

És possible millorar l'aprenentatge de l'energia?

Josep Lluís Domènech¹, Daniel Gil Pérez², Albert Gras Martí³, Joaquín Martínez Torregrosa³

¹IES A. Llidó, Xàbia, ²Universitat de València, ³Universitat d'Alacant

Introducció

En els últims vint anys han anat apareixent estudis que han posat de relleu, no només, la poca comprensió assolida pels estudiants de tot allò relacionat amb l'energia (Duit 1981 a i b; Driver i Warrington 1985; Pintó 1991), sinó que també han apuntat a l'ensenyament com un factor poc afavoridor d'aquest aprenentatge (Solbes i Tarín 1998; Domènech et al. 2001).

En aquest treball pretenem mostrar que és possible eixir al pas d'aquestes deficiències, facilitant la implicació dels estudiants en la construcció de coneixements a partir de situacions problemàtiques d'interès, i aconseguir, així, un aprenentatge més significatiu d'aquest camp.

Segons açò, començarem presentant molt resumidament la nostra proposta d'ensenyament, donant alguns exemples de les activitats proposades als alumnes, per tal d'orientar la (re)construcció dels coneixements sobre l'energia que desitgem que aprenguen. En segon lloc, mostrarem els instruments que dissenyarem per a posar a prova la comprensió aconseguida pels estudiants. Aquests instruments els varem utilitzar tant amb alumnes tractats com no tractats. Per últim, presentarem i comentarem breument alguns dels resultats obtinguts.

1. L'aprenentatge de l'energia com a investigació guiada

En altres treballs hem fonamentat la proposta d'orientar l'aprenentatge de les ciències com un procés d'investigació guiada (Gil et al. 1991; Gil et al. 1999). Ací ens limitarem a recordar que, en essència, aquesta proposta consisteix a col·locar als estudiants en situació d'investigadors novençans que compten amb el suport del professor com a expert.

Aquesta proposta s'inspira en el període de formació dels investigadors, durant el qual es familiaritzen amb les característiques del treball científic a mesura que van abordant problemes coneguts pels que dirigeixen la investigació. En aquest procés, els directores de la investigació poden orientar adequadament el treball dels novells, facilitant el seu progrés d'una manera ràpida. Segons aquest símil, el professor –que actua com a director d'investigacions- ajuda a plantejar les preguntes adequades i reforça, matisa o posa en qüestió, els resultats obtinguts pels estudiants –que actuen com a investigadors en formació- (Gil et al. 1991; Tobin, Tippins i Gallard 1994).

Aquesta metàfora de concebre els estudiants com a investigadors en formació i els professors com a experts, es concreta en l'elaboració de programes d'activitats concebuts com a programes d'investigació que han d'ajudar els alumnes a (re)construir els coneixements desitjats (Gil i Martínez Torregrosa 1987; Gil i Carrascosa 1994).

La idea bàsica que presideix aquests programes és desenrotllar els temes en base a una seqüència d'activitats que van realitzant els grups d'estudiants amb l'ajuda del professor. L'organització de la classe en xicotets grups permet que els estudiants disposen d'oportunitats per a treballar conjuntament els problemes a abordar, cosa que, com reiteradament s'ha apuntat en la investigació educativa, afavoreix la fecundació creuada de les seues idees i, consegüentment, l'aprenentatge (Cudmani, Salinas i Pesa 1991; Piburn i Baker 1993; Roth 1994 i 1997; Kempa i Ayob 1995; Alexopoulou i Driver 1996; Duschl i Hamilton 1998; Tobin 1998; Swain, Monk i Johnson 1999). D'aquesta manera s'aconsegueix una forma de treball flexible –i, alhora, estructurada- en la qual, després de la realització de cada activitat per part dels diferents grups, es realitza una posada en comú que permet a cada grup confrontar les seues produccions amb les dels altres grups. En les posades en comú el professor té ocasió de proporcionar la retroalimentació adequada, i de reformular i sintetitzar les diferents aportacions, de remetre al fil conductor del tema i d'orientar les activitats següents.

Des d'aquest model d'ensenyament per investigació, hem elaborat tres programes d'activitats per a la introducció dels conceptes d'energia, treball i calor, a classe de 3r de BUP (estudiants de 16-17 anys). Aquests programes, desenvolupen propostes anteriors (Calatayud et al. 1990; Gil, Furió i Carrascosa 1996a, b, c, d i e) i incorporen les 25 tesis sobre allò que suposa una comprensió adequada de l'energia, que hem presentat en altre lloc (Domènech et al. 2001) i que resumim en el quadre 1.

Els tres programes d'activitats elaborats s'anomenen, respectivament:

- Aprofundiment en l'estudi dels canvis: introducció dels conceptes de treball i d'energia.
- La calor com a agent productora de canvis.
- Energia, treball i calor: integració de dos camps de coneixement.

El primer programa el desenvoluparem en 19 sessions (de cinquanta minuts cada una), el segon en 10 i el tercer en 8. En Domènech (2000) poden trobar-se aquests programes acompanyats de comentaris detallats d'allò que perseguim amb les distintes activitats, així com el tipus de respostes que solen donar els estudiants.

Ací, a tall d'exemple, presentem l'inici del primer tema. Comencem plantejant activitats destinades a ajudar els alumnes a formar-se una idea dels problemes que estudiarem i a discutir el possible interès d'aquest estudi.

- A.1** Poseu exemples de canvis, de transformacions, que ocorren en la naturalesa i indiqueu per què pot ser interessant el seu estudi.
- A.2** Com que podríem pensar que li estem donant una importància excessiva a la idea de transformació, proposeu exemples de coses que considereu immutables, és a dir, que romanen sempre iguals.
- A.3** Elaboreu un cartell en el qual s'indiquen els avantatges i inconvenients d'alguns dels canvis que produïm les persones.
- A.4** Exposeu les vostres idees i suposicions sobre com es produeixen els canvis (sobre tot els provocats per les persones): què fa falta per aconseguir que un objecte experimente algun canvi? No us preocupeu si les vostres idees són inicialment confoses

QUADRE 1

25 tesis al voltant de què significa disposar d'una bona comprensió de l'energia

Des d'un punt de vista conceptual, una bona comprensió de l'energia suposa, entre d'altres, conèixer que:

1. Les **transformacions** que experimenta un sistema són degudes a les interaccions.
2. Aquestes **transformacions poden associar-se a variacions d'energia** dels sistemes.
3. **L'energia no és cap mena de fluid**, no és una mena de combustible necessari per a produir transformacions.
4. Açò no significa, però, que hem de renunciar a comprendre el seu significat: **és precís trencar amb una introducció purament operativa del concepte d'energia**. L'energia està associada a la configuració dels sistemes i a les interaccions que aquestes interaccions permeten.
5. De la mateixa manera, **és precís trencar amb una introducció purament operativa del concepte de treball**. Una expressió com $W = F \cdot \Delta e \cdot \cos\theta$ respon a una idea qualitativa de treball com a procés de transformació de la matèria mitjançant forces (per al cas més senzill del desplaçament d'un objecte).
6. Es pot parlar de **diferents formes d'energia** (cinètica, potencial gravitatòria...) **associades a diferents configuracions dels sistemes i a distintes formes d'interacció de la matèria**.
7. **No té sentit parlar de l'energia (potencial o cinètica) d'un objecte aïllat**.
8. **Tampoc no té sentit pensar que és possible determinar d'una manera absoluta l'energia d'un sistema**.
9. **Les variacions d'energia d'un sistema poden ser degudes a la realització de treball, calor o a la radiació**.
10. **L'energia total d'un sistema aïllat roman constant**.
11. No obstant això, **sempre que un sistema experimente canvis, necessàriament han d'ocórrer transferències i/o transformacions d'energia al seu**

si. Açò justifica l'associació que se sol fer entre energia i canvi, encara que aquesta associació no ha de conduir-nos a la idea de *consum* d'energia, ni permet explicar quines seqüències de canvis són possibles.

12. **L'establiment del principi de conservació de l'energia exigeix prendre en consideració les interaccions a nivell microscòpic i les formes d'energia interna associades.** Açò només fou possible quan es va comprendre la relació entre la mecànica i la calor. No podem, per tant, compartir els intents per presentar el principi de conservació de l'energia com una generalització de les relacions treball-energia establertes en Mecànica.

13. La calor apareix, des d'aquesta perspectiva, com una magnitud que engloba el conjunt de treballs realitzats a nivell microscòpic. En conseqüència, **la calor, de la mateixa manera que el treball, no és una forma d'energia, sinó d'intercanvi d'energia.**

14. Com a resultat de les interaccions i consegüents transformacions dels sistemes, **l'energia es degrada, és a dir, va distribuint-se, transformant-se en energia interna, i açò fa que disminui s'ca la possibilitat d'ulteriors transformacions dels sistemes.**

15. Més precisament, hauríem de dir que **la distribució d'energia (el creixement de l'entropia) disminueix la possibilitat de transformacions ... macroscòpiques** dels sistemes: les interaccions (i, per tant, les transformacions) continuaran produint-se a nivell microscòpic.

16. **Quan parlem de consum d'energia, crisi energètica, etc., no volem dir que l'energia desapareix**, sinó que la configuració del sistema ja no permet que ocorreguen canvis *macroscòpics*. S'explica, d'aquesta manera, l'aparent contradicció entre *conservació d'energia* i *necessitat de recursos energètics*.

17. **Dos són, per tant, les restriccions en els canvis que un sistema aï llat pot experimentar:** s'ha de satisfer el principi de conservació de l'energia i, *a més a més*, la seqüència dels canvis només pot produir-se en el sentit d'una progressiva *dispersió* de l'energia, però no a l'inrevés.

Un bon coneixement científic –de l'energia o de qualsevol altre camp– té també exigències procedimentals i axiològiques a les qual hem de referir-nos necessàriament:

18. **És precís conèixer els problemes que justifiquen la introducció dels conceptes** per a evitar l'habitual impressió d'arbitrarietat que aquesta introducció produeix.

19. **Convé, de la mateixa manera, discutir l'interès i rellevància dels problemes tractats.**

20. Els estudiants han de percebre **la construcció dels coneixements com un procés dinàmic** que pot comportar retocs i, fins i tot, replantejaments globals.

21. Això suposa que els estudiants tinguin **ocasió d'utilitzar les estratègies del treball científic** (concebre hipòtesis, fer dissenys experimentals, etc.) de manera que puguin confrontar les seues construccions temptatives amb les de la comunitat científica.

22. Això ha de permetre, d'una manera particular, que els estudiants coneguen la teoria del calòric i les seues dificultats i la **revolució que suposà la integració de la mecànica i la calor.**

23. És precís ressaltar la **validesa universal del principi de conservació i transformació de l'energia**, aplicable en qualsevol procés físic, químic, biològic... la qual cosa el converteix en un dels pilars bàsics de l'establiment de la unitat de la matèria.

24. **L'atenció a les interaccions Ciència/Tecnologia/Societat** ha de ser un aspecte essencial en aquest i en qualsevol camp científic si volem eixir al pas de visions incorrectes, socialment descontextualitzades, de la ciència, i, tam-

bé, per a formar ciutadans i ciutadanes capaços de comprendre el món en el qual viuen (impregnat dels productes de la indagació científica) i d'adoptar actituds responsables i fonamentades davant el desenvolupament científic i tecnològic i les conseqüències que se'n deriven.

25. És necessari **vèncer la tendència dels estudiants a no fer ús dels plantejaments energètics**, limitant-se sistemàticament als plantejaments dinàmico-cinemàtics quan estudien els moviments.

i poc segures (açò també els sol passar als mateixos científics al principi de qualsevol treball), ja que la discussió constituirà un valuós punt d'eixida per a la tasca que ara mamprenem.

Com a resposta a aquesta activitat A.4, els estudiants es refereixen a la *necessitat de forces*, a la *realització de treball*, als *efectes de la calor*, al *consum d'energia*, etc. Connectem així, de manera funcional, amb les concepcions, sense dubte confoses, que els estudiants tenen i les utilitzem per a establir un fil conductor per a l'estudi d'aquesta problemàtica.

Tot seguit, presentem les activitats que es proposen per a la introducció qualitativa del concepte de treball i per a la seua definició operativa:

A.5 Entre les idees utilitzades amb relació a l'origen dels canvis hi ha la de la realització de treball. Indiqueu diversos exemples d'allò que entenem per treball en la vida diària i proposeu una idea qualitativa de treball que funcione en aquestes situacions.

L'activitat A.5 porta a la idea de treball com a transformació de la matèria mitjançant forces. De fet, alguns estudiants assimilen treball a realització d'esforç, posant en evidència la confusió entre treball i força detectada per alguns autors (Hierrezuelo et al. 1996). Altres estudiants, però, es refereixen a la idea d'aconseguir una transformació i això permet consensuar, a mode de conjectura, la idea qualitativa exposada.

A.14 Segons la concepció qualitativa que hem elaborat anteriorment, treball és el procés de transformació de la matèria mitjançant forces. Com a exemple, en el cas més senzill d'una transformació, que consisteix en el simple desplaçament d'un objecte, com podríem quantificar el treball fet sobre ell?

A partir del concepte qualitatiu, els estudiants, en resposta a l'activitat A.14, suggereixen que el treball serà major com més gran siga la transformació (el desplaçament, Δe) i la força, F , la qual cosa porta a la definició operativa $W = F \cdot \Delta e$.

Però la idea d'una proporcionalitat directa d'ambdós factors és una simple hipòtesi en què hem d'aprofundir, evitant acceptacions superficials. Açò és el que perseguim amb l'activitat A.15, que obliga a centrar-se, significativament, en la forma en què influeixen la força i el desplaçament.

A.15 Analitzeu les expressions següents i raoneu en quina mesura poden ser considerades definicions operatives vàlides de la magnitud treball:

- a) $W = F/\Delta e$; b) $W = F + \Delta e$; c) $W = F \cdot \Delta e$; d) $W = F \cdot t$; e) $W = F/\Delta e^2$

Els estudiants rebutjen fàcilment la definició $W = F/\Delta e$ (que suposaria realitzar un treball menor com més gran fóra el desplaçament) i la $W = F + \Delta e$ (tant pel que fa a l'absurd de sumar magnituds no homogènies com perquè, segons aquesta expressió, podria haver treball en absència de

desplaçament). Una argumentació semblant porta els estudiants a rebutjar la proposta $W = F \cdot t$, encara que alguns assenyalen que podria ser vàlida per al cas de desplaçaments uniformes. També $W = F/\Delta e^2$ presenta dificultats (fins i tot per a estudiants universitaris), però de nou alguns alumnes argumenten raonablement que, segons aquesta expressió, un llaurador que fera 4 solcs iguals hauria realitzat un treball 16 vegades superior al que en fera només 1, i això no respon, almenys intuitivament, a allò que sembla esperar-se.

Naturalment aquestes reflexions qualitatives no demostren la validesa o incorrecció d'una definició, però ajuden a concretar-la a tall d'hipòtesi de treball. Aquest caràcter hipotètic de les definicions operatives ha de ser ressaltat: les definicions no són ni arbitràries ni descobriment de cap cosa existent en la natura. I, per descomptat, només la coherència del cos de coneixements obtingut mitjançant el seu ús permetrà validar-les (Calatayud et al. 1990).

No ens podem estendre ací en la presentació dels programes d'activitats dissenyats, que contenen nombroses activitats de tipus procedimental (concepció d'hipòtesis, dissenys experimentals, realització d'experiments, etc.) i axiològic (discussió de l'interès dels estudis a mamprendre, consideració de les repercussions socials, etc.). Esperem que el fragment presentat haja servit per a il·lustrar la proposta. Només afegirem que hem assajat aquests programes d'activitats en el marc de la nostra investigació (Domènech 2000) i que seguim utilitzant-los, tant amb estudiants de Secundària com en cursos de formació del professorat de Física i Química.

Al següent apartat presentarem l'anàlisi realitzada al voltant de la comprensió aconseguida pels estudiants tractats amb els programes d'activitats en comparació amb aquells que segueixen un ensenyament habitual.

2. Anàlisi de l'aprenentatge aconseguït pels estudiants

Aquest apartat està destinat a estudiar l'efectivitat dels programes d'activitats dissenyats. Amb aquest objectiu hem dissenyat un conjunt d'instruments per a analitzar el grau de comprensió assolida pels estudiants després d'haver estudiat els temes de treball, energia i calor. Aquest estudi l'hem realitzat amb estudiants tractats amb els programes d'activitats dissenyats per nosaltres, i també amb estudiants que han seguit un ensenyament habitual. Tot seguit presentarem alguns dels instruments dissenyats –que constitueixen diferents tasques a proposar als estudiants aproximadament un mes després d'haver finalitzat l'estudi (Domènech 2000)- i els resultats obtinguts amb diferents mostres d'estudiants de 3r BUP tractats –que anomenarem grup Experimental-, i de COU no tractats (grup de Control). Hem adoptat, d'aquesta manera, un criteri exigent per a realitzar comparacions, ja que el grup de control correspon a estudiants d'un curs més avançats.

<p>1. Imagina que has d'explicar-li a un altre estudiant, que està preparant-se un examen, els temes d'energia, treball i calor. Indica breument les idees més importants que li explicaries.</p>
--

Amb aquesta activitat pretenem veure en quina mesura els estudiants fan alguna referència als aspectes arreplegats en el quadre 1, però, com que hem utilitzat altres instruments que es refereixen específicament als conceptes de treball, calor, etc., presentarem ací sols els resultats comparatius d'una breu selecció d'aspectes (Taula I i Gràfic I).

Com veiem, contra el 51% de l'alumnat de Control que proposa una concepció qualitativa per a l'energia aquest percentatge augmenta fins el 95% en el cas de l'Experimental. També hi ha diferències en la idea qualitativa que uns i altres proposen de l'energia. Mentre que majoritàriament els estudiants de Control es refereixen a l'energia com la capacitat per a realitzar treball (la qual cosa suposa una restricció al camp de la mecànica), quasi tots els estudiants del grup Experimental l'associen a la capacitat d'un sistema per a produir canvis de qualsevol tipus.

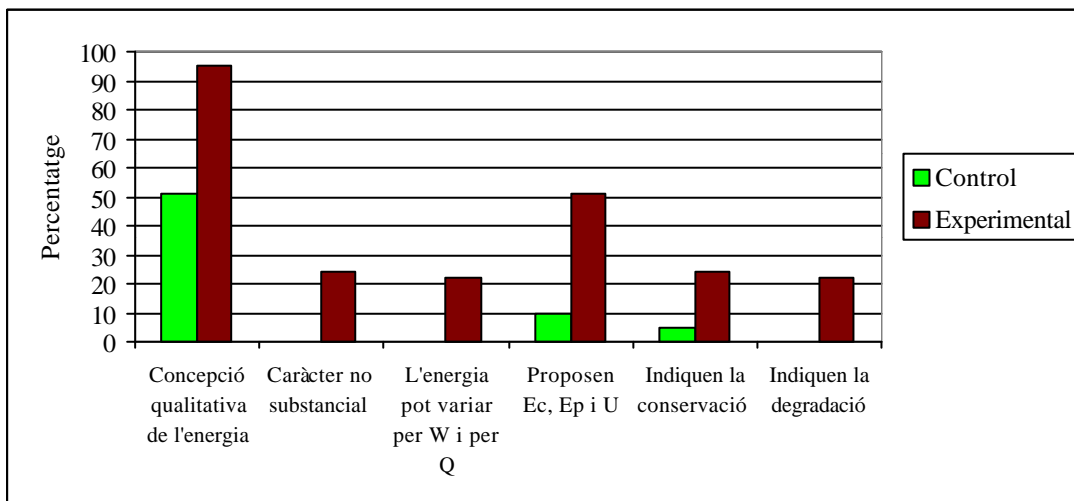
TAULA I

PROPOSTES FETES EN RELACIÓ A L'ENERGIA

	Control		Experimental	
	N = 37		N = 41	
	%	(Sd)	%	(Sd)
Proposen una concepció qualitativa de l'energia	51	(8)	95	(3)
Fan referència al caràcter no substancial de l'energia	3	(3)	24	(7)
Assenyalen que el treball i la calor són maneres de canviar l'energia	0	(-)	22	(6)
Es refereixen a l'energia cinètica, la potencial gravitatòria i la interna	10	(5)	51	(8)
Fan referència a la conservació de l'energia	5	(4)	24	(7)
Fan referència a la degradació de l'energia	0	(-)	22	(6)

GRÀFIC I

PROPOSTES FETES EN RELACIÓ A L'ENERGIA



Si solament un estudiant de Control qüestiona la idea substancial de l'energia, açò ho fan la quarta part dels estudiants Experimentals. A més, mentre que només el 10% dels alumnes de Control esmenten, almenys, a l'energia cinètica, la potencial gravitatòria i la interna, com a formes diferents de l'energia, en el cas de l'alumnat Experimental el percentatge augmenta fins el 51%.

També hem de notar que menys de la quarta part dels alumnes del grup Experimental es refereixen al treball i a la calor com a maneres diferents de canviar l'energia d'un sistema, o a la conservació i a la degradació de l'energia, com a aspectes en els quals s'ha de fer èmfasi. Això planteja la necessitat de noves accions educatives per a reforçar aquests aspectes, encara que els percentatges obtinguts en el cas dels alumnes de Control són considerablement inferiors.

2. Si hagueres d'explicar-li a un estudiant què és el treball, ¿qui-nes coses li diries?

Una concepció adequada del treball suposa acceptar, entre d'altres aspectes, que:

- El treball, qualitativament, pot concebre's com la transformació de la matèria mitjançant l'aplicació de forces.
- La realització de treball fa variar l'energia dels sistemes.
- La seua definició operativa, derivada de la idea qualitativa per al cas de les transformacions més senzilles, ve donada per l'expressió $W = F \cdot \Delta e \cdot \cos \theta$ (si la força és constant en mòdul i direcció, i sempre que l'objecte es desplace en línia recta).

Com assenyalarem a la Taula II, contra el 3% dels alumnes de Control que proposen una idea qualitativa correcta de treball, aquest percentatge augmenta fins el 90% en el cas de l'alumnat Experimental.

Hem de destacar que una tercera part dels alumnes Experimentals plantegen d'una manera explícita les diferències entre treball i força (o esforç):

TAULA II
Propostes fetes en relació al treball

	Control	Experimental
	N = 33	N = 43
	% (Sd)	% (Sd)
Proposen una idea qualitativa correcta de treball	3 (3)	93 (4)
El treball es mesura a partir de l'expressió $W = F \cdot Ae \cdot \cos \theta$	79 (7)	65 (7)
Relacionen el treball amb la variació d'energia	3 (3)	74 (7)

Pel que fa a l'expressió $W = F \cdot \Delta e \cdot \cos \theta$, hem trobat que el percentatge d'alumnes Experimentals que la proposen és un poc inferior al de Control (65% contra 79%).

Per acabar, assenyalarem que contra el 3% de l'alumnat de Control que afirma l'existència d'una relació entre el treball i l'energia, aquesta connexió la proposen el 74% dels alumnes Experimentals.

3. Si hagueres d'explicar-li a una persona què és la calor, quines coses li diries?

Una concepció adequada d'aquest concepte suposa acceptar que:

- La calor no és cap mena de substància continguda en els objectes, ni tampoc un tipus d'energia, sinó una manera de canviar l'energia d'un sistema.
- El treball i la calor són maneres diferents de modificar l'energia d'un sistema, $W + Q = \Delta E$. Parlem de treball quan les interaccions són macroscòpiques (objectes en moviment i sotmesos a forces que podem mesurar). Quan es tracta d'interaccions entre les partícules constituents de la matèria (que tenen lloc com a conseqüència del contacte entre objectes a temperatures diferents), es fan molts treballs, i no podem calcular-los tots, però els englobem en la magnitud calor.
- No té sentit parlar d'energia calorífica per la mateixa raó que no parlem d'energia treballosa.
- Hem de distingir entre la calor i l'energia interna. L'energia interna està associada a les partícules constituents de la matèria; la calor és allò que es fan els objectes quan, estant a temperatures diferents, els posem en contacte.

Encara que els alumnes de Control no havien estudiat la calor en l'assignatura de Física de COU, decidirem plantejar-los aquesta activitat perquè es tracta d'un concepte que havien treballat a l'assignatura de Química.

Com veiem a la Taula III, hi ha diferències entre els resultats obtinguts per uns i altres. Mentre que el 15% de l'alumnat de Control assenyalava que la calor és una manera de canviar l'energia d'un sistema, això ho fa el 42% de l'alumnat Experimental.

TAULA III
Propostes fetes en relació a la calor

	N = 33		N = 43	
	%	(Sd)	%	(Sd)
Assenyalen que la calor és una manera de canviar l'energia	15	(6)	42	(7)
Es refereixen al caràcter no substancial de la calor	0	(-)	35	(7)
Fan referència a l'energia interna com una cosa diferent a la calor	3	(3)	53	(8)
Fan afirmacions no significatives o incorrectes	85	(6)	35	(7)

Convé subratllar el fet que el 35% de l'alumnat Experimental s'haja referit al caràcter no substancial de la calor, cosa que no ha fet cap alumne de Control. També, els alumnes Experimentals assenyalen en major mesura que no els de Control el fet de ser la calor i l'energia interna conceptes diferents (53% contra 3%).

4. Què hem d'entendre, des d'un punt de vista físic, quan ens diuen que "un objecte de 100 kg, situat a una altura de 5 m, té una energia potencial gravitatòria de 5000 J"?

En primer lloc, encara que en l'expressió anterior es parla de l'energia d'un objecte, cal ressaltar que es tracta d'un propietat del sistema format per l'objecte i la Terra.

Per altra part, els estudiants hauran d'esmentar el fet que no és possible determinar d'una manera absoluta l'energia d'un sistema. El valor de 5000 J donat representa, per exemple, l'augment d'energia potencial que experimenta el sistema quan l'objecte passa d'estar a l'altura que hem considerat zero, a l'altura de 5 m (d'una manera semblant podríem dir que aquest valor representa la disminució d'energia potencial que experimenta el sistema quan l'objecte passe d'estar a l'altura de 5 m a l'altura zero). també acceptarem com a correctes afirmacions relatives al treball que pot realitzar aquest sistema.

TAULA IV
Resultats obtinguts amb la 4a activitat

	Control	Experimental
	N = 33	N = 43
	% (Sd)	% (Sd)
Propostes que poden considerar-se correctes	3 (3)	70 (7)

Com podem veure a la Taula IV, el percentatge de respostes correctes augmenta del 3% en el grup de Control al 70% en l'Experimental.

D'altra banda, mentre que cap dels alumnes de Control esmenten la necessitat de considerar a la Terra per a poder parlar de l'energia potencial, això ho fan la tercera part dels alumnes Experimentals.

5. Si l'energia es conserva, per què sovint els mitjans de comunicació parlen de la necessitat d'estalviar energia?

La conservació és una característica essencial de l'energia, però una comprensió adequada d'aquest concepte significa que l'alumnat sàpiga que aquesta conservació no està en contradicció amb l'*esgotament* del que solen parlar els mitjans de comunicació: a mesura que els sistema interaccionen i es transformen, l'energia va transformant-se en energia interna, va *distribuint-se*, i això fa disminuir la seua capacitat per a seguir provocant canvis (*macroscòpics*).

A la Taula V i al Gràfic V mostrem els resultats obtinguts amb la 5a activitat. Com veiem, el percentatge de respostes correctes és significativament superior en el cas dels alumnes Experimentals.

TAULA V
Resultats obtinguts amb la 5a activitat

	Control	Experimental
	N = 33	N = 43
	% (Sd)	% (Sd)
Propostes que poden considerar-se correctes	3 (3)	51 (8)

6. Quan posem en contacte dos objectes a diferent temperatura, solem dir que “passa calor des de l’objecte calent al gelat, fins que les temperatures dels dos objectes s’igualen”. Des d’un punt de vista físic, què hem d’entendre amb aquesta afirmació?

Una comprensió adequada de la calor, i de l’energia, suposa parar atenció a les interaccions a nivell microscòpic i a les formes d’energia (interna) associades. És a dir, l’energia interna està associada a les partícules constituents dels objectes, i la comprensió de l’existència d’aquesta forma d’energia com una cosa diferent a la calor és essencial per a adquirir un bon aprenentatge d’ambdós conceptes.

La situació plantejada en aquesta activitat no està pensada per a mostrar que l’alumnat de secundària manté una idea substancial de la calor (que en aquestes edats pocs són els que les comparteixen), sinó per posar de relleu que, fins i tot en un context acadèmic, a l’hora d’explicar l’equilibri tèrmic que s’assoleix en posar en contacte objectes a temperatures diferents, una part considerable dels estudiants, no utilitzen la teoria cinètica de la matèria per a donar una explicació física del procés.

Com mostrem a la Taula VI, mentre que només el 19% dels alumnes de Control hi donen explicacions que podem considerar correctes, el percentatge augmenta fins al 78% per al cas de l’alumnat Experimental. Si, majoritàriament, els alumnes de Control es refereixen a un transvasament de calor entre els objectes, la majoria dels Experimentals interpreten l’equilibri tèrmic a partir de la teoria cinètica de la matèria.

TAULA VI
Respostes donades a la 6a activitat

	Control	Experimental
	N = 37	N = 41
	% (Sd)	% (Sd)
Ho expliquen en base a un transvasament de calor	43 (8)	7 (4)
Ho expliquen en base a l’en. interna o a la teoria cinètica de la matèria	19 (6)	78 (6)
Altres explicacions incorrectes o cap explicació	38 (8)	15 (6)

7. Volem ajudar-nos d’un alçaprem per a elevar una pedra a una certa altura. ¿Creus que farem el mateix treball en els dos casos? Raona la resposta.



La situació plantejada a la 7a activitat és fàcilment abordada amb la idea qualitativa de treball com a procés de transformació de la matèria mitjançant forces. Així, el fet que, en ambdós casos, la pedra experimente el mateix canvi, ens porta a predir que el treball fet sobre ella serà idèntic.

TAULA VII
Resultats obtinguts amb la 7a activitat

	7a			
	Control		Experimental	
	N = 33		N = 43	
	%	(Sd)	%	(Sd)
Responen correctament	24	(7)	90	(5)

El propòsit d'aquesta activitat és esbrinar en quina mesura els estudiants disposen i utilitzen aquesta concepció qualitativa de treball a l'hora d'intentar abordar-la, o si s'encaren a ella fent un mal ús de la definició operativa, assenyalant que *el treball serà major en el primer cas, perquè hem de fer més força* (sense cap consideració al fet que el desplaçament de la força siga major en el segon cas). L'anàlisi comparativa dels resultats obtinguts (Taula VII) mostra que el percentatge d'alumnes Experimentals que afirmen que el treball realitzat serà el mateix, independentment de l'alçaprem utilitzat, és significativament superior a l'obtingut en el cas dels de Control.

8. Disposem d'un pèndol d'1 m de llargària. La massa de la boleta és de 50 g i la del fil podem considerar-la menyspreable. Separem la boleta 1 cm de la vertical i la soltem. Determineu el treball fet per la força pes des que soltem la boleta fins que arriba a l'altre extrem. (Suposem que el fregament és insignificant).

Una comprensió adequada del concepte de treball suposa conèixer la seua definició operativa, $W = F \cdot \Delta e \cdot \cos\theta$ (vàlida per al cas d'una força constant i un moviment rectilini), però també la seua relació amb l'energia, $W = \Delta E$. L'activitat núm. 8 pot ser resolta molt fàcilment a partir de la relació $W = \Delta E$, i el nostre objectiu és constatar en quina mesura els estudiants s'encaren a la situació plantejada amb aquesta expressió, o si, per contra, intenten resoldre-la amb l'expressió $W = F \cdot \Delta e \cdot \cos\theta$.

TAULA VIII

Resultats obtinguts en analitzar la manera com els alumnes intenten determinar el treball realitzat en un procés

	8a			
	Control		Experiment	
	N = 33		N = 43	
	%	(Sd)	%	(Sd)
Intenten resol. emprant $W = F \cdot \Delta e \cdot \cos\theta$	48	(9)	14	(5)
Intenten resoldre emprant $W = \Delta E$	6	(4)	49	(8)

A la Taula VIII podem veure que, contra el 6% en el cas dels estudiants de Control, el 49% dels Experimentals utilitzen la relació $W_{ext} = \Delta E$ per

determinar el treball realitzat en la situació plantejada, i això mostra el millor aprenentatge aconseguit per aquests alumnes dels conceptes de treball i d'energia.

9. A un objecte de 50 kg, en repòs sobre una superfície horitzontal, li apliquem una força constant de 150 N. Calcula la seva velocitat quan s'haja desplaçat 2 m. (Suposem que el fregament és insignificant).

Com ja hem assenyalat en Domènech (2000), podem afirmar que els estudiants han après d'una manera significativa els conceptes de treball i d'energia quan els utilitzen per encarar-se a problemes.

No cal dir que el problema que es proposa en la 9a activitat pot ser resolt a partir de les equacions de la dinàmica i la cinemàtica, però també, i més fàcilment, a partir dels conceptes de treball i d'energia. El nostre propòsit és esbrinar fins a quin punt els alumnes ho fan d'aquesta segona manera.

Com podem veure a la Taula IX, el percentatge de l'alumnat Experimental que intenta resoldre el problema utilitzant els conceptes de treball i d'energia és considerablement superior al de Control. Aquest resultat és coherent amb els obtinguts en altres activitats anteriors i ens permet afirmar que els estudiants tractats han après d'una manera més útil, més funcional, els conceptes de treball i d'energia.

TAULA IX

Resultats obtinguts en analitzar els conceptes que els alumnes utilitzen a l'estudi d'un moviment

	9a			
	Control		Experimental	
	N=33		N=43	
	%	(Sd)	%	(Sd)
Intenten resoldre per Dinàmica i Cinemàtica	91	(5)	7	(4)
Intenten resoldre per $W = \Delta E$	3	(3)	88	(5)

Per tal de disposar d'una visió conjunta, en el Gràfic II exposem els resultats que acabem de presentar i comentar. Aquest gràfic permet apreciar com els resultats dels estudiants tractats són sistemàticament superiors als de Control, amb l'única excepció de l'apartat corresponent a proporcionar una definició operativa correcta de la magnitud treball. Assenyalarem també el paral·lelisme que, en general, presenten aquestes gràfiques, reforça, sens dubte, la validesa dels resultats obtinguts.

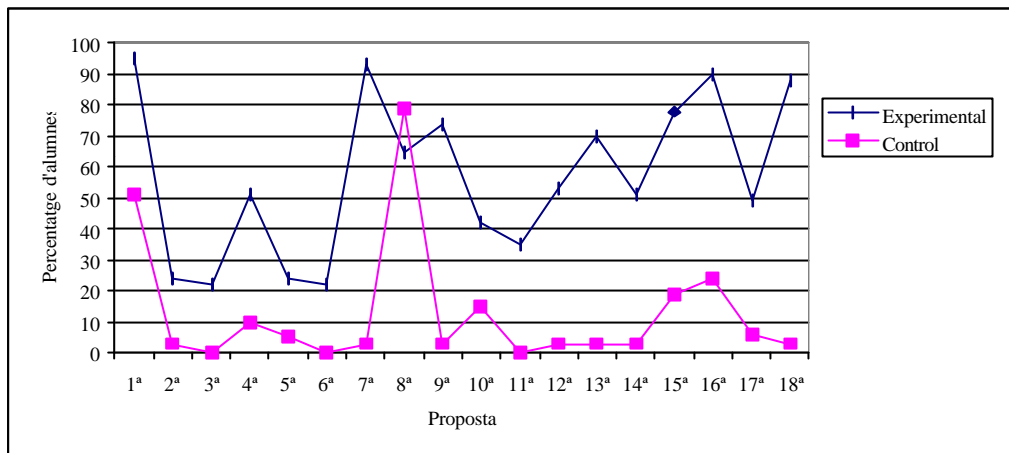
Afegirem, per acabar, que amb l'objectiu d'analitzar en quina mesura la millor comprensió assolida pels estudiants Experimentals continuava manifestant-se després d'un temps considerable, els encaràrem, sis mesos després (a principi del curs següent), a altres activitats relacionades amb aquests conceptes: els resultats continuaven sent molt més positius per als estudiants del grup Experimental (Domènech 2000)

Conclusions

Els resultats anteriors ens permeten afirmar que l'aprenentatge assolit pels estudiants que han seguit els programes d'activitats dissenyats, han

assolit una millor comprensió dels conceptes d'energia, treball i calor, així com de les relacions entre ells, que els estudiants de Control.

GRÀFIC II
Propostes fetes pels estudiants a les activitats anteriors



- 1a Proposen una concepció qualitativa per a l'energia
- 2a Esmenten el caràcter no substancial de l'energia
- 3a Indiquen que el treball i la calor són maneres diferents de canviar l'energia d'un sistema
- 4a. Esmenten, almenys, a l'energia cinètica, la potencial i la interna
- 5a. Es refereixen a la conservació de l'energia
- 6a Es refereixen a la degradació de l'energia
- 7a Proposen una concepció qualitativa per al treball
- 8a Proposen la definició operativa de treball, $W = F \cdot \Delta e \cdot \cos \theta$
- 9a Relacionen el treball amb la variació d'energia
- 10a Assenyalen que la calor és una manera de canviar l'energia d'un sistema
- 11a Fan referència al caràcter no substancial de la calor
- 12a Assenyalen que la calor i l'energia interna són conceptes diferents
- 13a Interpreten correctament el significat de l'expressió "l'energia potencial és de 5000 J"
- 14a Compatibilitzen la conservació de l'energia i el seu esgotament
- 15a Expliquen correctament l'equilibri tèrmic
- 16a Assenyalen que el treball fet en un procés és el mateix, ens ajudem o no de màquines simples
- 17a Utilitzen l'expressió $W = \Delta E$ per determinar el treball en un procés
- 18a Utilitzen el conceptes de treball i d'energia per resoldre un problema de moviment.

D'una manera més concreta, podem afirmar que, en general, els estudiants que han treballat els programes d'activitats no només tenen en compte més aspectes rellevants dels conceptes sinó que, a més, els arguments que fan servir en les seues argumentacions estan més elaborats i desenvolupats.

La major comprensió assolida es fa palesa, també quan comprovem el major ús que fan els estudiants Experimentals de la relació entre el treball i la variació d'energia per donar compte de les situacions a què s'encaren.

Volem assenyalar, per últim, que les diferències dels resultats obtinguts entre ambdós grups d'estudiants no poden atribuir-se al conegut efecte Hawthorn (Hayman 1981), segons el qual, els resultats obtinguts per aquells que fan una innovació són, en general, millors que els obtinguts habitualment –encara que aquesta innovació no aporte millores substancials- a causa de l'interès que els autors de la innovació posen en la tasca i al seu desig de que les coses funcionen bé. Això, però, no pot justificar diferències molt apreciables, com les obtingudes en aquesta investigació.

Malgrat aquestes millores aconseguides, hem d'assenyalar que, al nostre parer, les millores continuen sent insuficients en alguns aspectes i això mostra la necessitat de seguir aprofundint en aquesta problemàtica.

Referències bibliogràfiques

ALEXOPOULOU, E., DRIVER, R., 1996. Small-group discussion in physics: peer interaction modes in pairs and fours. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (10), 1099-1114.

CALATAYUD, M.L. ET AL., 1990. *La construcción de las ciencias físico-químicas*. (València: Nau llibres).

CUDMANI, L., SALINAS, J., PESA, M., 1991. La generación autónoma de "conflictos cognoscitivos" para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 237-242.

DOMÉNECH, J. L., 2000. L'ensenyament de l'energia en l'educació secundària. Anàlisi de les dificultats i una proposta de millora. Tesi doctoral. Universitat de València.

DOMÉNECH, J.L., GIL, D., GRAS, A., GUIASOLA, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., i SALINAS, J., 2001. La enseñanza de la energía en la educación secundaria. Un análisis crítico. *Revista de Enseñanza de la Física* (sotmés a publicació).

DRIVER, R., WARRINGTON, L., 1985. Students use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, 171-176.

DUIT, R. 1981a. Understanding energy as conserved quantity. *European Journal of Science Education*, vol. 3 (3), 291-301.

DUIT, R. 1981b. Students' notions about the energy concept-before and after physics instruction. En Jung, W., Pfundt, H. i Rhoeneck (eds), *Problems Concerning Students' Representations of Physics and Chemistry Knowledge*. Pädagogische Hochschule, Ludwigsburg (1982).

DUSCHL, R. A. i HAMILTON, R., 1998. Conceptual change in science and in the learning of science. B.J. Fraser i K.G. Tobin (eds), 1998. *International Handbook of Science Education*. (London: Kluwer Academic Publishers).

GIL, D. i CARRASCOSA, J., 1994. Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: a permanent feature in innovations in science teaching. *Science Education* 78 (3), 301-315.

GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. i MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1991. *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Madrid: ICE/Horsori).

- GIL, D., FURIÓ, C. i CARRASCOSA, J., 1996a. Curso de formación para profesores de Ciencias. Unidad I.1. La energía: la invención de un concepto fructífero. (Madrid: MEC).
- GIL, D., FURIÓ, C. i CARRASCOSA, J., 1996b. Curso de formación para profesores de Ciencias. Unidad I.2. Cambios en la energía de los sistemas. (Madrid: MEC).
- GIL, D., FURIÓ, C. i CARRASCOSA, J., 1996c. Curso de formación para profesores de Ciencias. Unidad I.3. ¿Cómo se transmite la energía? Introducción al estudio de las ondas. (Madrid: MEC).
- GIL, D., FURIÓ, C. i CARRASCOSA, J., 1996d. Curso de formación para profesores de Ciencias. Unidad I.4. Usos de la energía: papel de la energía en nuestras vidas. (Madrid: MEC).
- GIL, D., FURIÓ, C. i CARRASCOSA, J., 1996e. Curso de formación para profesores de Ciencias. Unidad I.5. Fuentes de energía: problemas asociados a su obtención y uso. (Madrid: MEC).
- GIL, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M., PESSOA, A. M., 1999. ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? Enseñanza de las Ciencias, 17 (2), 311-320.
- GIL, D. i MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1987. Los programas-guía de actividades: Una concreción del modelo constructivista del aprendizaje de las ciencias. Investigación en la Escuela, 3, 3-12.
- HAYMAN, J.L., 1981. Investigación y educación. (Barcelona: Paidós).
- HIERREZUELO, J., et al., 1996. Ciencias de la Naturaleza 4º ESO. (Zaragoza: Edelvives-MEC).
- KEMPA, R.F., AYOB, A., 1995. Learning from group work in science. International Journal of Science Education, 17 (6), 743-754.
- PIBURN, M.D., BAKER, D. R., 1993. If I were the teacher... Qualitative study of attitude toward science. Science Education, 77 (4), 393-406.
- PINTÓ, R., 1991. Algunos conceptos implícitos en la Primera y Segunda leyes de la Termodinámica: una aportación al estudio de las dificultades de su aprendizaje. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- ROTH, W.M., 1994. Student views of collaborative concept mapping: an emancipatory research project. Science Education, 78 (1), 1-34.
- ROTH, W.M., 1997. Instructional structures during a grade 4-5 Open-design engineering unit. Journal of Research in Science Teaching, 34 (3), 273-302.
- SOLBES, J. i TARÍN, F., 1998. Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. Enseñanza de las Ciencias, 16 (3), 387-397.
- SWAIN, J., MONK, M. i JOHNSON, S., 1999. A quantitative study of the differences in ideas generated by three different opportunities for classroom talk. International Journal of Science Education, 21 (4), 389-399.
- TOBIN, K., 1998. Issues and trends in the teaching of science. En Fraser, B.J. i Tobin, K.G. (eds), 1998 International Handbook of Science Education (London: Kluwer Academic Publishers).
- TOBIN, K., TIPPINS, D.J. i GALLARD, A.J., 1994. Research on instructional strategies for teaching science. En Gabel, D.L. (eds), 1994 Handbook of Research on Science Teaching and Learning. (New York: MacMillan Pub Co).