

EL CICLO DE MODELITZACIÓ COM A EINA D'ANÀLISI D'UNA UNITAT DIDÀCTICA SOBRE ENERGIA

Recepció: 20/09/2018 | Revisió: 30/01/2019 | Acceptació: 20/02/2019

Caterina SOLÉ

Universitat Autònoma de
Barcelona
Caterina.Sole@uab.cat

Maria Isabel HERNÁNDEZ

Universitat Autònoma de
Barcelona
mariaisabel.hernandez@uab.cat

Conxita MÁRQUEZ

Universitat Autònoma de
Barcelona
conxita.marquez@uab.cat

Resum: En aquesta recerca es reflexiona sobre com el cicle de modelització proposat per Couso i Garrido-Espeja (2017) per al disseny de seqüències didàctiques, pot servir per analitzar com una unitat didàctica tracta de promoure la modelització. La unitat didàctica escollida "Energia i emocions" correspon al model d'energia (transferència, conservació i degradació de l'energia), i s'emmarca dins de la proposta curricular 'Competències de pensament científic. Ciències 12-15'. Aquesta va ser dissenyada amb l'objectiu de promoure la modelització en un ensenyament contextualitzat. No obstant això, les maneres d'entendre la pràctica científica de modelització i de promoure aquesta a la classe de ciències són diverses. En aquest sentit, el cicle de modelització del nostre marc ha resultat una eina útil per analitzar, al voltant de les idees clau del model d'energia, cadascuna de les activitats proposades en el disseny de la unitat didàctica. Com a resultat de l'anàlisi realitzada hem evidenciat que la proposta didàctica conté un gran nombre d'activitats que promouen l'avaluació de les idees clau del model, facilitant l'obtenció de proves o aprofundint en l'exploració del fenomen. En canvi, no són tan freqüents les activitats d'estructuració d'idees dels estudiants ja que són escasses aquelles que incentiven l'expressió i consens d'un model final.

Paraules clau: models científics escolars; modelització; energia; educació secundària; disseny d'unitats didàctiques.

EL CICLO DE MODELIZACIÓN COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA SOBRE ENERGÍA

Resumen: En esta investigación se reflexiona sobre cómo el ciclo de modelización propuesto por Couso y Garrido-Espeja (2017) para el diseño de secuencias didácticas puede servir para analizar cómo una unidad didáctica trata de promover la modelización. La unidad didáctica escogida "Energía y emociones" corresponde al modelo de energía (transferencia, conservación y degradación de la energía), y se enmarca en la propuesta curricular 'Competencias de pensamiento científico. Ciencias 12-15'. Esta fue diseñada con el objetivo de promover la modelización en una enseñanza contextualizada. Sin embargo, existen diversos modos de entender la práctica científica de modelización y de promoverla en la clase de ciencias. En este sentido, el ciclo de modelización de nuestro marco ha resultado una herramienta útil para analizar, en torno a las ideas clave del modelo de energía, cada una de las actividades propuestas en el diseño de la unidad didáctica. Como resultado del análisis realizado hemos evidenciado que la propuesta didáctica contiene un gran número de actividades que promueven la evaluación de las ideas clave del modelo, facilitando la obtención de pruebas o profundizando en la exploración del fenómeno. En cambio, no son tan frecuentes las actividades de estructuración de ideas de los estudiantes ya que son escasas las que incentivan la expresión y el consenso de un modelo final.

Palabras clave: modelos científicos escolares; modelización; energía; educación secundaria; diseño de unidades didácticas.

THE MODELLING CYCLE AS AN INSTRUMENT TO ANALYSE A TEACHING SEQUENCE ON ENERGY

Abstract: In this research we reflect on how the modelling cycle proposed by Couso and Garrido-Espeja (2017) for the design of teaching sequences can be used to analyse how a teaching and learning sequence tries to promote modelling. The chosen teaching sequence "Energy and emotions" is addressed to the energy model (transfer, conservation and degradation of energy) and is part of a larger curricular project titled 'Scientific thinking competencies. Science 12-15'. This teaching and learning sequence was designed with the aim of promoting modelling in a contextualized teaching approach. However, there are several ways to conceptualise and promote modelling as a scientific practice in the science class. In this sense, the modelling cycle of our framework has been a useful tool for analysing the activities around key ideas of the energy model proposed in the design of the teaching and learning sequence. As a result of this analysis, we have found that the teaching sequence contains a large number of activities that promote the evaluation of key ideas of the model among students by obtaining further evidence or deepening in the exploration of the phenomena. Instead, activities promoting structuring ideas are not so frequent since there are few ones that motivate the expression and consensus of a final model.

Keywords: school scientific models; modelling; energy; secondary education; design of teaching sequences.

Introducció

Actualment, hi ha un ampli consens sobre la necessitat de què l'ensenyament de les ciències tingui en compte com es genera i valida el coneixement científic (Crujeiras i Jiménez-Aleixandre, 2012). La construcció d'aquest coneixement ha estat estudiada per nombrosos psicòlegs, historiadors i filòsofs de la ciència, arribant tots a una mateixa estructura de l'activitat científica (Osborne, 2014).

D'acord amb la classificació feta per Duschl i Grandy (2012), les pràctiques científiques, és a dir aquelles que involucren fer ciència són: la construcció de teories i models, la recollida i anàlisi de dades de les observacions i els experiments i la construcció d'arguments (conegudes com modelització, indagació i argumentació); afegint també una quarta pràctica referent a l'ús especialitzat de maneres de parlar, escriure i representar fenòmens.

Tot i que les activitats de la generació de la ciència erudita i de construcció de la ciència escolar són diferents, coincidim amb Osborne (2014), en què el marc de les pràctiques científiques pot ser útil per a l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències perquè serveix per imaginar noves realitats a l'aula de ciències, considerant-la com una comunitat generadora de coneixement científic "escolar".

Aquesta perspectiva per a l'ensenyament-aprenentatge de les ciències és completament compatible amb l'Activitat Científica Escolar (ACE) (Izquierdo, Espinet, García, Pujol i Sanmartí, 1999), tot i que aquesta està centrada en l'aprenentatge d'uns models científics escolars concrets (Izquierdo-Aymerich i Adúriz-Bravo, 2003), i per tant, més basada en la modelització que en les altres pràctiques esmentades anteriorment. Així doncs, des d'aquesta perspectiva, es considera que perquè l'alumnat construeixi alguna idea potent o "gran idea" de ciència o sobre ciència (Harlen, 2010), la modelització és la pràctica clau per a assolir-ho, encara que no es podrà arribar a la modelització sense la recollida i anàlisi de dades provinents d'observacions o experiments (indagació) ni sense avaluar proves i construir arguments (argumentació).

Tot i la rellevància de la modelització com a pràctica clau perquè l'alumnat construeixi "grans idees", hi ha dificultats per concretar què ha de passar a l'aula de ciències perquè l'alumnat s'involucri i participi en aquesta pràctica. Davant d'aquesta necessitat, diferents autors (Baek, Schwarz, Chen, Hokayem i Zhan, 2011; Schwarz *et al.*, 2009; Couso i Garrido-Espeja, 2017) han investigat sobre quins són els elements clau de la modelització, desenvolupant estratègies o instruments per materialitzar aquesta pràctica a les aules. De les diferents propostes existents, en aquest article ens focalitzem amb el cicle de modelització proposat per Couso i Garrido-Espeja (2017).

Sota aquest marc, com podem analitzar la modelització d'una proposta curricular donada? Quina és la mirada per observar com una proposta promou la modelització a l'aula? Per aprofundir en com promoure la modelització a l'aula de ciències i com el cicle de modelització pot servir per analitzar, i si s'escau, millorar una unitat didàctica des d'aquesta perspectiva, ens plantegem com a objectiu principal d'aquesta recerca caracteritzar les activitats d'una seqüència didàctica sobre energia des de la perspectiva de la modelització.

1. Marc teòric

1.1 Models científics i models científics escolars

Malgrat la rellevància de l'ús dels models en l'ensenyament de les ciències, trobem a la revisió de la literatura (Gutiérrez, 2014; Oh i Oh, 2011) un gran nombre de diferents significats per la paraula “model”. En el cas dels models científics, trobem que les seves funcions principals són descriure, explicar i predir fenòmens. A més a més, s'ha de tenir en compte que els models científics només reflecteixen un aspecte específic d'un sistema del món real, amb un grau de precisió limitat (Gutiérrez, 2014) i per tant no es poden presentar com una veritat literal. És comú que, tot i deixar clara la funció explicativa i predictiva dels models científics, diferents autors facin èmfasi en la idea de model científic com a representació física o computacional, de manera que entenen un model científic més com una maqueta que no com les idees teòriques subjacents (Garrido-Espeja, 2016). En el marc de la didàctica de les ciències, entenem que els models no són aquestes maquetes, sinó un conjunt d'enunciats simbòlics i abstractes que utilitzem per descriure, predir i explicar els fenòmens que el model modelitza.

Si volem que els nostres alumnes aprenguin uns continguts conceptuals en ciències que siguin coherents amb els models consensuats per la comunitat científica, estem d'acord amb la visió fortament influenciada per l'ACE, en concebre els models científics escolars (MCE) com versions escolars adequades dels models científics.

Aquests MCE no són molts conceptes sense relació entre ells, sinó que són un nombre petit de grans idees (Harlen, 2010), idees clau (NRC, 2012) o models teòrics (Izquierdo-Aymerich i Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo *et al.*, 1999). Els MCE hauran de ser pocs però claus, amb coherència entre ells, útils per comprendre i explicar diferents fenòmens i s'hauran d'anar construint i sofisticant al llarg de l'escolaritat (Couso, 2014). Alguns exemples d'aquests MCE poden ser el model canvi químic, el model ésser viu o el model d'interaccions mecàniques.

1.2 Com modelitzar a l'aula de ciències?

Així doncs, el procés de construcció d'aquests models, tant els científics com els científics escolars, és el que es coneix com modelització (Schwarz *et al.*, 2009). Des d'aquesta perspectiva, pretenem involucrar a l'alumnat en aquest procés de construcció de models científics escolars, que és essencialment diferent d'ensenyar i aprendre models científics (Hernández, Couso i Pínto, 2015). La modelització a l'aula es desenvolupa fent, pensant i comunicant (Izquierdo, 2014) i implica que els alumnes participin activament d'una pràctica de construcció de models tot desenvolupant un tipus de raonament i discurs “científic”, que inclou aspectes com el diàleg crític, l'anàlisi de la correspondència entre el fenomen i el model o la discussió de models contradictoris (Garrido-Espeja, 2016). Aquesta visió concorda amb Schwarz i altres (2009) en què la modelització s'ha d'entendre com un procés, tan personal com social, d'anar donant sentit a les idees en desenvolupament. En aquest sentit, entenem que la modelització en sí mateixa és un objectiu d'aprenentatge i que és allò que volem que l'alumnat faci a l'aula de ciències, amb

l'objectiu de que, mitjançant recurrents cicles de generació, avaluació i modificació aproximïn el que ells pensen a una versió més d'acord amb el model científic, a partir de les dades obtingues del món exterior, o bé a partir del contrast amb altres models expressats per companys, pel professor/a o per una altra font o recurs (Hernández, Couso i Pintó, 2015).

Degut a la rellevància de la modelització en aquest marc de l'ACE, hi ha diferents autors que han fet propostes sobre quines han de ser les etapes d'un procés de modelització, independentment del model que es vulgui construir. Schwarz i altres (2009) proposen una classificació de les activitats que conformen aquest procés, sent: exploració del fenomen que necessita un model per ser explicat, construcció del model, posada a prova del model empírica o conceptualment, avaluació del model, revisió del model i ús del model per explicar i predir.

Basat en la proposta de Schwarz *et al.* (2009) i en la de Baek *et al.* (2011), trobem un intent més actual en la proposta de Couso i Garrido-Espeja (2017) per intentar operativitzar el procés de modelització que es mostra a la Figura 1. A diferència d'altres propostes, en aquest cicle es separa l'objectiu didàctic, és a dir, l'activitat científica escolar que volem promoure en l'alumnat, de la seqüència instruccional, és a dir, l'activitat que dissenyem per tal d'assolir aquest objectiu.

Les fases plantejades en aquest cicle de modelització es proposen per a cadascuna de les idees clau del model que es vol construir. Tot i que es presenten linealment, cal dir que es poden donar subcicles d'avaluació i revisió del model per sofisticar la idea clau que es vol construir. D'altra banda, no és necessari que es segueixin totes les fases del cicle de modelització, per exemple, generalment la fase 1 de presentació del fenomen i la fase 6 de transferència del model a un nou fenomen es duren a terme pel conjunt del model i no per cada idea clau.

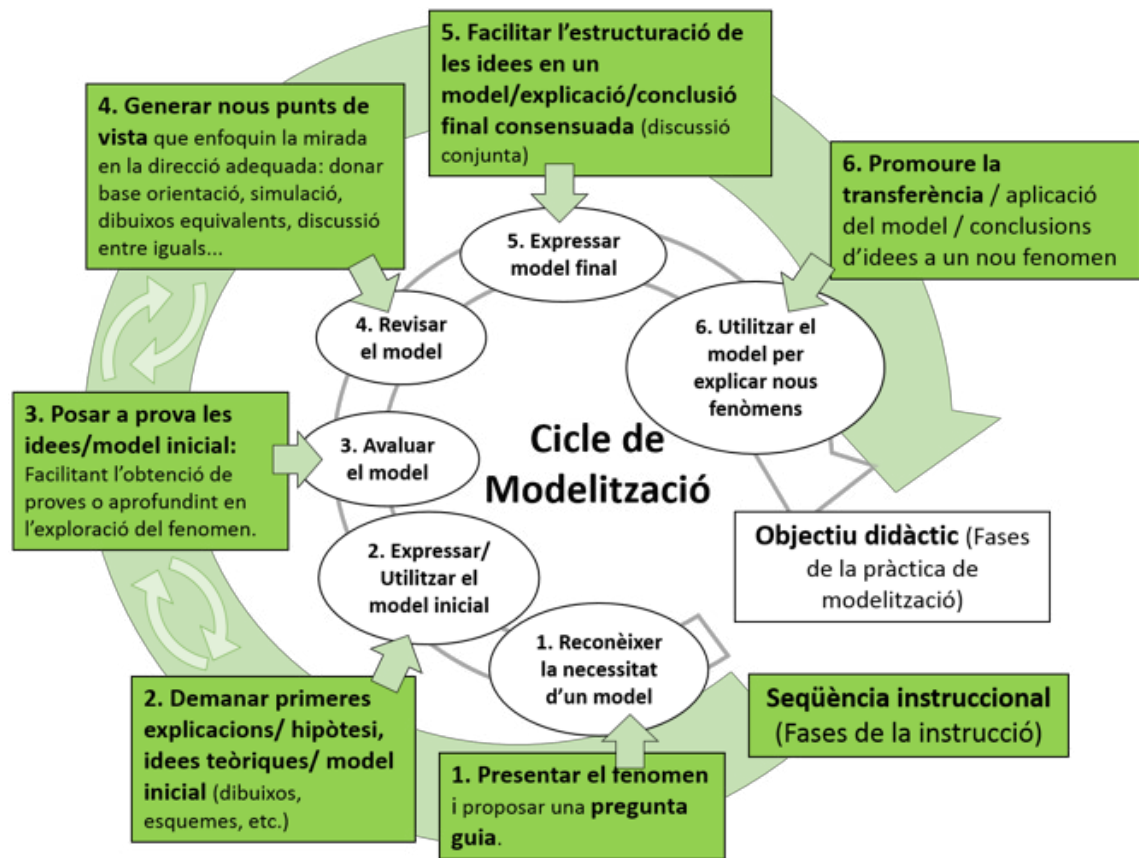


Figura 1. Cicle de modelització proposat per Couso i Garrido-Espeja (2017) en el que es basa aquesta recerca.

1.3 Modelitzant l'energia

El model científic de l'energia és possiblement un dels models més centrals i importants de la ciència i la tecnologia. L'energia, i els seus conceptes relacionats (*energy-related concepts*), - conservació, degradació i transferència - proposats per Ogborn (1986) s'utilitzen per explicar múltiples contextos i fenòmens del món. Poder fer servir l'energia en tants escenaris la fa un concepte clau per poder decidir i actuar sobre el nostre entorn. En aquest sentit, estem d'acord amb Soto, Couso, López i Hernández (2017) en què mirar el món a través de l'energia ajuda a construir un pensament crític i responsable i tenir eines per discutir, opinar i actuar sobre qüestions socialment rellevants, és a dir, ser competents científicament. De la mateixa manera que en la ciència professional, en la ciència escolar el model energia apareix de forma transversal en tots els cursos, tant per parlar del moviment, el canvi químic, l'electricitat, els éssers vius, els processos geològics, etc. (López i Pintó, 2012).

Tot i no haver-hi una manera consensuada d'afrontar l'ensenyament de l'energia (Millar, 2005), compartim la proposta de Soto i altres (2017) sobre les quatre idees clau que defineixen la mirada energètica als fenòmens:

- **L'energia com a estat.** L'energia és una funció d'estat dels sistemes, és a dir, associem energia a les coses en funció de com estan. Ja que només té sentit definir un estat respecte d'un canvi o d'un sistema de referència, no mesurem l'energia absoluta dels sistemes sinó els canvis d'energia que es produeixen en ells quan canvia el seu estat.
- **Transferència d'energia.** Existeix transferència d'energia entre sistemes, o entre parts del sistema, associats als canvis que experimenten els sistemes o les seves parts, però aquesta transferència no és sempre igual: si intervenen forces que causen desplaçaments coherents la transferència és per treball, mentre que si intervenen cossos que inicialment es troben a diferents temperatures és per calor.
- **Conservació de l'energia.** L'energia es conserva en sistemes aïllats i es dissipa irremediablement als sistemes oberts.
- **Degradació de l'energia.** L'energia es degrada a mida que el sistema perd capacitat per generar nous canvis. Tot i haver-hi la mateixa, aquesta és cada vegada menys útil.

Tot i definir les quatre idees claus per a l'ensenyament de l'energia, hi ha nombrosos autors, com Pintó (2004), Neumann, Viering, Boone i Fischer (2013), López i Pintó (2012), que han escrit sobre les dificultats que hi ha en el seu ensenyament. Un dels motius que s'apunta és l'ambigüitat del terme energia, ja que s'utilitza molt en el llenguatge quotidià (Pintó, 2004) tant per parlar del concepte científic com no. Contínuament i a tot arreu sentim a parlar sobre l'energia: energia positiva o negativa, energies renovables, has de menjar per tenir energia, avui m'he despertat amb molta energia, etc. A més a més, el propi concepte d'energia és molt difícil de definir, en ciència s'utilitza en abstracte o com un concepte matemàtic (Millar, 2005). D'altra banda, sovint l'ensenyament de l'energia es centra en el principi de conservació de l'energia: "l'energia no es crea ni es destrueix, només es transforma". Aquest enunciat només és correcte en sistemes aïllats, de manera que la majoria de fenòmens quotidians no són conservatius i per tant, segons la nostra percepció l'energia no es conserva, sinó que es gasta (López i Pintó, 2012). Així doncs, el principi de conservació de l'energia com a eix central del seu ensenyament no aporta una visió que ens ajudi a entendre què passa al nostre voltant sense una discussió a fons sobre la degradació de l'energia.

Una altra dificultat que s'identifica és presentar l'energia com la causa dels canvis que es produeixen a la natura o, com ho anomena Ogborn (1986) 'the go of the things' (López i Pintó, 2012). L'energia no provoca els canvis d'estat espontanis, sinó que aquests venen donats per les pròpies diferències d'estat entre els sistemes/objectes i la tendència de la natura a homogeneïtzar aquestes diferències. Per exemple, la caiguda espontània d'un objecte no ve donada per l'energia potencial associada sinó per la diferència d'altura.

2. Metodologia de la recerca

2.1 El context d'estudi: "Energia i emocions"

La seqüència didàctica en la que es basa aquesta recerca forma part del projecte curricular 'Competències de pensament científic. Ciències 12-15'. En aquest, es proposen nou unitats didàctiques per a l'ensenyament obligatori de les ciències a secundària, de primer a tercer d'ESO, plantejades a partir d'una estratègia didàctica modelitzadora i un ensenyament contextualitzat (Aliberas, Izquierdo i Guitart, 2015). Sota la perspectiva de l'ACE, el projecte posa èmfasi en els 'fets del món interpretats' i no tant en les disciplines científiques, de manera que cada unitat didàctica d'aquest projecte curricular integra continguts propis de diferents disciplines científiques (com la física i la biologia, o la biologia i la química, etc.).

La seqüència didàctica en la que es centra aquest treball es titula "Energia i emocions", i s'adreça a segon d'ESO, referent al model energia i contextualitzada mitjançant el cas de les muntanyes russes. En aquesta unitat didàctica es desenvolupen quatre idees claus sobre l'energia, corresponents a quatre blocs diferenciats dins de la unitat:

1. Associem energia als cossos en funció de com estan respecte a un canvi o un sistema de referència.
2. Només hi ha dos tipus d'energia, la cinètica i la potencial, depenent de si aquesta està associada a l'estat de moviment d'un sistema o cos o a la seva configuració.
3. Sempre es perd capacitat de generar nous canvis perquè l'energia es degrada.
4. En els canvis d'estat hi ha transferència d'energia mitjançant calor o treball.

Per treballar aquestes idees, la unitat didàctica es divideix en quatre blocs diferents, tot i que relacionats, amb un total de 38 activitats.

2.2 Recollida i anàlisi de dades

La recollida de dades s'ha dut a terme a partir dels enunciats de les activitats proposades per a l'alumnat, tenint accés al dossier complet amb totes les explicacions i tasques demanades.

Per analitzar aquesta UD sota la perspectiva de la modelització, ens hem centrat en la proposta del cicle de modelització de Couso i Garrido-Espeja (2017), classificant cadascuna de les activitats plantejades segons dos criteris: a quina fase del cicle de modelització correspon i quina idea clau busca construir. Per tal de validar aquesta anàlisi de dades es va dur a terme un procés de revisió per experts. Inicialment es va realitzar una primera classificació de cadascuna de les activitats sota els dos criteris esmentats anteriorment. A partir d'aquesta classificació base, es van dur a terme diferents sessions de revisió on les autores van discutir sobre les idees claus plantejades a la UD i la correspondència entre aquestes i les activitats proposades, i d'altra banda, a quina fase del cicle de modelització corresponia cadascuna de les activitats, arribant finalment a un consens sobre l'estructura i la seqüència de les activitats de la UD.

A la Taula 1 es mostren alguns exemples de la classificació de les activitats relacionades amb la primera idea clau que es desenvolupa a la UD: associar energia als cossos en funció de com estan respecte a un canvi o un sistema de referència.

Seqüència instruccional (Fases del cicle de modelització)	Exemples d'activitats de la UD
1. Presentació d'un fenomen quotidià i el plantejament d'una pregunta guia que requereixi d'una explicació.	Lectura d'un diàleg on es planteja una pregunta: es podria construir una muntanya russa al pati de l'escola?
2. Demanar l'expressió explícita del model inicial (elaboració de dibuixos,...) o utilitzar el model inicial implícit (elaboració d'hipòtesis, primeres explicacions,...)	Es proposa descriure diferents tipus de muntanyes russes i explicar què les fa funcionar.
3. Posar a prova el model facilitant l'obtenció de proves o aprofundint en l'exploració del fenomen.	Es proposa dissenyar i construir una muntanya russa, amb un tub i una bala, de manera que la bala sigui capaç d'arribar al punt final. Es demana descriure i explicar què creuen que fa moure la bala.
4. Generar i/o aportar nous punts de vista o informació teòrica aportant la visió experta (simulació, expressions sofisticades del model,...) o afavorint la comparació d'idees equivalents (discussió entre iguals, exemplificació d'idees,...).	A partir d'informació teòrica aportada, es demana a l'alumnat classificar les diferents etapes del moviment.
5. Facilitar l'estructuració de les idees individuals en un model final consensuat i compartir amb l'alumnat el Model Científic Escolar.	Es demana a l'alumnat escriure un resum per algun company/a que no hagi pogut venir a l'institut sobre els tipus de canvis.
6. Promoure la transferència per aplicar el model a noves situacions o fenòmens.	Es demana identificar i explicar els diferents canvis produïts en el cas d'un motor que mou un turbina.

Taula 1. Descripció de les fases del cicle de modelització i un exemple corresponent a una activitat de la unitat didàctica analitzada. Font: pròpia.

3. Resultats

A la Figura 2 es mostra com s'ajusten, per a cadascuna de les idees clau, les diferents activitats a les diferents fases del cicle de modelització. En color taronja es troba la numeració de les activitats de la unitat didàctica associades a cada fase del cicle de modelització, assenyalant així en verd aquelles fases en què hi són presents, i en gris aquelles que no consten a les activitats de l'alumnat.

Solé, C., Hernández, M. I., i Márquez, C. (2019). El cicle de modelització com a eina d'anàlisi d'una unitat didàctica sobre energia. *Didacticae*, 5, 43-56.

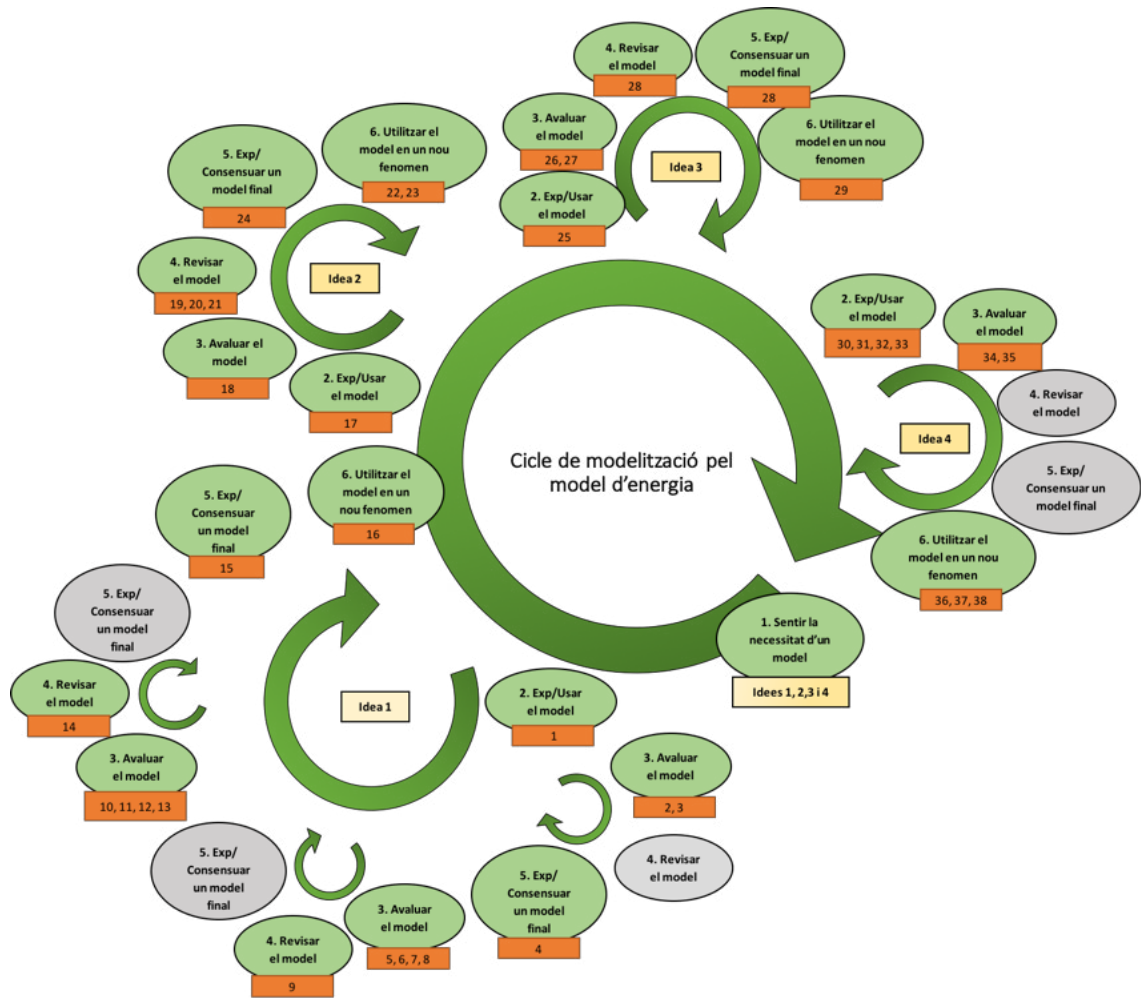


Figura 2. Representació del cicle de modelització aplicat a la unitat didàctica, "Energia i emocions" del projecte curricular 'Ciències 12-15'. Font: pròpia.

La unitat didàctica analitzada s'inicia a partir d'un text d'una conversa entre un grup d'amics on es planteja si es podria construir una muntanya russa al pati de l'escola i si "costaria energia" moure la vagoneta. Amb aquest text, s'introdueix el fenomen i es proposa una pregunta inicial que requereix una explicació, de manera que globalment per les quatre idees clau es fa sentir als alumnes la necessitat d'un model, el que correspon a la primera fase del cicle de modelització proposat.

Per a la primera idea clau, relacionada amb associar energia als cossos en funció de com estan respecte a un canvi o un sistema de referència, trobem una primera activitat per explicitar el seu model inicial on es proposa observar i descriure diferents muntanyes russes i dir què creuen que les fa funcionar.

Posteriorment trobem tres subcicles d'avaluació i revisió de la primera idea clau, de manera que es va progressant en la idea que es vol construir, sofisticant la demanda que es fa a l'alumnat,

a partir de l'estudi d'una muntanya russa que ells mateixos han dissenyat i construït amb un tub i una bala. En el primer subcicle es demana descriure el moviment de la bala i què la fa moure en cada moment. En el segon subcicle es demana descriure el mateix moviment a partir de les variables involucrades, velocitat i altura i distingir els canvis “que passen per sí sols” dels que “es necessita fer alguna cosa”. El tercer subcicle es basa en fer als alumnes discutir / reflexionar com provocar o com aprofitar aquests canvis. D'aquesta manera s'observa com a mesura que es va sofisticant la demanda s'intenta fer més complexa la idea.

Després d'aquestes seqüències d'activitats d'avaluació i revisió del model, l'activitat 15 té l'objectiu de consensuar la idea clau més sofisticada i l'activitat 16 transferir aquesta idea clau del model a un nou context. Si bé, per a cadascun dels subcicles podria haver-hi una activitat per consensuar el model, com es mostra en gris a l'esquema de la figura 3, l'activitat 15 al final d'aquests cicles ja persegueix aquest objectiu didàctic de manera global i és coherent amb el que apunta Garrido-Espeja (2016), que explicita que la fase 5 es pot donar per totes les idees del model en conjunt o per a cadascuna d'elles independentment. El fet que per a aquesta idea clau hi hagi diferents subcicles d'avaluació i revisió apunta que és una idea nova per l'alumnat i central del model energia que es vol construir.

Per a la idea 2, lligada als canvis en la velocitat i l'altura definint l'energia cinètica i la potencial, trobem activitats per cadascuna de les fases del cicle de modelització. Les activitats per construir aquesta idea giren al voltant d'un experiment on els alumnes han de deixar caure una bala d'acer sobre un bloc de plastilina des de diferents alçades o llançar-la amb un impuls inicial. Abans de realitzar l'experiment i la recollida de dades, es demana a l'alumnat que faci la seva predicció sobre què passarà quan deixin caure la bala, sent una activitat d'expressió del model inicial. Posteriorment, es proposa que avaluïn el seu model a partir de l'obtenció dels resultats i que revisin el model comparant les seves prediccions amb els resultats. Les últimes dues fases, però, es troben canviades d'ordre, de manera que primer hi ha dues activitats de transferència del model a un nou fenomen on es demana explicar la variació d'energia potencial i cinètica en una caiguda lliure, i posteriorment, hi ha una activitat per consensuar el model final on es proposa completar unes frases que relacionen les magnituds amb el tipus d'energia.

Per a la idea 3, sobre la pèrdua de capacitat per generar nous canvis deguda a la degradació de l'energia, trobem que hi ha com a mínim una activitat per cadascuna de les fases del cicle de modelització. Per expressar el model inicial es demana a l'alumnat què en pensa sobre un diàleg on uns nens comenten la possibilitat d'estalviar energia en la muntanya russa fent voltes sense parar. Posteriorment, s'utilitza una simulació que permet modificar diferents variables d'una pista de patinatge (fricció, coordenades). Es proposen diferents preguntes per analitzar què passa amb les energies i la fricció en una pista de gel, tot avaluant el model. La següent activitat que es proposa és una posada en comú de les respostes anteriors, facilitant la revisió del model a partir de comparar idees equivalents per acabar consensuant el model final. Al ser una activitat tan oberta, permet tenir aquestes dues fases del cicle de modelització, tot i que no s'expliciti quin objectiu didàctic és

el que persegueix. Malgrat que la idea de conservació i degradació és central per al model energia, considerem que en aquesta ocasió no es busca construir aquesta idea en profunditat, sinó oferir una primera aproximació.

Per a la idea 4, sobre la calor i el treball com a maneres de transferir l'energia, trobem que hi ha quatre activitats d'expressió del model inicial i dues activitats d'avaluació d'aquest model. Aquestes activitats van molt lligades a altres activitats que s'han fet anteriorment però plantegen noves maneres de mirar el mateix fenomen. Per exemple, en el cas de l'activitat 33, es planteja una qüestió que fins ara no s'havia tingut en compte, “com es transfereix l'energia a l'ambient?”. Per això, aquestes noves preguntes es considera que van destinades a afavorir que l'alumnat expressi / utilitzi el seu model inicial. Tot i plantejar ara la transferència d'energia, aquestes activitats no aprofundeixen en la construcció de la idea de calor i treball sinó que només apunten aquests mecanismes. D'aquesta manera, es pot observar que no hi ha cap activitat plantejada en termes de la fase de revisió i consens del model final, tot i haver tres activitats de la fase 6, transferència a nous fenòmens, molt descriptives. L'activitat 37, per exemple, proposa imaginar altres fenòmens on la transferència d'energia per calor sigui aprofitable, i l'última activitat de la unitat didàctica consisteix en explicar l'experiment realitzat anteriorment deixant caure una bala sobre plastilina en termes de treball i energia.

Finalment, en aquesta UD no hi ha cap activitat on es recuperi explícitament la pregunta que es plantejava inicialment sobre si es podria construir una muntanya russa al pati de l'escola i si “costaria energia” fer baixar la vagoneta o no.

Conclusions

Tenint en compte que les activitats del projecte curricular ‘Ciències 12-15’ no s'han dissenyat en base al cicle de modelització utilitzat en aquesta recerca, es pot observar com, en una primera aproximació la seqüència d'activitats, sí que promou un procés de modelització tal i com apunten els propis autors (Aliberas, Izquierdo i Guitart, 2015). Globalment, veiem que a la fase del cicle de modelització a la que se li dona més rellevància, pel número d'activitats que es presenten, és la fase 3 d'avaluació del model la que persegueix aprofundir en l'exploració del fenomen i facilitar l'obtenció de proves. En canvi, no són tan freqüents les activitats d'estructuració d'idees ja que són poques les activitats que promouen expressar i consensuar el model final.

En aquesta unitat didàctica hem pogut distingir diferents subcicles de modelització corresponents a les quatre idees clau que es buscaven desenvolupar. Aquestes idees clau corresponen a les idees descrites en el nostre marc teòric sobre com es pot definir la mirada energètica als fenòmens: estat, transferència, conservació i degradació. Tot i treballar les quatre idees clau del model energia, es pot observar com la idea d'estat i la idea de transferència es presenten en major profunditat, mitjançant un major nombre d'activitats i una progressió en les idees, mentre que no s'aprofundeix en les idees de conservació i degradació de l'energia.

En el cas de la primera idea clau que es treballa en aquesta seqüència didàctica, relacionada amb associar energia als cossos en funció de com estan respecte a un canvi o un sistema de referència, la tasca de relacionar les activitats amb l'objectiu didàctic que persegueix no ha estat fàcil, degut als diferents cicles d'avaluació-revisió del model en que es va sofisticant la idea clau. D'acord amb els referents descrits al marc teòric, les idees del model s'han d'anar sofisticant per tal d'assolir un MCE potent. Aquesta progressió de les idees tindrà lloc al llarg de l'escolaritat, però també pot tenir lloc, com veiem en aquest cas, dins de la mateixa seqüència didàctica a través de diferents subcicles d'avaluació i revisió de la mateixa idea clau.

En el cas de la segona idea clau, s'ha trobat que les dues últimes fases del cicle de modelització, corresponents a consensuar el model i transferir a un nou fenomen estan invertides, de manera que primer es transfereix el model a un nou fenomen i després es consensua el model final. En aquest cas, l'activitat de transferència possiblement acaba tenint un ús més proper al d'avaluació o revisió del model, ja que estan posant a prova i generant nous punts de vista del model perquè no s'ha consensuat un model final. D'altra banda, segons Brandsford, Brown i Coching (1999) transferir coneixement tindrà lloc majoritàriament quan l'alumne conegui i entengui els principis generals que poden ser aplicats a problemes en diferents contextos, d'aquesta manera, la transferència del model a un nou fenomen tindria lloc un cop s'hagi construït el model. Aquesta discussió sobre la conveniència de consensuar el model final per tancar les seqüències didàctiques o abans de transferir el model a un nou fenomen és un debat obert.

Cal comentar que aquesta caracterització s'ha fet en base als enunciats de les activitats de l'alumnat, de manera que pot donar-se el cas que els objectius dels dissenyadors no s'hagin especificat en aquestes activitats i que alguna d'elles persegueixi un objectiu didàctic diferent al que nosaltres hem assignat, sent aquesta una limitació d'aquesta recerca.

Aprofundir en l'objectiu d'aquesta recerca també ens permet fer alguns apunts sobre l'ús del cicle de modelització, proposat per Couso i Garrido-Espeja (2017), per analitzar com una seqüència didàctica tracta de promoure la modelització. D'aquesta manera, trobem en aquesta proposta una eina útil per definir la mirada des de la perspectiva de la modelització al voltant de les idees clau que es pretenen construir. Alhora, també li trobem potencialitats a aquest instrument per analitzar no només dissenys de seqüències didàctiques, sinó també les adaptacions que fa el professorat quan implementa una innovació com aquesta a les seves classes, o per exemple, quan transforma una unitat didàctica a un projecte en el marc de l'Aprenentatge Basat en Projectes.

Davant del repte que suposa buscar maneres d'involucrar l'alumnat en les pràctiques científiques, i concretament en la modelització a les aules de ciències, trobem en aquest cicle una estratègia privilegiada tant per al disseny de propostes d'aula com per a la seva anàlisi posterior o avaluació sota la perspectiva de la modelització.

Agraïments

Investigació finançada pel Ministerio de Economía y Competitividad (EDU2015-66643-C2-1-P) i la Generalitat de Catalunya (2017SGR1399).

Referències bibliogràfiques

- Aliberas, J., Izquierdo, M., i Guitart, F. (2015). El context per aprendre química en el projecte «Competències de pensament científic ESO 12-15». *Educació Química EduQ*, 20, 32–39.
- Baek H., Schwarz C., Chen J., Hokayem H., i Zhan L. (2011) Engaging Elementary Students in Scientific Modeling: The MoDeLS fifth-grade approach and findings. En M. Khine i I. Saleh (Eds.) *Models and modeling. Models and modeling in Science education*, vol. 6 (pp. 195-218). Netherlands, Dordrecht: Springer.
- Brandsford, J. D., Brown, A. L., i Coching, R. R. (1999). *How people learn. Brain, mind, experience and school*. National Academy Press: Washington, D.C. <https://doi.org/10.1016/B978-0-88415-752-6.50153-3>
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *26EDCE. Investigación y Transferencia Para Una Educación En Ciencias: Un Reto Emocionante*, 1–28.
- 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* (Springer, pp. 245–261).
- Crujeiras, B., i Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas. *Alambique*, 72, 12–19.
- Duschl, R. A., i Grandy, R. (2012). Two views about explicitly teaching nature of Science. *Science and Education*, 22(9), 2109–2139. doi: <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- 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, Bellaterra.
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencia conocen y necesitan conocer acerca de los modelos. Aproximaciones y alternativas. *Bio-Grafía*, 7(13), 37–66. doi: <https://doi.org/10.17227/20271034.13biografia37.66>
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of Science education* (Vol. 1). doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>
- Izquierdo-Aymerich, M., i Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12, 27–43. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>

- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las ciencias para todos. *Bio-Grafía*, 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, número extra*, 79–91.
- López, V., i Pintó, R. (2012). Ensenyar energia a secundària. *Recursos de Física*, 9, 1–9.
- Millar, R. (2005). Teaching about energy. *Physics Education*, 18(2), 55–56. doi: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/18/2/101>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education. Social Sciences*. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., i Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162–188. doi: <https://doi.org/10.1002/tea.21061>
- Ogborn, J. (1986). Energy and fuel: The meaning of “The Go of Things.” *School Science Review*, 68(242), 30–35.
- Oh, S. P., i Oh, S. J. (2011). What teachers of Science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130.
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 177–196.
- Pintó, R. (2004). ¿Qué modelo de energía deseamos que construyan nuestros estudiantes de secundaria? *Alambique*, 42, 41–54.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., i 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. doi: <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- 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.