



Modelitzem la transferència, degradació i conservació de l'energia amb gots d'aigua i una safata.

Víctor López Simó

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, UAB.

victor.lopez@uab.cat

Òscar López Simó

INS Arraona (Sabadell)

olopez1@xtec.cat

Resum • Es presenta una activitat de modelització de l'energia implementada en diferents centres de secundària durant els darrers anys. L'alumnat disposa de gots d'aigua (un dels quals ple) i una safata, que farà servir com a analogia per tal de representar les transferències d'energia que consideri tot abocant aigua d'un got a un altre. D'aquesta manera l'alumnat ha de discutir a quina configuració del sistema s'associa l'energia que guanya o perd, què provoca la transferència d'energia i quanta energia segueix sent útil després de cada canvi. L'activitat es pot adaptar a diferents nivells educatius, des de 2n d'ESO fins al Batxillerat, segons el grau de profunditat amb què es vulgui abordar.

Paraules clau • energia, modelització, analogia.

Modelling the transference, degradation, and conservation of energy with glasses of water and a tray.

Abstract • We present a modeling-based activity implemented in different secondary schools over the last years. In this activity, students have some glasses of water (one of which is full) and a flat tray, and they must represent the energy transfers they consider by pouring water from one glass to another. In this way, students should discuss which system configuration is associated with the gain or lose of energy, what causes the energy transfer, and how much energy is still useful at the end of each change.

Keywords • energy, modeling, analogy.

MODELS, MODELITZACIÓ I COMPETÈNCIA CIENTÍFICA

L'aprenentatge de les ciències al llarg de l'escolaritat obligatòria implica que l'alumnat construeixi progressivament els anomenats models científics escolars (Izquierdo *et al.*, 1999). És a dir, l'alumnat ha de ser capaç de constuir i fer servir conjunts de "regles de joc" per interpretar allò que observa, per entendre millor el món que l'envolta i poder prendre decisions basades en els coneixements i els raonaments de la ciència. De fet, dins de les competències de l'àmbit científic-tecnològic destaca la capacitat que ha d'assolir l'alumnat per descriure, explicar i predir els comportaments dels fenòmens del món natural (Departament d'Educació, 2016).

Construir aquests models científics escolars no és una tasca trivial. Sovint l'ensenyament tradicional de les ciències s'ha centrat en "mostrar" a l'alumnat els models (les teories, les lleis, les equacions, els diagrames...) i demanar a aquest que "estudiï", és a dir, que les memoritzi, les reproduïxi i, com a molt, les apliqui a la resolució de problemes ad-hoc. No obstant, dècades de recerca en educació científica apunten que per construir models cal, en primer lloc, partir de les idees prèvies de l'alumnat (els seus models mentals, sovint alternatius als científics), buscant situacions on l'alumnat hagi de posar a prova les seves idees. La literatura també apunta a diferents estratègies tant cognitives com discursives (les analogies, els models precursors, els fenòmens paradigmàtics, les simulacions virtuals, etc.) que poden ajudar en aquest procés de modelització. En els darrers anys també s'ha parlat molt del cicle de modelització com el que proposen Couso i Garrido-Espeja (2017), que aporta una forma d'orientar el disseny didàctic i l'acció dins de l'aula.

EL MODEL ENERGIA A FÍSICA I QUÍMICA

Dins dels models científics escolars claus que l'alumnat hauria de construir en la seva escolaritat hi ha el model d'energia, que junt amb altres grans models (el model matèria, el model d'esser viu, el model de Sol-Terra, etc.) configuren les anomenades "grans idees" de la ciència (Harlen, 2010). Quan es va publicar el currículum Decret

187/2015 es van definir un conjunt de 13 "Continguts Clau" que corresponen a aquests models científics escolars, i on el model energia ocupava la segona posició. Evidentment, a part de física i química, l'energia també apareix en molts altres indrets, de forma gairebé transversal (en els ecosistemes, en els canvis geològics interns i externs, en els processos tecnològics i industrials, en els conflictes socials i geopolítics, etc.), tal com s'exposa en el Currículum Operatiu de l'Energia (López-Simó i Couso, 2021). Ara bé, en aquest cas parlarem del model energia des de la física i química, que a grans trets, i de forma molt resumida, podriem estructurar en els següents enuncis, discutits a Soto *et al.* (2019):

1. Idea 1: L'energia d'un sistema està associada a la configuració del seu estat, és a dir, és una forma d'interpretar "com està" -i no pas a "com és"- un sistema físic. Quan varia l'estat d'un sistema (és a dir, quan un sistema guanya /perd temperatura, velocitat, càrrega elèctrica, altura, compressió,...), diem que el sistema guanya o perd energia.
2. Idea 2: Tot canvi en l'estat d'un sistema on es guanya o perd energia porta associat un altre canvi en un altre (part del) sistema, que experimenta un canvi d'energia invers. Aquest fet s'anomena transferència d'energia (ja que el que un ha guanyat és el que l'altre ha perdut), i pot donar-se o bé per treball (W) o per calor (Q). Parlem de treball quan intervien forces (mecàniques, elèctriques, magnètiques...) que provoquen desplaçaments, girs, estiraments, deformacions, etc. Parlem de calor quan intervien diferències de temperatura entre dos objectes o materials que provoquen escalfaments, refredaments, canvis d'estat, reaccions químiques, etc.
3. Idea 3: Tot i que la quantitat d'energia total es conserva quan un sistema físic està aïllat de l'entorn, en els canvis l'energia es degrada, perdent progressivament la capacitat de generar nous canvis. L'energia d'un sistema en cada canvi és menys útil, i només obtenint nova energia lliure de l'exterior es poden seguir produint canvis.

A partir d'aquestes tres idees és fàcil adonar-se que existeix una certa contradicció conceptual.

D'una banda, parlem de l'energia com una entitat abstracta, una mena d'atribut, que associem al "com estan les coses". Però per altra banda, acabem parlant de que l'energia "passa" d'un lloc a l'altre, inclús que "s'emmagatzema", com si d'un flux material es tractés. Per salvar aquesta contracció, fa molts anys que alguns didactes van proposar concebre l'energia com una entitat quasi-material, és a dir, que realment no té una naturalesa material (no és res que puguem veure, tocar...), però parlem d'ella com si ho fos per poder imaginar-nos-la millor (Duit, 1987).

LA MODELITZACIÓ DE L'ENERGIA A FÍSICA I QUÍMICA

Aquestes tres idees del model energia són molt útils per explicar una amplíssima varietat de fenòmens del món natural, social o tecnològic, com ara els processos meteorològics, les xarxes tròfiques en els ecosistemes, els moviments dels objectes, l'electricitat, la llum, el so, etc. Ara bé, com dèiem a l'inici, seria naïf pensar que ensenyar el model energia consisteix simplement a enunciar aquestes idees o demanar a l'alumne que les memoritzi i les repeteixi. Per tal que pugui contruir aquestes idees amb sentit, com a docents hem d'assumir que possiblement l'alumne parteixi d'idees sobre energia esponànies i intuïtives que sovint seran alternatives o contradictòries a les científiques (Doménech *et al.*, 2001). Per exemple, l'alumnat molt possiblement pensarà que les coses guanyen o perden energia per si soles, pensarà en l'energia com una mena de substància màgica brillant com la que apareix a la ficció o l'espiritualitat, o acabarà confonent energia amb altres magnituds físiques a les que a vegades associem energia (com la temperatura, l'enllaç químic...) o amb interaccions físiques (l'electricitat, les forces, les radiacions...).

Per tal de posar a prova i revisar les idees inicials de l'alumnat, convé enfrontar-los a situacions i fenòmens que convidin a discutir, argumentar, mesurar, comparar, etc. Per exemple, si pensem en un fenomen físic complex, convé separar o seccionar el fenomen en altres de més petits, de manera que en cada pas sigui relativament fàcil identificar l'emissor i el receptor d'energia (Soto *et al.*, 2019). També convé oferir a l'alumnat eines i

bastides que l'ajudin a poder organitzar les idees i anar apropiant-se d'elles de forma coherent i progressiva. L'ús de representacions externes amb les que l'alumnat pugui operar (dibuixos, gestos, manipulació d'objectes,...) tenen un gran potencial didàctic (Màrquez *et al.*, 2003), ja que permeten que l'alumne pugui expressar idees malgrat no disposi (encara) d'un vocabulari científic molt desenvolupat.

REPRESENTANT LES TRANSFERÈNCIES D'ENERGIA AMB GOTS D'AIGUA

Una activitat que pot ajudar a l'alumnat a expressar i revisar les seves idees sobre energia consisteix a dur a terme una representació de la cadena energètica fent servir gots d'aigua. És una activitat inspirada en el programa SPT11-14 del Insitute of Physics (Lawrence, 2007), i que en els darrers cursos ha estat implementada en diferents instituts de Sabadell, com ara l'INS Pau Vila (4t d'ESO i 1r de Batxillerat) i l'INS Jonqueres (4t d'ESO).

L'activitat consisteix a anar abocant aigua entre diferents gots, representant així les diferents transferències que conformen la cadena energètica que es vulgui treballar. Cada vegada que una certa quantitat d'aigua passa d'un recipient a un altre s'estarà representant una transferència d'energia particular d'una part del sistema a una altra, ja que hi ha un got que l'està perdent i un altre got que l'està guanyant (transferència d'energia), però la quantitat total d'aigua segueix essent la mateixa (conservació d'energia). A més, l'aigua que caigui fora dels gots representarà l'energia que, malgrat no desaparèixer del tot, deixa d'estar disponible (degradació d'energia).

Material necessari

Aquesta activitat només requereix d'alguns gots (a poder ser transparents, per visualitzar millor quanta aigua hi ha en cada got) i una safata de laboratori. L'activitat es pot fer amb aigua de l'aixeta, tot i que si es fa servir algun colorant serà més visual.

- Els gots representaran els objectes o els elements que tenen una configuració a la qual li associem una energia determinada. En

alguns casos això implicarà fer servir un got per cada objecte, però altres vegades caldrà fer servir dos o més gots per un mateix objecte, sempre depenent de quants canvis de configuració experimenti l'objecte. Per exemple, si volem representar una pilota que canvia d'altura, de velocitat i de temperatura al llarg d'un procés físic, convindria fer servir tres gots diferents, un per cadascuna d'aquestes magnituds físiques.

- L'aigua, representarà la quantitat d'energia que associem a cada element segons la seva configuració. Com hem dit abans, operarem amb l'energia com una substància "quasi-material" que passa d'un lloc a l'altre. Tot i les confusions que pugui generar (caldrà aclarir amb l'alumnat que es tracta d'una analogia), això permet als estudiants visualitzar fàcilment que, com més aigua té un got, més energia té l'element que representa aquell got.
- La safata representarà l'entorn, és a dir, aquells elements externs al sistema on l'energia es dissipa (l'aire, el terra, les parets...). Tota l'aigua que caigui a la safata serà irrecuperable.

Mecànica de l'activitat

Tot i que l'activitat es pugui plantejar de moltes maneres (individual o en grup, activitat molt oberta o molt tancada, dedicar-hi més o menys temps assolint diferents nivells de profunditat...), a grans trets la mecànica de l'activitat es pot resumir de la següent manera:

- En primer lloc l'alumne ha de triar un fenomen (o bé donar-li nosaltres com a docents), i seccionar-lo en passos concrets, tot preguntant-se quins canvis es donen en cada pas. D'aquesta manera, en cada canvi l'alumne ha d'identificar qui guanya i qui perd energia, pensant en com ha canviat la configuració de cada element del sistema. Això obliga a distingir entre estats (com estava abans i com està després?) i processos (què ha passat pel mig per tal de que estigui diferent?), cosa que no és gens trivial.
- A mesura que l'alumnat vagi identificant quines són les transferències d'energia que es donen en cada pas, pot anar jugant a abocar aigua

d'un got a un altre. Per fer-ho més visual pot fer petits dibuixos als gots, posar-hi post-its, o bé fer dibuixos directament sobre la safata.

- Finalment, cada vegada que consideri que s'està perdent energia (per fregament, per reprefredament amb l'aire de l'entorn, per un xoc...) haurà d'abocar l'aigua que representi aquesta energia perduda a la safata, de manera que no sigui recuperable.



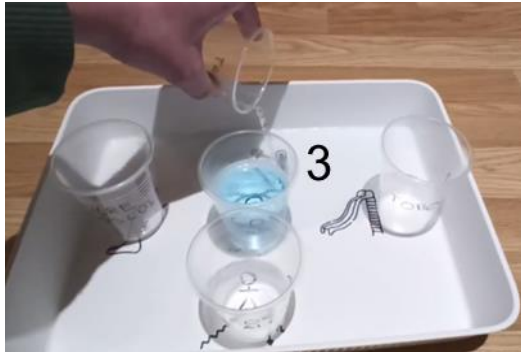

Veiem un exemple

Imaginem la següent situació: un infant es troba als peus de l'escala d'un tobogan. L'infant puja i seguidament baixa lliscant pel tobogan, fins que, de nou, queda aturat amb els peus a terra. Quines transferències d'energia s'han produït al llarg del procés? A la taula 1 es mostra l'explicació de l'activitat pas a pas.

DISCUSSIÓ DIDÀCTICA DE L'ACTIVITAT

En primer lloc, cal tenir en compte que es tracta d'una activitat molt senzilla pel que fa al procediment manipulatiu. Això té alguns avantatges, com ara que és fàcil de realitzar a l'aula, al laboratori o inclús a casa. També permet que l'alumnat pugui representar les transferències d'energia una vegada i una altra, fent-ho per torns, treballar en petits grups, etc. Ara bé, això també comporta alguns riscos, com ara que l'alumnat s'ho prengui com una activitat només per passar l'estona, o bé que simplement vagi repetint el que fan altres companys sense estar entenent què fa. I és que, com hem dit abans, l'activitat admet enfocaments molt diferents (molt oberts o molt tancats, molt superficials o molt profunds, etc.).

Per aquest motiu, creiem que és important com a docents triar bons fenòmens que ajudin a pensar en la transferència d'energia, és a dir, fenòmens on sigui fàcil per a l'alumnat pensar en l'estat de cada element del sistema en cada moment, on de forma intuïtiva l'alumnat pugui pensar si un objecte ha guanyat energia (es mou més ràpid, està més amunt, està més calent, està més comprimit elàsticament, està més carregat elèctricament, etc.) o bé l'ha perdut.

<p>Abans de pujar pel tobogan, imaginem que l'infant té una quantitat d'energia emmagatzemada a les seves cames (és a dir, l'infant té sucres que podrà cremar per moure els seus músculs). Podem dir que tota l'energia està concentrada en un sol got, que simbolitzarà aquesta energia interna (got 1).</p>	
<p>A mesura que l'infant puja per les escales, l'aigua del got 1 es va abocant al got que representarà l'altura del nen (got 2). Podem deixar una petita part d'aigua al got 1 que representi l'energia associada a l'escalfament de les cames (al fer esforç físic, el cos de l'infant s'ha escalfat una mica), però tard o d'hora aquesta miqueta d'aigua acabarà a la safata, ja que el cos de l'infant està en equilibri amb l'entorn.</p>	
<p>Un cop a dalt, l'infant començarà a baixar. Mentre ho faci, anirà perdent altura i guanyant velocitat, la qual es representarà amb el got 3. Però degut al fregament també s'escalfarà el cul de l'infant (got 4) i la superfície del tobogan (got 5), de manera que l'energia ara estarà repartida entre molts gots. Cada cop més dissipada!</p>	
<p>Quan arribi a baix del recorregut, l'infant picarà amb les cames contra el terra, provocant petites vibracions que es dissipin per tot arreu. L'aigua del got 3, que ha anat pujant mentre el nen baixava pel tobogan, passarà ara de cop a la safata, i tan sols quedaran uns dits d'aigua als gots 4 i 5, que al cap de pocs segons també acabarà abocada a la safata, representant així l'equilibri tèrmic. Malgrat la quantitat total d'aigua segueix essent la mateixa, ara tota roman a la safata, irrecuperable, representant així la degradació de l'energia. Per tornar a pujar al tobogan caldria aportar nova energia externa.</p>	



Taula 1. Exemple de l'activitat dels gots d'aigua pas a pas.

També convé que en aquests fenòmens tinguin una font d'energia inicial finita, associada a un magatzem finit. Per exemple, si pensem en una cadena energètica associada al funcionament d'un electrodomèstic, com ara una rentadora o un rentavaixelles, el got on hi ha l'energia inicial convindria que representés una bateria i no pas la xarxa de subministrament elèctric, ja que ajuda a pensar en una quantitat finita d'energia.

A part de triar bons fenòmens a modelitzar, també convé orientar la discussió entre l'alumnat aportant pistes, fent preguntes, usant amb taules, diagrames o qualsevol mena d'andamiatge, ajustant el nivell de la discussió a cada situació, per tal d'aconseguir que l'alumnat realment s'involucri en els raonaments i els arguments. A través d'aquest andamiatge, segons ens interressi, podem orientar la representació de les transferències d'energia en un sentit o un altre. Per exemple, si tornem al cas del tobogan, potser ens pot interessar estirar del fil de com han arribat les cames a tenir energia disponible, i per tant, entrar en els processos bioquímics i de nutrició. També ens pot interessar pensar de quines altres maneres es podria aprofitar l'energia potencial gravitatòria en comptes de dissipar-la per complet, i

per tant, endinsar-se en la comprensió de les centrals hidroelèctriques. També podríem pensar en com de ràpid passa l'energia d'un got a un altre i, per tant, orientar l'activitat cap a la idea de potència. Tot dependrà, com sempre, dels nostres objectius didàctics.

També podem ajustar el nivell de profunditat amb què volem treballar el model energia. Per exemple, si fem aquesta activitat als primers cursos de l'ESO seria convenient triar fenòmens molt simples, a poder ser mecànics, on només intervinguin 3 gots. A 4t d'ESO, en canvi, es poden plantejar fenòmens que combinin processos mecànics i elèctrics, així com radiacions. Tot i així, encara serà comú veure estudiants que confonen entitats materials i abstractes, o bé tipus d'energia amb mecanismes de transferència d'energia (treball i calor), com s'exemplifica a la taula 2. En el cas de batxillerat, podria semblar que es una activitat infantil i sense gaire rigor, ja que s'allunya de la tradicional concepció dels exercicis matematitzats de física, però permet a l'alumnat comprendre la diferència entre treball i calor, que sovint comporta confusions (Soto *et al.*, 2017).

<p>En aquesta representació alguns gots representen objectes ("placa solar", "edifici"...), mentre que d'altres representen tipus d'energia ("energia tèrmica").</p>	
<p>En aquesta representació la majoria de gots representen tipus d'energia ("química", "cinètica", "potencial", "tèrmica"...), però també hi ha un got que representa una transferència d'energia ("calor").</p>	

Taula 2. Exemples de confusions identificades en l'alumnat.

Finalment, un altre aspecte a tenir en compte a l'hora d'ajustar l'activitat és com integrar-la dins d'unitats didàctiques o projectes més extensos. Per exemple, podem plantejar l'activitat com a exploració d'idees prèvies, assumint que l'objectiu no serà que l'alumnat faci servir correctament el model energia, sinó que se li generin dubtes i contradiccions, que al final del seu procés d'aprenentatge podrà revisar. També es pot plantejar com a activitat d'estructuració, o bé com una aplicació de les idees sobre energia apreses al llarg del procés.

BIBLIOGRAFIA

- 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).
- Departament d'Educació (2016). Competències bàsiques de l'àmbit científicotecnològic. Disponible a: <https://educacio.gencat.cat/web/.content/home/departament/publicacions/colleccions/competencies-basiques/eso/ambit-cientificotecnologic.pdf>
- Doménech, J. L., Gil-Pérez, D., Martínez-Torregrosa, J., Gras, A., Guisasola, G., i Salinas, J. (2001). La enseñanza de la energía en la educación secundaria. Un análisis crítico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 14(1), 45-60.
- Duit, R. (1987). Should energy be illustrated as something quasi-material?. *International Journal of Science Education*, 9(2), 139-145.
- Harlen, W. (2010). *Principios y Grandes Ideas de la Educación en ciencias. Association for Science Education*.
- 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*, 17(1), 45-59.
- Lawrence, I. (2007). Teaching energy: thoughts from the SPT11–14 project. *Physics Education*, 42(4), 402.
- López-Simó, V., i Couso, D. (2022). Un currículum operativo con 10 ideas clave sobre energía para construir a lo largo de la escolaridad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3).
- Márquez, C., Izquierdo, M., i Espinet, M. (2003). Comunicación multimodal en la clase de ciencias: El ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 371-386.
- Soto, M., Couso, D., i López-Simó, V. L. (2019). Una propuesta de enseñanza-aprendizaje centrada en el análisis del camino de la energía "paso a paso". *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 16(1), 1202.
- Soto, M., Couso, D., López-Simó, V., i Hernández, M. I. (2017). Promoviendo la apropiación del modelo de energía en estudiantes de 4º de ESO a través del diseño didáctico. *Apice*, 1(1), 90-106.