesta transposició didàctica.

Per tant, podem dir que un estudiant que afirma que el procés d'assecatge del fang i la pintura implica un canvi d'estat de solidificació no estarà tenint en compte la contradicció que hi ha entre la seva explicació i el model de transferència d'energia (Soto, Couso, López i Hernández, 2017) i, per tant, estaria situat per sota del llinar de comprensió del model matèria necessari per explicar canvis d'estat en substàncies complexes. En canvi, un estudiant que sigui capaç d'identificar aquesta contradicció (afirmant que no pot ser que en escalfar-se una substància experimenti un canvi regressiu) estaria situat per sobre d'aquest llinar de comprensió.

1.4 La modelització com a estratègia per fer avançar els models dels alumnes

Sabem que la comprensió de conceptes científics, com els canvis d'estat o altres, poc té a veure amb com de bé explica el professorat ni amb com d'atent i disciplinat és l'alumnat, sinó amb com aquest pot anar construint les idees del model per ell mateix, partint del que ell pensa i a través de la discussió, la reflexió crítica i el qüestionament de les idees pròpies i dels altres (Achér i Reiser, 2010; Aliberas, Izquierdo i Gutiérrez, 2013; Garrido-Espeja, 2016; Izquierdo-Aymerich, 2013). El procés de construcció de models, anomenat modelització, constitueix una de les pràctiques científiques (NRC, 2012; Osborne, 2014), i consisteix en promoure que l'alumnat realment construeixi per ell mateix un model, participant d'un fer, pensar i parlar científic autèntic, genuí i anàleg al de la ciència real (Crujeiras i Jiménez-Aleixandre, 2012; Kelly i Chen, 1999; Osborne, 2014). Aquest «construir i re-construir» les pròpies idees, a través de l'expressió, l'experimentació, la discussió amb els altres i la introducció d'idees noves en el moment adient per part del docent, permet l'alumnat anar construint el seu coneixement de manera competencial.

Diferents autors han definit fases o passos, allò que s'ha de fer per fer participar l'alumnat d'aquesta pràctica científica de modelització. En el nostre cas, ens basem en el cicle de modelització proposat per Couso i Garrido-Espeja (2017), el qual s'ha construït sobre la base de diversos cicles i seqüències de modelització presents a la literatura (Baek et al., 2011; Hernández, Couso i Pintó, 2015; Khan, 2007; Schwarz *et al.*, 2009). Aquest cicle proposa 6 fases clau que haurien de fer els alumnes per anar construint el model: Fase 1. *Reconèixer* la necessitat d'un model; Fase 2. *Expressar/Usar* el model inicial; Fase 3. *Avaluar* el model posant-lo a prova; Fase 4. *Revisar* el model millorant aspectes inadequats; Fase 5. *Expressar/Consensuar* el model final; i Fase 6. *Aplicar* el model per predir/explicar nous fenòmens. Aquesta proposta, alhora, és coherent amb el cicle d'aprenentatge de Jorba i Sanmartí (1996), ben conegut en l'àmbit de la didàctica de les ciències. El cicle de modelització, de fet, consisteix en aplicar el cicle de l'aprenentatge a la construcció de models, on la introducció de nous punts de vista (fase del cicle d'aprenentatge) no es pot donar a través de l'explicació del model, sinó a través de posar-lo a prova amb experiències del món real i revisar-lo afavorint la discussió entre iguals. Finalment, cal destacar que aquest enfocament modelitzador pot també ser coherent amb altres enfocaments comuns en l'ensenyament de les ciències com ara la indagació, a través de plantejaments com el de modelització basada en la indagació (Hernández, Couso i Pintó, 2015).

2. Objectius i pregunta de recerca

A partir de les dificultats, identificades a la literatura, que tenen els estudiants per explicar canvis d'estat on intervenen substàncies complexes (és a dir, formades per més d'una substància simple), i de la idea de llinar de comprensió, volem analitzar l'efecte que té en els estudiants de 2n d'ESO una seqüència didàctica orientada a la modelització del model matèria. I més concretament volem analitzar si aquesta seqüència didàctica ajuda els estudiants a superar el llinar de comprensió necessari per identificar la contradicció entre el canvi d'estat aparent que es produeix en l'assecatge del fang i la pintura (aparentment es torna sòlid) i el balanç energètic (en escalfar-se, s'ha de produir un canvi d'estat progressiu i no regressiu). Per aquests motius, la pregunta que ens formulem és:

Com influeix la implementació d'una seqüència didàctica sobre canvis d'estat i mescles, orientada a la construcció del model matèria, en la capacitat dels estudiants de 2n d'ESO per superar el llinar de comprensió necessari per explicar l'assecatge del fang i la pintura fent servir aquest model?

3. Metodologia

Durant el segon trimestre del curs 2018-19, a l'assignatura de Física i Química de 2n d'ESO de l'INS Pau Vila de Sabadell, un dels autors de l'article va implementar com a professor una seqüència didàctica amb una duració total de 20 sessions d'una hora cadascuna. En dos moments de la seqüència es van recollir dades sobre les explicacions que feien els estudiants i vam classificar aquestes respostes de forma qualitativa, tal com presentem en aquesta secció.

3.1 Descripció dels participants

L'alumnat participant estava compost per dos grups-classe heterogenis de 31 estudiants cadascun, fent un total de 62 estudiants, tot i que en algunes sessions es treballava en grups partits al laboratori. Considerant el global de qualificacions sobre la base dels nivells d'assoliment de les competències bàsiques científicotecnològiques, així com les valoracions fetes pel professorat, el total dels 62 estudiants es poden agrupar en: 8 estudiants molt competents científicament, 22 estudiants mitjanament competents científicament i 19 estudiants poc competents científicament. També hi havia 13 estudiants que seguien un currículum adaptat per tal d'atendre a la diversitat de ritmes d'aprenentatge i, per tant, no participaven de totes les activitats ni feien servir els mateixos instruments d'avaluació.

3.2 Descripció de la seqüència didàctica implementada

La seqüència didàctica, d'un total de 20h, estava formada per dues unitats didàctiques separades, cadascuna d'elles amb una duració de 10 sessions d'una hora. Les dues unitats didàctiques anaven adreçades a la construcció del model matèria, centrant-se la primera en la idea de canvi d'estat, i la segona, en la idea de mescla. Totes dues unitats didàctiques havien estat especialment dissenyades per ajudar els estudiants a establir la connexió entre el món macroscòpic (allò que observem) i

el món submicroscòpic (allò que ens imaginem per tal d'explicar allò que veiem). Es va seguir una seqüència d'activitats inspirada en el cicle de modelització presentat anteriorment (Garrido-Espeja, 2016). A més, al llarg del procés es van fer servir diferents eines digitals (simulacions, sensors, vídeos...) per tal d'enriquir aquest procés de modelització (López, Couso, Garrido-Espeja, Grimalt-Alvaro, Simarro, Hernández, i Pintó, 2017).

Així, la primera unitat (UD1 d'ara endavant), anomenada «Els canvis d'estat a la natura», tenia com a objectiu d'aprenentatge que els estudiants esdevinguessin capaços d'explicar, fent servir el model matèria, les propietats dels tres estats d'agregació de la matèria sòlid, líquid i gas, així com els canvis d'un estat a l'altre. La primera activitat que es va proposar als estudiants per tal d'identificar les seves idees inicials va ser la discussió de quins canvis d'estat es produeixen en diferents fenòmens atmosfèrics, com ara la neu, la rosada, la boira o el gelbre (Fase 1: Reconèixer necessitat model). Això va permetre als estudiants expressar els seus models inicials (Fase 2: Expressar model). Seguidament, els estudiants van dur a terme diferents activitats experimentals, com ara la determinació del punt d'ebullició de l'aigua o l'etanol, o bé la formació de boira en l'interior d'un matràs (Figura 2, esquerra), en les quals els estudiants havien de fer servir les seves idees per explicar els resultats obtinguts, és a dir, posar a prova els seus models (Fase 3: Avaluar model). Aquestes activitats s'intercalaven amb altres activitats de revisió dels models, a través de la generació de nous punts de vista amb simulacions virtuals (Figura 2, centre) i l'expressió dels models mentals dels alumnes, a través de l'elaboració de representacions externes del model matèria amb plastilina o amb dibuixos realitzats pels propis estudiants (Figura 2, dreta), que permetien establir interessants discussions, com ara «*en què s'assemblen les bombolles d'aigua que apareixen en una olla bullint i les que apareixen en un jacuzzi?*» (Fase 4: Revisar model). Després d'estructurar les idees construïdes fent servir el diagrama de canvis d'estat (Fase 5: Consensuar model), els estudiants havien d'aplicar els coneixements construïts en nous contextos, com ara «*què passa en els parabrises quan s'entelen i quan es desentelen?* » (Fase 6: Aplicar model).



Figura 2. Esquerra: Activitat de creació d'un núvol dins d'un matràs al laboratori. Centre: Simulació de PhET on es representa la interacció entre partícules en els diferents estats d'agregació. Dreta: activitat de representació amb plastilina de les «partícules» d'aire i d'aigua en els diferents estats d'agregació.

Font: Elaboració pròpia.

La segona unitat (UD2 en endavant), anomenada «Mescles i substàncies pures», pretenia que els estudiants sofisticuessin el model matèria construït en la UD1, incorporant la idea que les partícules que componen una substància complexa no són totes iguals, i que la manera com aquestes partícules es combinen entre elles (sense entrar en detall a la idea d'enllaç químic, que correspon a un contingut de 3r i 4t de l'ESO) també afecta les seves propietats macroscòpiques: textura, aspecte, duresa, etc. Amb l'objectiu de reflexionar sobre l'estructura submicroscòpica de les mescles, la primera activitat que es va proposar als estudiants va ser explicar perquè una mescla de cigrons i sèmola ocupava menys volum que el volum que ocupaven les dues mescles per separat, (Figura 3, esquerra), expressant així les seves idees inicials sobre mescles (Fases 1 i 2). En les següents sessions, els estudiants van dur a terme diferents activitats experimentals relacionades amb la separació de mescles (filtració, cristallització, decantació, destil·lació, etc.), així com la determinació del punt de saturació en una dissolució de sal i aigua, i també l'elaboració de mescles per fer *Slime*, una substància llefiscosa molt de moda entre adolescents (figura 3, centre) (Fase 3: Avaluar model). A més, tenint en compte que l'any 2019 es celebrava l'Any Internacional de la Taula Periòdica dels Elements Químics, les activitats sobre separació de mescles es van intercalar amb altres activitats per conèixer i comprendre la Taula Periòdica i els seus elements, que els feia replantejar-se algunes idees (Fase 4: Revisar model). Els coneixements construïts i estructurats en forma d'esquema elaborat conjuntament amb tota la classe (Fase 5: Consensuar model) havien d'aplicar-se en nous contextos, com ara l'explicació del funcionament d'una salina i una planta dessaladora d'aigua (Figura 3, dreta) (Fase 6: Aplicar model).



Figura 3. Esquerra: Activitat de reflexió inicial sobre l'estructura submicroscòpica de les mescles fent servir una analogia amb sèmola i cigrons. Centre: Comparació de les propietats físiques del Slime segons com s'ha realitzat la mescla. Dreta: Activitat d'aplicació de la separació de mescles en una salina.

Font: Elaboració pròpia.

Tal com es presenta en la seqüenciació de les activitats, les dues UD comptaven amb diferents moments on l'alumnat havia de revisar i comparar les seves idees inicials, moments considerats d'avaluació formativa. A més, al final de cadascuna havien de realitzar una prova escrita amb qüestions de raonament, que servia tant per la qualificació que rebia cada estudiant com per una

avaluació formativa en forma de feedback individual, i també posant en comú les incorreccions fetes en aquestes proves per tal de corregir-les.

3.3 Instruments de recollida de dades

En aquestes dues proves escrites realitzades al final de cada UD es van incloure dues preguntes similars, que no havien estat formulades explícitament en les seves respectives UD, però que suposaven demandes similars de descriure i raonar.

En la prova d'avaluació de la UD1 «Els canvis d'estat a la natura» es va incloure una pregunta que deia:

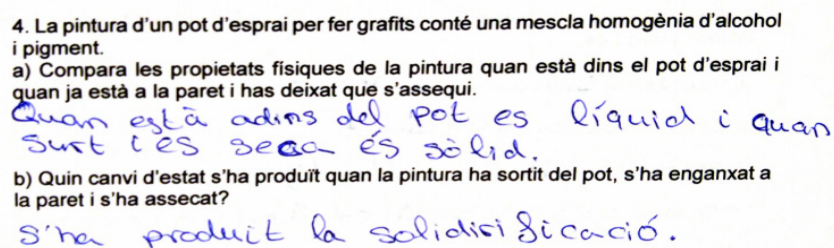
P1: *Quan plou, el terra es torna fangós, costa més caminar i ens podem embrutar més. a) Compara les propietats físiques d'un terra sec i un terra fangós. b) Digues quin canvi d'estat s'ha produït quan el fang s'ha assecat i quina relació té amb les propietats que has explicat abans.*

Al final de la UD2 «Mescles i substàncies pures», en la prova d'avaluació escrita, els estudiants van haver de respondre a al següent pregunta:

P2: *La pintura d'un pot d'esprai per fer grafitis conté una mescla homogènia d'alcohol i pigment. a) Compara les propietats físiques de la pintura quan està dins el pot d'esprai i quan ja està a la paret i has deixat que s'assequi. b) Explica quin canvi d'estat s'ha produït quan la pintura ha sortit del pot, s'ha enganxat a la paret i s'ha assecat.*

És important tenir en compte que cap de les dues preguntes havia estat tractada a classe amb anterioritat de forma explícita. És a dir, els estudiants no havien rebut una explicació formal de cap dels dos fenòmens, no podien haver memoritzat la resposta i després reproduït en la prova escrita, sinó que era la primera vegada que se'ls preguntava per aquesta qüestió. Es tractava, per tant, d'una demanda de tipus productiu i no reproductiu (Sanmartí, 2002), on els estudiants havien de mobilitzar els seus coneixements de manera creativa i activar les seves habilitats de pensament d'ordre superior (com comprendre, analitzar, explicar o valorar).

El professor va recollir les respostes escrites d'un total de 48 dels 62 estudiants, ja que als 14 estudiants que seguien un currículum adaptat no se'ls havia inclòs les preguntes P1 i P2 en les seves proves d'avaluació escrites. Les respostes es van escanejar per tal de tenir-les en format digital, tal com s'exemplifica en la Figura 4.



4. La pintura d'un pot d'esprai per fer grafitis conté una mescla homogènia d'alcohol i pigment.
a) Compara les propietats físiques de la pintura quan està dins el pot d'esprai i quan ja està a la paret i has deixat que s'assequi.
Quan està adins del pot es líquid i quan surt i es seca és sòlid.
b) Quin canvi d'estat s'ha produït quan la pintura ha sortit del pot, s'ha enganxat a la paret i s'ha assecat?
S'ha produït la solidificació.

Figura 4. Exemple de resposta escrita per un dels estudiants.

Font: Elaboració pròpia.

3.4 Sistema d’anàlisi de les dades

Les respostes a la P1 i a la P2 dels 49 estudiants participants (98 respostes en total) van ser classificades seguint una anàlisi qualitativa, és a dir, fent servir un sistema de categories que es va anar refinant a mesura que s’anàlizaven les dades, seguint així un procés inductiu. Com que l’objectiu era determinar el tipus de model en què es troba cada alumne/a en relació al model matèria (i per tant conèixer el grau de comprensió i domini del model matèria que té l’alumnat) tant al final de la UD1 com al final de la UD2, les categories definides van acabar configurant tres grans blocs, segons si l’alumne estaria situat per sobre o per sota del llindar de comprensió del model. Així, vam agrupar totes aquelles respostes que feien referència a la idea d’evaporació del líquid que conté la mescla (fang o pintura), ja que eren coherents amb el balanç energètic: s’assequen quan s’evaporen per l’energia que els transfereix el Sol, i per tant, el canvi d’estat ha de ser progressiu. En segon lloc, vam agrupar les respostes que feien referència a la idea de solidificació, i per tant, considerades per sota el llindar de comprensió. Finalment, vam agrupar com alternatives un ventall de respostes que no feien referència ni a la idea d’evaporació ni a la de solidificació, la naturalesa de les quals (a vegades de tipus tautològica, a vegades fent servir altres tipus de canvi d’estat, etc.) escapa de l’anàlisi d’aquest article.

Categoria	Exemple de resposta a P1 (fang)	Exemple de resposta a P2 (pintura)
Evaporació (per sobre el llindar de comprensió del model matèria)	<i>El Sol ha escalfat el terra [fang] i les gotetes d’aigua que hi havia s’evaporen, al contrari que el terra, ja que el seu punt d’evaporació és diferent. Com que ara el terra no té aigua, es pot dir que està sec.</i>	<i>Dins el pot hi havia una mescla homogènia de sòlid i líquid, però al sortir del pot que l’alcohol s’ha evaporat es transforma en gas, a la paret només hi ha el pigment en estat sòlid.</i>
Solidificació (per sota el llindar de comprensió del model matèria)	<i>Les partícules del líquid [fang] al estar exposades al sol i a l’aire s’ordenen i s’enganxen i es torna sòlid</i>	<i>Quan està a dins del pot és líquid i quan surt es seca i és sòlid. S’ha produït una solidificació.</i>
Alternatives (no fa referència ni a evaporació ni a solidificació)	<i>[Quan el fang s’asseca] es produeix una sublimació inversa.</i>	<i>Com la paret és sòlida i la pintura es torna una propietat seva, la pintura també és sòlida.</i>

Taula 2. Categories definides per classificar les respostes dels estudiants.
Font: Elaboració pròpia.

4. Discussió dels resultats

En la taula 3 apareix representat el nombre d’estudiants que se situen en cadascuna de les categories definides anteriorment, per cadascuna de les dues preguntes P1 i P2. Les columnes «n» representen el nombre d’estudiants que se situen en cada categoria dins de cadascun dels tres subgrups (segons el nivell de competència científica: 8 estudiants molt competents, 22 mitjanament competents i 19 poc competents) que hem definit anteriorment (veure secció Descripció dels participants). Les columnes «%» representen el percentatge d’estudiants que se situen en cada categoria respecte el

conjunt d'estudiants participant dins de cadascun dels tres subgrups. Els resultats d'aquesta taula també es mostren en forma de gràfica en la Figura 5.

Categoria	Molt competents (8 estudiants)				Mitjanament competents (22 estudiants)				Poc competents (19 estudiants)				Total participants (49 estudiants)			
	P1 (fang)		P2 (pintura)		P1 (fang)		P2 (pintura)		P1 (fang)		P2 (pintura)		P1 (fang)		P2 (pintura)	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Evaporació	6	75%	6	75%	3	14%	13	59%	1	5%	3	16%	10	20%	22	45%
Solidificació	2	25%	1	13%	14	64%	5	23%	12	63%	14	74%	28	57%	20	41%
Alternativa	0	0%	1	13%	5	23%	4	18%	6	32%	2	11%	11	22%	7	14%
Total	8		8		22		22		19		19		49		49	

Taula 3. Nombre total d'estudiants (i percentatge) per cadascuna de les categories en cadascuna de les dues preguntes P1 i P2 i per cadascun dels subgrups d'estudiants segons nivell de competència científica. Font: Elaboració pròpia.

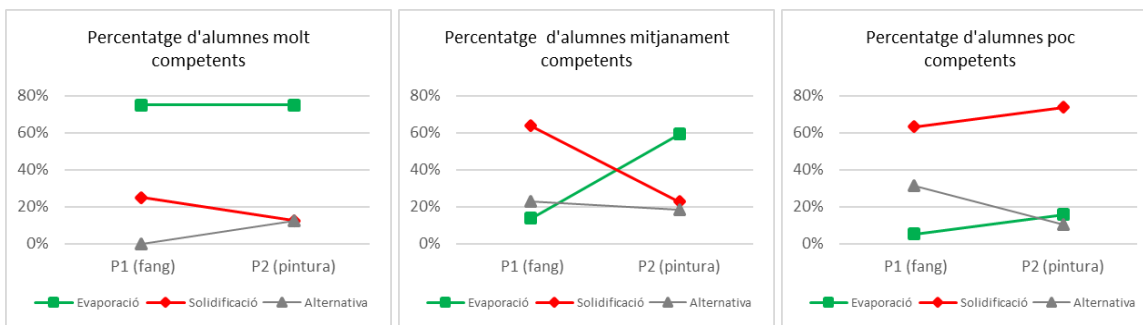


Figura 5. Representació del percentatge d'alumnes en cada categoria respecte el total de respostes de cada subgrup d'alumnes. Font: Elaboració pròpia.

La tendència que mostra la taula 4, i que també s'ha representat en forma de gràfic en la figura 5, és un canvi positiu en la qualitat de les respostes, però que se situa especialment en aquells estudiants que, al llarg del curs, tenien un nivell mitjà de competència científica, la meitat dels quals han passat de fer servir una resposta de categoria «solidificació» a P1, a fer-ne servir una de categoria «evaporació» a P2. Podem dir, per tant, que aquest subgrup de forma majoritàriament aconseguixen superar en lllindar de comprensió del model matèria en el canvi de la UD1 a la UD2 (passen de 3 (14%) a 13 (59%)). El grup d'estudiants molt competents científicament no mostren cap evolució, ja que al respondre P1 ja se situaven per sobre del lllindar de comprensió definit per Viennot i Décamp (2016), i per tant, no han necessitat la UD2 per fer progressar el seu model. Malauradament, en el subgrup d'alumnes menys competents científicament, no observem un efecte positiu de les UD1 i UD2 en la progressió dels seus models, ja que en la seva majoria acaben la seqüència didàctica sense haver superat el lllindar de comprensió esperat (només ho assolixen 3 (16%), mentre que 12 (63%) i 6 (32%) donen respostes de solidificació i alternatives,

respectivament). Fins i tot observem en aquest tercer subgrup que el nombre d'estudiants que parlen de solidificació augmenta lleugerament al final de la UD2 respecte la UD1 (de 12 (63%) a 14 (74%) estudiants), cosa que possiblement s'explica pel fet que al finalitzar la UD1 encara confonien els noms dels canvis d'estat.

Aquests resultats obtinguts ens indiquen que ser capaç d'usar de manera coherent i crítica certes idees macroscòpiques del model matèria (com és identificar la naturalesa complexa d'una substància que està experimentant un canvi, i reconèixer el canvi d'estat en una de les substàncies simples que componen la mescla) per fer explicacions de fenòmens quotidians és molt més difícil que el que podríem esperar *a priori*. Hem vist com, malgrat la inclusió de moltes activitats especialment adreçades a l'alumnat amb més dificultats, a través del diàleg, l'experimentació i la manipulació de representacions externes del model matèria, fer progressar els models del conjunt de la classe és extremadament complicat. A més, també cal tenir en compte que la resposta correcta a la pregunta P1 (fang) va ser explícitament abordada en la resolució conjunta de la prova escrita que es va fer al final de la UD1 en forma de feedback, i per tant, que aquest feedback sembla ser útil pel subgrup d'alumnat mitjanament competent, però no útil per l'alumnat menys competent, com a mínim amb el format amb que es va plantejar.

En paral·lel a la tendència que mostren aquests resultats, és interessant analitzar alguns casos que, malgrat no trobar-se encara al llinar de comprensió, sí que s'hi aproximen, o bé fan servir alguns conceptes que s'hi acosten. Entendre aquests casos ens pot donar pistes de quin és el camí que segueixen els estudiants per arribar a raonar perquè un assecatge implica l'evaporació del líquid que conté la substància complexa (fang i pintura), i per tant, poder ajudar-los a progressar. L'exemple de la figura 6 és el d'un estudiant que se situa per sota del llinar de comprensió, però que al final de la UD1 ja comença a fer servir el raonament «Fang = líquid + sòlid», és a dir, comença a tenir una primera idea de substàncies complexes, però sense ser encara capaç de relacionar-ho amb els canvis d'estat («les partícules del líquid a l'estar exposades al Sol i a l'aire s'ordenen i s'enganxen, es torna sòlid»).

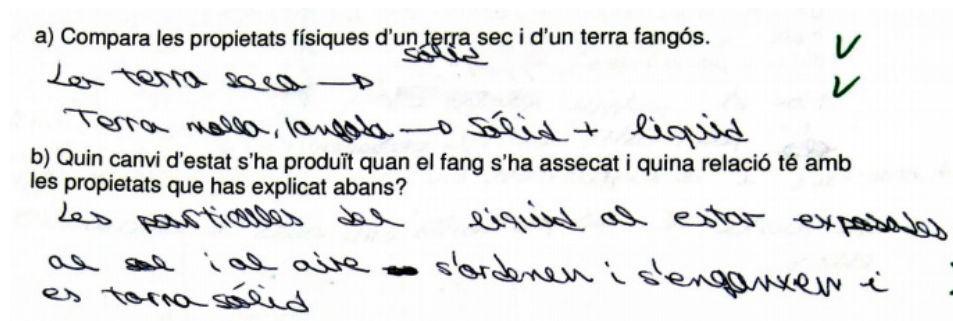


Figura 6. Exemple de resposta a P1 d'un estudiant situat a la categoria «solidificació». Font: Elaboració pròpia.

També és interessant el cas de l'estudiant de la Figura 7, que si bé està situat en la categoria «solidificació» al final de la UD2, es podria considerar un exemple molt il·lustratiu de com un alumne es pot trobar just en el llinar de comprensió, ja que està fent un trànsit entre una

reproducció acrítica de les idees del model matèria (on no hi ha coherència/correspondència entre el canvi d'estat proposat i la transferència energètica) i una comprensió crítica i completa d'aquest. Aquest estudiant encara no és capaç d'explicar que la pintura està composta per diferents substàncies en diferents estats d'agregació, però fa servir la expressió «no em quadra» quan es refereix al canvi d'estat que ell expressa perquè caldria que la pintura es refrigérés, cosa que és evident que no passa perquè s'ha «assecat».

4. La pintura d'un pot d'esprai per fer grafitos conté una mescla homogènia d'alcohol i pigment.

a) Compara les propietats físiques de la pintura quan està dins el pot d'esprai i quan ja està a la paret i has deixat que s'assequi.

Es fa de líquid a sòlid.

b) Quin canvi d'estat s'ha produït quan la pintura ha sortit del pot, s'ha enganxat a la paret i s'ha assecat?

NO em quadra perquè si passéssim de líquid a sòlid seria refrigeració i la pintura no s'ha refrigerat la pintura s'ha assecat sobre la paret.

Figura 7. Exemple de resposta a P2 d'un estudiant situat a la categoria «solidificació» però que expressa una contradicció que mostra que s'aproxima al llinar de comprensió esperat. Font: Elaboració pròpia..

Considerem aquest cas com un exemple representatiu del camí que es pot fer per avançar o fer el salt d'un estadi acrític, per sota del llinar de comprensió, a un estadi crític, per sobre del llinar de comprensió. Aquest és un camí que ha de passar per un qüestionament, identificant allò que «no pot ser», allò que és incoherent, és a dir, aquelles idees del model que no corresponen amb allò que observem (per exemple, que no es pot tractar d'un canvi de líquid a sòlid perquè la pintura no s'ha refrigerat). És a partir d'aquest qüestionament crític i profund del propi model, en base al fenomen observat, que l'alumnat podrà ser capaç de fer el salt per sobre del llinar de comprensió i assolir un model més complex, científic i complet.

Conclusions, limitacions i implicacions didàctiques

La transposició didàctica del model cinètic-molecular aplicada a l'estat d'agregació de les substàncies pures (propietats de sòlid, líquid i gas) és molt comuna a l'ensenyament de les ciències, però té diferents limitacions, ja que d'una banda existeixen concepcions espontànies molt arrelades sobre l'estat d'alguns materials (Dove, 1998; Osborne i Cosgrove, 1983), i de l'altra, que entendre la contradicció entre els canvis d'estat aparents i el seu balanç energètic requereix assolir un llinar de comprensió del model (Viennot i Décamp, 2016), per sota del qual l'alumnat no identifica incongruències en fer servir aquest model.

Amb aquest article hem volgut defensar la importància d'integrar el que comunament s'anomenen continguts conceptuals de «canvis d'estat» i de «mescles», entenent que són dues transposicions didàctiques del mateix model científic, i de basar-nos en progressions d'aprenentatges

on una idea es construeixi progressivament sobre d'una altra, posant els models mentals dels estudiants a prova per tal de revisar-los i sofisticar-los. Per fer-ho, hem dissenyat dues UD encadenades en forma de seqüència didàctica, i hem volgut incloure com a instrument de recollida de dades dues preguntes competencials a les quals els estudiants no s'havien enfrontat abans, i per tant, en cap cas hem mesurat la capacitat de retenir una informació determinada i reproduir-la, sinó de fer servir el model matèria de forma competencial, tal com exposa el currículum pel que fa a les competències d'àmbit científic-tecnològic, especialment la competència «Identificar i caracteritzar els sistemes físics i químics des de la perspectiva dels models, per comunicar i predir el comportament dels fenòmens naturals» (Departament d'Ensenyament, 2016:17).

Analitzant els resultats, hem observat que és possible fer evolucionar el model que fan servir part dels estudiants per explicar fenòmens quotidians a través d'activitats de modelització, però també hem observat que aquests resultats són molt irregulars, i depenen molt del nivell de competència científica de l'alumnat. De la mateixa manera com hem observat una influència molt positiva de la UD2 en el grup amb un nivell mitjà de competència científica, també hem observat importants limitacions identificades en el subgrup d'estudiants amb més dificultats per l'aprenentatge de les ciències, que no assoleix el llinar de comprensió del model matèria malgrat haver participat d'aquest procés d'aprenentatge basat en la modelització. En el dia a dia de l'aula és important tenir present aquesta enorme dificultat que mostren part dels estudiants per progressar els seus models, i no trivialitzar l'ensenyament del model matèria com si aquest fos simple o senzill, ni pensar que pel simple fet de fer bones explicacions, o posar bons exemples, això implicarà automàticament una millora en la comprensió del model del gruix de l'alumnat (especialment amb la limitació de temps que es pot dedicar en un centre educatiu a l'ensenyament i aprenentatge d'aquest contingut). Hem pogut veure que construir i comprendre profundament el model matèria, fins i tot en relació només als aspectes macroscòpics d'aquest, és una tasca difícil per l'alumnat de secundària, al qual li suposa un repte acabar de fer el salt per sobre del llinar de comprensió i dominar el model científic escolar de manera completa. Això és així perquè fer aquest salt suposa qüestionar-se de manera crítica i profunda les seves idees del model, buscant la coherència/correspondència entre el seu model i el principi causal/el fenomen observat (Aliberas, Izquierdo i Gutiérrez, 2013), la qual cosa és un tipus de raonament científic d'ordre superior, o com alguns autors l'han anomenat: *inquiry stance* (Kelly, 2013), raonament propi d'experts en modelització (Louca i Zacharia, 2015) o de pensament lent (Ogborn, 2012).

És justament per totes aquestes limitacions, i pel repte que suposa aconseguir aquest procés d'aprenentatge en l'alumnat, que creiem que al llarg de tota progressió d'aprenentatge és necessari que el docent jugui el paper de promoure una manera de raonar «científica» (indagativa / modelitzadora) i de pensament lent, que impliqui una visió auto- i co- crítica, i que qüestionï allò que «no encaixa» (la falta de coherència/correspondència entre el model i el principi causal/fenomen), per tal de fer saltar als alumnes d'un model per sota del llinar de comprensió a un model complet i en conseqüència, competencial. Aquesta proposta està en consonància amb d'altres fetes per diversos autors que parlen de la necessitat de introduir successives *dissonàncies cognitives* a l'aula, que provoquin la insatisfacció de l'alumnat respecte el seu model mitjançant

la comparació del model amb fonts externes (antiexemples, fets discrepans, analogies) o amb fonts internes (incoherència entre dues concepcions) (Clement, 2008; Garrido-Espeja, 2016; Nersessian, 2002).

Finalment, una darrera qüestió que sorgeix d'aquesta recerca és si modificar l'ordre de implementació de les dues unitats didàctiques (és a dir, començar a treballar les mescles i a continuació els canvis d'estat) podria tenir uns resultats més positius en relació al domini del model. Hem observat que una de les limitacions per ser capaç de comprendre i explicar adequadament els canvis d'estat és saber identificar la naturalesa complexa d'algunes substàncies (els núvols, el baf, el fang o la pintura). Començar construint la idea de mescla, ajudant a l'alumnat a identificar quins elements o substàncies poden estar formant una substància complexa, i continuar la seqüència treballant els canvis d'estat, tant de substàncies més simples com de les complexes, podria ajudar a l'alumnat a fer una progressió d'aprenentatge del model més coherent. També fóra interessant fer explícit el balanç de matèria, qualitativament, per fer pensar a l'alumnat «què hi ha abans i després», així com plantejar què passa si es defineix el sistema amb les dues fases (aigua i pigment), i què passa si el sistema és només el pigment, o només l'aigua, de manera que poguessin plantejar-se el canvi d'estat de cadascun dels components de la mescla i així ajudar-los a fer passos intermitjos per arribar a superar el llindar de comprensió d'aquest model. Esperem en el futur poder respondre a aquesta pregunta amb noves investigacions.

Agraïments

Volem mostrar el nostre agraïment al grup de recerca ACELEC (2017SGR1399), al projecte ESPIGA (PGC2018-096581-B-C21) i a l'alumnat i professorat del INS Pau Vila de Sabadell que ha col·laborat en la recerca.

Referències bibliogràfiques

- Achér, A., Arcà, M., i Sanmartí, N. (2007). Modelling as a teacher learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91(1), 398–418.
- Achér, A., i Reiser, B. J. (2010). Middle school students and teachers making sense of the modeling practice in their classrooms. En *Annual conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST)*. Philadelphia, PA.
- Aliberas, J., Izquierdo, M., i Gutierrez, R. (2013). El papel de la conversación didáctica en la modelización y progresión del conocimiento escolar: el caso de la hidrostática en ESO. En *IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 76–83).
- Baek, H., Schwarz, C., Chen, J., Hokayem, H., i Zhan, L. (2011). Engaging elementary students in scientific modeling: The MoDeLS 5th grade approach and findings. En M. S. Khine i I.

- M. Saleh (Eds.), *Models and modeling. Cognitive tools for science enquiry* (pp. 195-218). Dordrecht: Springer.
- Clement, J. J. (2008). Student/Teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. En J. J. Clement i M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 11-22). Dordrecht: Springer.
- Couso, D., i Garrido-Espeja, A. (2017). Models and modelling in pre-service teacher education: Why we need both. En K. Hahl, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto i J. Lavonen (Eds.), *Cognitive and affective aspects in science education research. Selected Papers from the ESERA 2015 Conference* (pp. 245-261). Dordrecht: Springer.
- Crujeiras, B., i Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas. *Alambique*, 72, 12-19.
- Décamp, N., i Viennot, L. (2015). Co-development of conceptual understanding and critical attitude: Analyzing texts on radiocarbon dating. *International Journal of Science Education*, 37(12), 2038-2063.
- Departament d'Ensenyament (2016). Competències bàsiques de l'àmbit científicotecnològic. *Identificació i desplegament de l'educació secundària obligatòria. Generalitat de Catalunya*.
- Decret 187/2015 (2015), de 25 d'agost, d'Ordenació dels ensenyaments de l'educació secundària obligatòria. Departament d'Ensenyament. CVE-DOGC-A-15237051-2015.
- Dove, J. (1998). Alternative conceptions about weather. *School Science Review*, 79(289), 65-69.
- Garrido-Espeja, A. (2016). Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education*. Gosport, Hants, UK: Association for Science Education.
- Hernández, M. I., Couso, D., i Pintó, R. (2015). Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 356-377.
- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las «ciencias para todos» (ESO, nivel secundario). *Biografía*, 7(13), 69-85.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M., i Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias, núm extra*, 79-91.
- Izquierdo, M. (2013). School chemistry: A historical and philosophical approach. *Science and Education*, 22(7), 1633-1653.
- Jorba, J., i Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua: Propuestas didácticas para las áreas de ciencias de la naturaleza y matemáticas*. Madrid: CIDE-MEC.
- Kelly, G. J. (2013). Inquiry teaching and learning: Philosophical considerations. En Michael R. Matthews (Ed.), *Handbook of historical and philosophical studies in science education* (pp. 1363-1380). Pennsylvania State University: Springer.
- Kelly, G. J., i Chen, C. (1999). The sound of music: Constructing science as sociocultural practices

- through oral and written discourse. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 883–915.
- Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91(1), 877–905.
- López, V., Couso, D., Garrido, A., Grimalt-Alvaro, C., Simarro, C., Hernández, M. I., i Pintó, R. (2017). El papel de las TIC en la enseñanza de las ciencias en secundaria desde la perspectiva de la práctica científica. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 691-698.
- Louca, L. T., i Zacharia, Z. C. (2015). Examining learning through modeling in K-6 science education. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 192–215.
- Mans, C. (2018). *La química en la cocina. Una inmersión rápida*. Barcelona: Tibidabo Ediciones.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. En P. Carruthers, S. Stich, i M. Siegal (Eds.), *The cognitive basis of science* (pp. 133–153). Cambridge: Cambridge University Press.
- NRC. (2012). *A framework for K-12 science education. practices, crosscutting concepts and core ideas*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Ogborn, J. (2012). Curriculum development in physics: Not quite so fast! *Scientia in Educatione*, 3(2), 3–15.
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196.
- Osborne, R. J., i Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis Educación.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. a., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654.
- Smith, C. L., Wisser, M., Anderson, C. W., i Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic-molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective*, 4(1-2), 1–98.
- Smith, C. L., Wisser, M., i Carraher, D. W. (2010). Using a comparative, longitudinal study with upper elementary school students to test some assumptions of a learning progression for matter. Comunicació presentada a *National Association for Research on Science Teaching*. Philadelphia, PA.
- Soto, M., Couso, D., López, V., i Hernández, M. I. (2017). Promoviendo la apropiación del modelo de energía en estudiantes de 4º de ESO a través del diseño didáctico. *Ápice: Revista de Educación Científica*, 1(1), 90-106.
- Stevens, S. Y., Delgado, C., i Krajcik, J. S. (2009). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687–715.

- Talanquer, V. (2009). On cognitive constraints and learning progressions: The case of «structure of matter.» *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123–2136.
- Viennot, L. (2002). *Razonar en física: la contribución al sentido común*. Madrid: Antonio Machado.
- Viennot, L., i Décamp, N. (2016). Conceptual and critical development in student teachers: First steps towards an integrated comprehension of osmosis. *International Journal of Science Education*, 38(14), 2197-2219.