

**SOCIETAT CATALANA  
DE PEDAGOGIA**

**ENS ALIMENTEM DE SOL:**

**UNA PROPOSTA CURRICULAR**

**PER A L'ESO,**

**A CÀRREC DE**

**MERCÈ IZQUIERDO AYMERICH,**

**DE LA UNIVERSITAT**

**AUTÒNOMA DE BARCELONA**

Tot i que el concepte de *energia* és fonamental per a les ciències, és molt difícil ensenyar-lo bé i aconseguir que els estudiants l'apreguin i el puguin aplicar amb una certa autonomia. Els obstacles principals són *a)* l'ús que es fa d'aquest terme en la vida quotidiana i *b)* l'aparent contradicció entre la conservació de l'energia (segons el primer principi de la termodinàmica) i les recomanacions de no malbaratar-la perquè «se'ns acaba».

Aquesta sessió es dedicarà a analitzar aquests dos punts i a extreure'n idees que puguin ser útils per a la formació científica bàsica de tots els ciutadans. Caldrà reconèixer que les explicacions científiques sobre l'energia no són fàcilment comprensibles i que, per tant, s'ha de començar per identificar situacions quotidianes en les quals es parla d'energia *avant la letre* per intentar, a continuació, fer evolucionar els plantejaments inicials cap a d'altres de més científics.

Es proposarà aquí unificar els dos principis entorn del concepte de *energia lliure* i centrar la reflexió sobre diferents sistemes, més o menys eficaços, de «mobilitzar l'energia». Els éssers vius destaquen per la seva excel·lència en aquest aspecte: gestionen molt bé l'energia que regala diàriament el Sol. Ara tots tenim el repte d'intentar fer el mateix per a les necessitats i els usos quotidians d'energia que la nostra societat «consumeix» en escreix.

## 1. ENSENYAR A PENSAR DE MANERA CIENTÍFICA A L'ESCOLA BÀSICA

La meua aportació en aquest cicle dedicat al foc es fa en el marc de la Societat Catalana de Pedagogia i tracta de l'ensenyament. Ensenyar és una de les activitats més interessants que algú pot dur a terme perquè n'ha de permetre una altra, encara més interessant, una de les millors experiències de

totes les persones: aprendre. Ensenyar per «fer aprendre» no té res a veure amb una transmissió de coneixements definitius, perquè els coneixements científics no són «dogmes» ni les persones poden incorporar de manera significativa les idees dels altres sense un procés complex d'elaboració pròpia.

Les ciències cognitives han aportat plantejaments teòrics que ajuden a comprendre com és que les persones poden «conèixer» i, per tant, s'interessen tant pels processos d'ensenyar i d'aprendre com pels processos de recerca que condueixen a la formació de coneixement científic. En efecte, conèixer és elaborar una nova manera de mirar el món, és fer-ne l'experiència, és parlar-ne d'una manera nova, amb noves paraules, amb noves metàfores... Aprendre és una activitat personal i intransferible que s'ha de dur a terme amb l'acompanyament del mestre. Així, ensenyar i aprendre formen part d'un sol procés dinàmic que requereix interacció entre persones que s'interessen per comprendre, per fer comprensible el món i per comprendre's elles mateixes.

Guidoni (1935) destaca tres «dimensions» irreductibles en el complex sistema cognitiu humà: fer (l'àmbit de l'experiència), pensar (l'àmbit de les representacions mentals), comunicar (l'àmbit dels llenguatges). Aquesta idea ha estat desenvolupada també des de la semiòtica, que destaca la capacitat humana d'elaborar signes que la cultura humana reconstrueix una vegada i una altra i amb els quals es representa un «món» on es pot intervenir identificant relacions noves i obrint noves perspectives d'interacció, de reflexió, de goig estètic. Així, Eco (1999) fa notar que això passa si «quelcom tiba de nosaltres», és a dir, si hi ha una finalitat interessant que fa actuar, comunicar i parlar amb coherència per fer-ne un coneixement significatiu.

Una altra aportació interessant de les ciències cognitives actuals és considerar que totes les persones (i també els científics) pensen sobre el món mitjançant «models mentals»

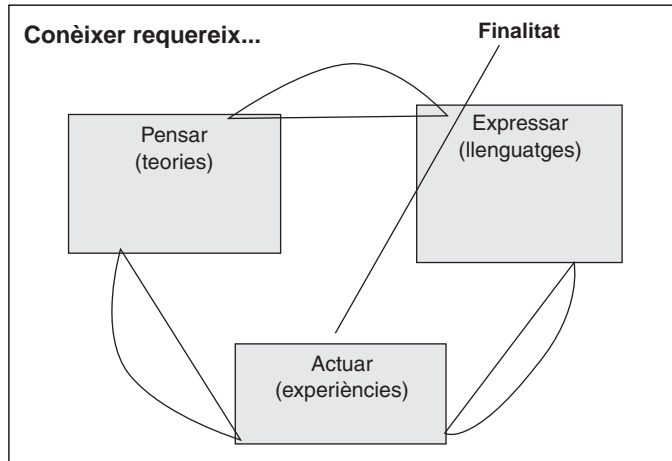


FIGURA 1. *Les dimensions del sistema cognitiu, segons Guidoni 1985.*

342

que, sense ser estrictament «món», tampoc no són només idees, perquè tenen sentit en tant que permeten fer quelcom en el món i, per tant, transformar-lo, amb paraules i accions. Això ho saben fer els nens i nenes des que són ben petits i juguen de manera simbòlica; de la mateixa manera, ho fan els científics quan, en el seu treball, es guien per «teories científiques» que són «famílies de models teòrics», amb els quals recullen de manera simple una gran quantitat de situacions experimentals que queden relacionades les unes amb les altres gràcies a les entitats teòriques dels models.

L'afirmació que encapçala el paràgraf anterior permet explorar-ne una altra: pot ser que totes les persones puguin pensar com ho fan els científics? La resposta que hi donem des de la didàctica de les ciències és afirmativa, però sempre que l'ensenyament generi activitat científica entorn de les idees bàsiques i irreductibles que donen sentit als fenòmens que cal conèixer en les etapes de formació bàsica de totes les persones. Cal, per tant, seleccionar fets rellevants que es

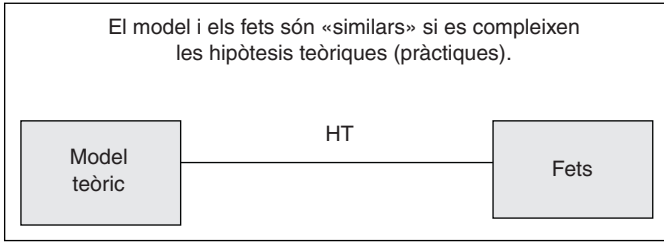


FIGURA 2. *Pensar en models.*

puguin relacionar els uns amb els altres en el marc dels principals «models teòrics» de les ciències.

La novetat de l'enfocament cognitiu aplicat a les ciències és que aquests models científics que «expliquen» i permeten «intervenir» poden ser igualment explicatius per a l'audiència a la qual es comunica la ciència que per als científics..., sempre que es regulin alhora (per tal que connectin) el «model», les accions en el món i els llenguatges amb els quals se'n parla. Així, un model tècnic ha estat definit amb llenguatges diversos al llarg de la història i, malgrat tot, ha orientat la intervenció i el pensament científics, i també «pot ser dit», a l'escola, de manera diversa sense ser errònia.

La nostra finalitat, com a professors, és promoure l'activitat humana que busca comprendre per tal de poder actuar i l'aconsegueix quan pot comunicar-la amb els llenguatges apropiats. L'escola ha de ser un lloc on hi hagi activitat d'aquesta mena, que és científica quan utilitza els models teòrics adients per actuar, pensar i comunicar. La feina del professor, molt sovint d'una gran delicadesa i creativitat, consisteix a saber enfocar la mirada dels estudiants cap a les principals qüestions que les ciències intenten respondre i establir a poc a poc les regles del joc que van fent comprensibles alguns dels aspectes d'un món físic i biològic en el qual es vol intervenir amb finalitats diverses.

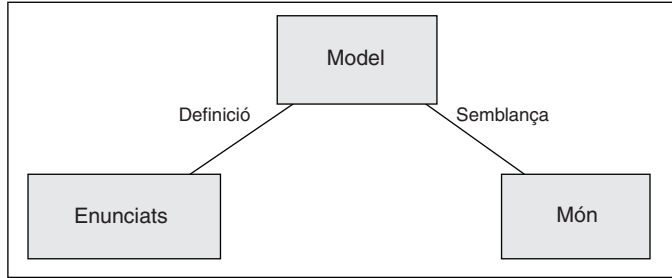


FIGURA 3. *Caracterització dels models segons Giere, 1988.*

Ara veurem com ens ho fem quan reflexionem sobre què és el foc, és a dir, sobre l'energia i els canvis.

## 2. QUÈ ÉS EL FOC? ELS CANVIS I L'ENERGIA

344

Què en pensa la gent, del foc? Què suggereix aquesta paraula? Quin significat té i per què hem de saber-ne quelcom?

Heràclit d'Efes, en el segle VI aC, deia que el foc és la substància primària de totes les coses que, per un procés de condensació o camí descendent, es converteix en vapor, aigua i terra, i de nou, per un camí ascendent, en aigua, vapor i foc. Per ell, tot existeix en estat de canvi, tot i que els sentits ens enganyin donant-nos la impressió d'estabilitat, que no és altra cosa que l'equilibri entre les forces «ascendents» i «descendents». Així, el coneixement o la saviesa que permet comprendre com funciona l'Univers és un do de la raó, no dels sentits.

Un segle més tard, Empèdocles considera que hi ha quatre substàncies primàries i no només una, els quatre elements: aigua, aire, terra... i foc. Aristòteles, en el segle IV aC, atorga qualitats específiques a aquests elements: aire i foc tenen moviments ascendents i són calents, mentre que aigua i terra tenen moviment descendent i són freds.

El foc és també, segons la mitologia grega, allò que Prometeu va robar als déus, pujant fins a l'Olimp per encendre una teia amb el Sol; és allò que va donar als homes per millorar la seva vida i que els va fer semblants als déus... I, per fer-ho, va ser castigat amb severitat.

Aquestes idees encara ara tenen sentit, tot i que es formulen amb unes altres paraules. El foc flama és destructor, però escalfa i és símbol de valentia, de passió, de creativitat; és generador de canvis. El foc llum ens fa pensar en el Sol, en la vida que neix allí on n'hi ha, en quelcom que forma part de les coses. El foc caldera ens remet a l'economia, a la comodat, però també a la dificultat d'obtenir combustibles. Detectem, encara, l'ambigüitat del foc: és perill però és vida; és un bé preuat però escàs; i mirem cap al Sol per mirar de «robar-li» no ja una flama, però sí la «caldera» molt més sofisticada que ara necessitem (ja no en tenim prou amb una teia!).

Així doncs, hi ha diverses idees entorn del foc, algunes de les quals metafòriques, i que són ben boniques d'analitzar i comentar des d'altres àmbits, com s'està fent en aquest cicle de conferències. Des del punt de vista de la formació científica, n'hem de destacar dues: el foc genera canvis i, per això, el foc és útil, si es poden arribar a controlar els canvis i aprofitar-los bé. Des de sempre, la humanitat ha intentat aprofitar els canvis que es produeixen espontàniament, que «es fan sols» (les pedres que cauen, les molles que s'expandeixen, el gas que s'escampa...), per aconseguir-ne d'altres: aixecar objectes pesants, per exemple, la qual cosa ens costaria molt esforç.

Els canvis són processos que es generen quan hi ha diferències (de temperatura, de concentració...). Però les diferències desapareixen a causa dels canvis espontanis i no tornen a aparèixer fàcilment... Cal que apareguin de nou les diferències. El més interessant és que els processos de canvi

es poden gestionar bé o malament, perquè si bé en tots es modifiquen els sistemes (desapareixen les diferències inicials), n'hi ha alguns que mantenen la capacitat de canvi més que uns altres.

Amb això, tot seguit es veu que hi ha uns límits que condicionen les possibilitats que es produeixin canvis i que es puguin aprofitar. Necessitem els conceptes de *treball*, de *calor* i de *llum*, que són processos de canvi, i el concepte de *energia*, per portar el compte del que els sistemes perden o guanyen en produir-se aquests processos de canvi. L'energia es conserva, es pot «conrear»: en el nostre hortet d'energia hem de fer que hi creixi poca calor i molt treball!

El foc s'associa, doncs, a dues idees diferents: processos de canvi (calor, treball i llum), que es poden gestionar per mantenir la possibilitat de nous canvis, i energia, que es conserva.

Tot això resulta força complicat. Efectivament, és molt difícil parlar de l'energia, perquè no és «res» en si mateixa, al marge dels fenòmens que explica —com comencen i com acaben, com es poden repetir els canvis...— i de les intervencions que permet. I ho és encara més si pensem que parlar d'energia requereix aclarir les idees que té tothom sobre l'energia i els canvis, confosos ambdós per foc.

S'ha de procurar que l'ensenyament transformi aquestes «idees prèvies» en altres de més científiques. El foc, aquest conglomerat d'idees tan suggerents, ha d'esdevenir energia i canvi i hem de trobar la millor manera de fer necessària aquesta entitat tan difícil de copsar, però tan cabdal per entendre la continuïtat dels canvis i per gestionar-los bé.



### 3. LES «IDEES PRÈVIES» I LES DIFERENTS PROPOSTES TRADICIONALS D'ENSENYAMENT DE L'ENERGIA

L'energia és una entitat teòrica amb significat en tots els camps científics; però és també una paraula del llenguatge quotidià que s'aplica a un altre àmbit molt diferent, el dels sentiments, el caràcter, l'equilibri personal. Això ens obliga a ser molt curiosos i a procurar mostrar amb la màxima claredat a quina mena de fenòmens es refereixen les ciències i què és el que poden (i el que no poden) explicar.

Els alumnes, com totes les persones, han sentit a parlar de l'energia i se la imaginem d'una determinada manera: li atribueixen propietats que no sempre corresponen a les que li atribueixen els científics i que, per tant, interfereixen en el seu aprenentatge si no s'integren de manera adequada en les propostes docents. Vegem alguna d'aquestes idees. Són les següents:

a) S'associa l'energia amb els éssers vius, perquè es mouen i han de menjar; amb el moviment i l'activitat: una joguina té energia quan es mou, no quan se li ha donat corda i encara no es mou. No es pensa que una pedra, per exemple, pugui «tenir energia». (Sembla que recordi el foc canvi.)

b) Així, es considera que l'energia és la font de l'activitat (una persona activa «té molta energia», les vitamines «donen energia»). És sinònim de combustible i fins i tot d'alguns aliments «energètics». És una «cosa», un ingredient, quelcom que pot ser emmagatzemat i que «es dispara» en un moment donat (per exemple, quan es crema un objecte, quan hi ha foc), que és com un fluid, que passa d'un lloc a l'altre sense que la veiem. (Sembla que recordi el foc element.)

c) En conseqüència, es confon la força amb l'energia i costa acceptar que l'energia es conserva, perquè sembla que es perd en les flames, en la calor... i es parla amb preocupa-

ció del «consum d'energia» i de l'esgotament de les fonts d'energia!

Quina d'aquestes «mitges veritats» ens resulta més útil com a punt de partida? Moltes s'han generat a partir del llenguatge amb el qual es parla de l'experiència quotidiana. Com que permeten explicar fets concrets, per més que de manera parcial, són valuoses malgrat que no siguin prou adequades i per això plantegen un dilema: els professors no en poden prescindir, però han de procurar canviar-les, presentant noves situacions que requereixin un plantejament més ampli i d'aplicació més general.

En general, a l'escola es parla de «formes d'energia» i es treballa molt la transformació d'unes formes a les altres, però no tant la conservació i la degradació, ni tampoc es parla del control dels processos ni de l'origen dels canvis en les «diferències». Segons diversos autors (Pintó, 1991; Duit, 1981; López Rupérez *et al.*, 1983; Ogborn, 1990), s'ha de començar per donar una visió intuïtiva i descriptiva de l'energia i anar incorporant gradualment noves propietats.

Com a proposta d'innovació es recomana:

— Analitzar situacions de canvi fent ús del terme *energia*.

— Fer veure que calor, treball i llum no són energia, sinó que són processos en els quals hi ha transferència d'energia.

— Considerar que l'energia pot canviar de lloc, emmagatzemar-se, canviar de manifestació, però es conserva. A mesura que és utilitzada, va perdent qualitat, és a dir, possibilitats de ser emprada de nou: disminueix l'energia útil.

— Generar llenguatges adequats i calcular, sempre que es pugui, per arribar a comprendre que l'energia no és «una cosa», sinó més aviat una manera de «portar el compte». No confondre força i energia: la força requereix dos sistemes i l'energia no; la força és una magnitud vectorial i l'e-

nergia és una magnitud escalar; l'energia només es manifesta en les transformacions i les forces es poden manifestar en situacions d'equilibri.

Si contrastem la llista d'idees prèvies amb les recomanacions docents, veurem que es poden concentrar els esforços a explicar bé com es produeixen els canvis (les interaccions entre sistemes) i com podem aprofitar-los; a continuació, a anar fent veure, a poc a poc, que l'energia no és «res que flueix», sinó que es relaciona amb una «manera d'estar» dels sistemes que poden canviar. En podem parlar com si estigués amagada en els sistemes i només es deixés mesurar quan es transfereix en els processos de calor, treball o llum. Aquesta energia invisible no ens serviria de res si es quedés sempre així; el que ens interessa és el procés en el qual diem que l'energia d'un sistema disminueix perquè la de l'altre augmenta. Així, quan diem que un sistema «té energia», volem dir que coneixem algun procés que permet transferir-ne i que sabem quanta en té perquè sabem relacionar-la amb alguna de les propietats del sistema.

Qualsevol proposta docent ha de partir d'una «idea potent»; a partir d'aquesta idea, cal trobar «fets del món» concrets (els canvis que s'estudien en les diferents disciplines científiques, a partir dels seus models teòrics) que puguin generar en el grup la mena de discussió que ens interessa i que puguin ser analitzats per identificar magnituds que puguin ser calculades. Amb tot això, es van generant els llenguatges adients per poder parlar de les regularitats identificades i representar-les.

#### 4. SELECCIONAR UNA IDEA POTENT: «MENGEM SOL!»

En la proposta que fem, la «idea potent» és el Sol i els éssers vius.

Si l'energia no és la causa dels canvis, sinó que ho són les diferències, es fa evident la importància del Sol gràcies al qual es produeixen els canvis que fan possible la vida. Si per als alumnes és evident la relació entre l'energia i els éssers vius, podem començar per aquí; com que hi pot haver interacció entre una persona (un ésser viu) i una pedra (l'agafa del terra, la llança...) o una joguina (pot donar-li corda), ja veuran que també aquests objectes poden participar en el joc de les interaccions i els intercanvis d'energia encara que no es belluguin sols.

Aquesta idea atractiva serà la guia per a tota la proposta docent:

— A poc a poc s'anirà creient que imaginar l'energia com un fluid que passa d'un lloc a l'altre sense deixar-se veure és una metàfora que ajuda a pensar, però que en realitat l'energia no és una «cosa», sinó una idea que ajuda a portar el compte dels canvis que s'han fet i els que encara es poden fer.

— Finalment, es podrà diferenciar *energia* del *procés d'intercanvi* o d'interacció entre sistemes (que pot ser treball, calor o llum) i, per tant, entre energia i força; no es farà a partir d'una definició prèvia, que seria incomprensible, sinó que aquesta definició sorgirà com a resultat d'una activitat científica.

Proposem començar per connectar amb la necessitat de «canvis que es produeixen sols» per poder-los fer servir per arrossegat-ne uns altres que «ens cansen». La història de la humanitat ofereix molts exemples d'aquesta dinàmica de generar diferències per produir canvis i aprofitar-los tan bé com es pugui. En el Projecte Ciències 12-16, la unitat «Els canvis. Com hi intervé l'energia?» es comença amb una lec-

tura, de la qual reproduïm un fragment (Izquierdo *et al.*, 1994).

La Humanitat començà a servir-se dels canvis que es produïen espontàniament, com per exemple, un salt d'aigua, una pedra que rodola per un pendent o un foc que crema sense aturador.

Aprendre a fer foc va ser sens dubte el primer i més important descobriment de la humanitat i el que va fer possible tots els altres... Els pobles que habitaven la Mesopotàmia varen descobrir que l'aigua corrent els era útil per a diverses feines. La varen aprofitar per moure sínies i pedres de molí. Així mateix, es va aprendre a utilitzar l'aire en moviment per moure vaixells i accionar els molins situats en llocs on hi havia aigua.

Més recentment, s'utilitzaren els molins de vent per accionar les bombes hidràuliques que extreïen l'aigua de les mines o s'elevaven des dels pous i sèquies per poder regar. Així es varen iniciar les explotacions industrials.

La construcció de màquines semblants a les d'ara correspon ja a l'època moderna. Les primeres màquines funcionaren amb carbó o petroli, però les màquines actuals ho fan amb gasolina o electricitat, que s'obté aprofitant els salts d'aigua, mitjançant la combustió del carbó i els hidrocarburs o en els reactors nuclears.

Tot i això, la humanitat sencera no ha resolt encara el problema de sobreviure sense cansar-se [...].

Aquesta lectura permet comprendre què és el que interessa la gent: aprofitar els canvis «que roden sols» per arrossegat-ne uns altres que no ho fan però que poden ser també útils. Hi ha pocs tipus fonamentals de canvis espontanis, que poden ser representats tal com proposen Boohan i Ogborn (1996) (figura 4a) i Ametller (2002) per afavorir

que els alumnes en parlin i aprenguin a combinar-los. L'energia forma part dels canvis i per això cal comptar-hi: en els esquemes es representa amb les fletxes que indiquen si, en l'estat final, el sistema ha guanyat energia o n'ha perdut. D'aquesta manera, es pot fer veure la importància del Sol perquè genera una mena de canvis en els sistemes que fan que aquests continuïn canviant (comencin a «rodar cap avall»). En la figura 4b es representen els canvis que es produeixen en la funció clorofil·lica.

El Sol (la llum) ha produït canvis en la clorofil·la de la cèl·lula i aquests canvis n'han comportat uns altres: es forma

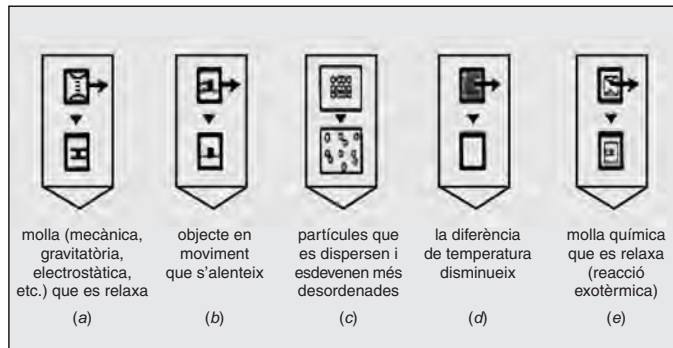


FIGURA 4a. Els principals canvis espontanis segons Boohan i Ogborn.

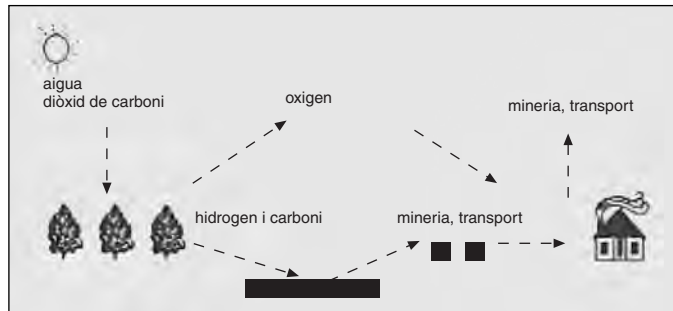


FIGURA 4b. Els canvis en la funció clorofil·lica.

una molècula grossa, la glucosa, i altres hidrats de carboni a partir de dues molècules petites, diòxid de carboni i aigua, i es transfereix energia del Sol a aquestes noves substàncies. Finalment tenim un aliment: un cacauet, per exemple. Si el cremem, es formen flames; podem escalfar aigua fins a fer-la bullir i obtenim, de nou, diòxid de carboni i aigua. I si ens el mengem? L'aigua del nostre organisme no es posa a bullir, perquè el procés de canvi del cacauet en l'organisme està molt ben controlat: es produeix menys calor i més treball, que és moviment, construcció de nous materials, impulsos elèctrics per veure-hi.

Molts organismes es mengen els uns als altres com ho fem nosaltres: ens mengem el cacauet, però es com si ens haguéssim menjat el Sol. Ara bé, a mesura que ens mengem els uns als altres, les possibilitats de canvi disminueixen.

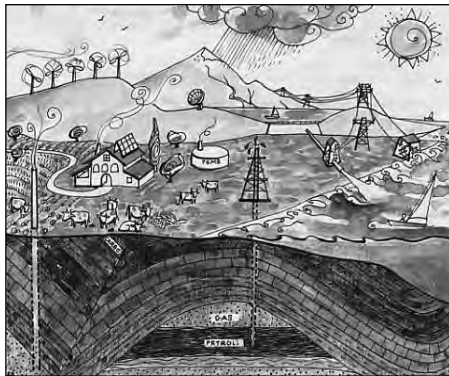


FIGURA 5. Nosaltres ens «menjem» el Sol.

El Sol en genera moltes altres, de diferències: de temperatura, de pressió, de càrrega elèctrica, de potencial químic... Per això, gràcies al Sol els canvis no s'acaben. Ens mengem els cacauets, però gràcies a ell, que ens regala llum cada dia, tindrem nous cacauets!

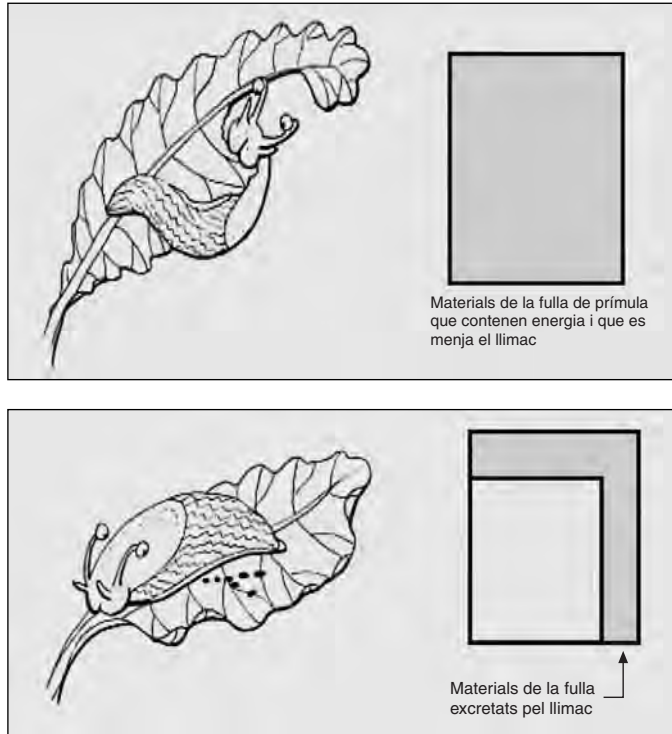
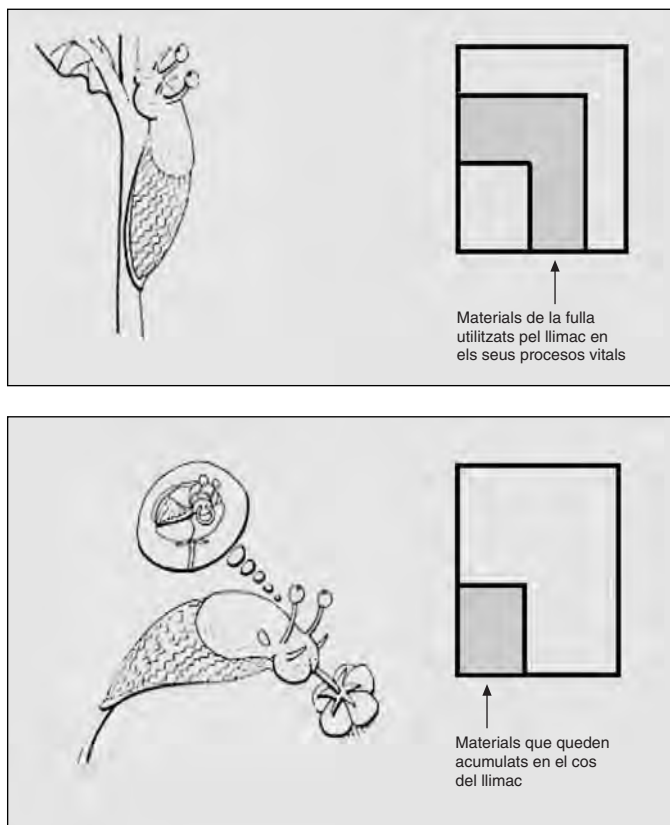


FIGURA 6. *El llimac es menja la fulla.*

Finalment ens podem preguntar: com és que patim tant per l'energia, si cada dia el Sol ens en regala molta més de la que podem aprofitar? Aquesta pregunta és clau, perquè fa veure que, en dir això, confonem dues idees diferents. Tots els sistemes del món poden presentar-se en diferents estats i a cada un d'ells els correspon una energia fixa; per això, l'energia total no canvia: l'element foc és indestructible. No patim per l'energia, sinó pels canvis: sense el Sol s'acabarien les diferències i, per tant, el foc canvi. I la vida és un canvi



constant, molt ben aprofitat. Encara que l'energia es conserva, es pot conrear i aprofitar més o menys, segons com sigui el procés de canvi.



355

FIGURA 7. *I el gripau es menjarà el llimac.*

5. QUÈ EN FEM, DE L'ENERGIA DEL SOL? (A TALL DE CONCLUSIÓ)

Jorge Wagensberg, en una entrevista per la ràdio, ens deia que la Terra roda cada vegada més a poc a poc i que, per tant, el dia i la nit s'allarguen; i, responent al locutor que opinava que potser en algun altre moment la Terra es tornarà a accelerar, feia notar que no, que això no passaria espontàniament. És interessant, oi? Hi ha canvis que no van endarrere. La vida és un canvi constant en el qual es modifica irreversiblement l'entorn. L'arbre cremat no torna a ser mai més el mateix arbre: el temps passa...

Per sort, com diu la cançó:

Cada dia surt el Sol  
I tot recomença...

Però el Sol és de tots: com és que no l'aprofitem millor?  
Com és que no compartim els recursos que proporciona?

BIBLIOGRAFIA

- AMETLLER, J. (2002). *Dificultats dels alumnes en la interpretació de dissenys visuals sobre l'energia*. Barcelona: Universitat Autònoma. [Treball de recerca]
- BOOHAN, R.; OGBORN, J. (1996). *Energy and change*. Londres: Institute of Education, University of London.
- DUIT (1981). «Understanding energy as a conserved quantity». *European Journal of Science Education*, núm. 3 (3), p. 291-301.
- GUIDONI, P. (1985). «On natural thinking». *International Journal of Science Education*, núm. 7 (2), p. 133-140.
- GIERE, R. N. (1988). *Explaining Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

- ECO, H. (1999). *Kant i l'ornitorrinc*. Barcelona: Destino.
- IZQUIERDO, M.; SOLSONA, N.; CABELLO, M. (1994). *Projecte 'Ciències 12-16'*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- LÓPEZ RUPÉREZ [*et al.*] (1983). «Las nociones de trabajo y energía: Análisis conceptual y didáctico». *Bordón*, núm. 249, p. 497-509.
- OGBORN, J. (1990). «Energy, change, difference and danger». *School Science Review*, núm. 72, p. 81-85.
- PINTÓ, R. (1991). *Algunos conceptos implícitos en la 1ª y 2ª leyes de la termodinámica: Una aportación al estudio del aprendizaje*. Barcelona: Universitat Autònoma de Bellaterra.

