

Què entenem per una bona comprensió de l'energia?

Josep Lluís Doménech Blanco

IES Antoni Llidó, Xàbia

Plantejament del problema

Vull començar assenyalant que el què anem a fer ací forma part d'un treball que estem fent per tal de millorar l'aprenentatge de tot allò relacionat amb l'energia per part dels estudiants de secundària.

Diverses raons podem aportar per tal de justificar l'estudi de l'energia en aquest nivell educatiu. Així, podem apuntar que l'energia constitueix una problemàtica bàsica per a la formació de ciutadans i ciutadanes capaços de participar en la presa fonamentada de decisions a favor d'una societat sostenible. L'estudi de l'energia resulta imprescindible per a la comprensió del funcionament de les màquines i instruments que fan més comfortable la vida de les persones, i també per a la presa de consciència dels problemes mediambientals i desequilibris socials que acompanyen a aquest nivell de vida i de desenvolupament.

Juntament amb aquests arguments, ens trobem amb el fet que, des d'un punt de vista purament disciplinar, l'energia proporciona una clau important per al tractament dels diferents problemes científics i tecnològics. Tant és així que el concepte d'energia és utilitzat en camps tan distints com ara la mecànica, la termodinàmica, l'electricitat, les reaccions químiques, la biologia, etc., i això posa de relleu el caràcter integrador d'aquest concepte.

La importància donada a l'estudi de l'energia, fins i tot en els primers cursos de l'educació secundària, ha anat acompanyada de la constatació de dificultats en l'aprenentatge d'aquest camp de coneixements, donant lloc a la realització de nombroses investigacions en les quals s'han abordat problemes relacionats amb el seu ensenyament i aprenentatge.

Aquests treballs han permès traure a la llum les preconcepcions que sobre l'energia tenen els alumnes abans d'entrar a les aules; també han mostrat alguns inconvenients sobre la manera com introduïm aquests conceptes a les classes; i han posat de relleu alguns obstacles que dificulten un bon aprenentatge per part dels estudiants.

Tots aquests estudis, però, s'han centrat, en general, en diferents aspectes concrets i, al nostre parer, les dificultats assenyalades en la literatura estan relacionades entre sí i demanen un estudi més global. Convé, per tant, començar realitzant un esforç d'explicitació d'allò que hauríem de considerar una bona comprensió d'aquesta temàtica per part dels estudiants de secundària. És per això que hem fet una revisió detinguda de la literatura, consultant treballs d'investigació i llibres de text universitaris, i hem entrevistat professors d'universitat i d'ense-

nyament secundari. Hem d'advertir, però, que han sigut poques les entrevistes que hem realitzat a professors. És per això, que volem aprofitar aquestes jornades per a demanar-vos la vostra opinió al respecte. De manera que puguem incorporar aquells aspectes en els que no havíem pensat o per a constatar fins a quin punt existeix un consens entre el professorat sobre allò que hem d'entendre per una bona comprensió de la problemàtica de l'energia.

Què entenem per una bona comprensió de l'energia en l'ensenyament secundari?

A continuació presentem, en forma de 25 tesis o proposicions, el resultat d'aquest treball d'aclariment. Em referiré, en primer lloc, als aspectes purament conceptuals, i abordaré, en segon lloc, els aspectes procedimentals i axiològics. Començarem, per tant, presentant **allò que els estudiants haurien d'arribar a comprendre al voltant de l'energia:**

1. Les **transformacions**, o canvis en qualsevol de les propietats, que experimenta un sistema **són degudes a les interaccions** amb altres sistemes o a interaccions entre les seues parts; és a dir, són degudes a la capacitat de la matèria per a interaccionar de diverses formes.

2. L'explicació física dels canvis que experimenten els sistemes, es troba, per tant, en les propietats de la matèria i en la configuració dels sistemes, però aquestes **transformacions poden associar-se a variacions d'energia** dels sistemes. En una primera aproximació podem, per tant, referir-nos a l'energia com la "capacitat de produir transformacions".

3. En contra del que solen creure alguns estudiants, **l'energia no és cap mena de fluid**, cap mena de combustible necessari per a produir transformacions.

4. Això no significa, però, que hem de renunciar a comprendre el seu significat, i donar-nos per satisfets amb plantejaments purament operativistes, cosa que sovint se sol fer. Podem recordar, a títol d'exemple, allò que afirma Feynman en el cèlebre text de Física: "És important adonar-se de que en la física actual no sabem què és l'energia. No disposem d'un model d'energia formada per gotetes xicotetes d'una grandària definida. No és així. Però, disposem d'expressions per a calcular una quantitat numèrica i quan les sumem totes sempre ens trobem amb el mateix resultat". **És necessari 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 configuracions permeten. Així, per exemple, diem que el vent té energia perquè les partícules d'aire poden colpejar un braç d'un molí i fer-lo girar vençant la fricció, etc.

5. De la mateixa manera, **convé 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), i això ha de ser posat de relleu, encara que també hem d'assenyalar les limitacions.

6. Podem parlar de diverses formes d'energia (cinètica, potencial gravitatòria, etc.) associades a diferents configuracions dels sistemes i a distintes maneres d'interaccionar de la matèria.

7. No té sentit parlar de l'energia d'un objecte aïllat. Quan es parla, per exemple, de l'energia potencial gravitatòria d'una pedra, sabem que és deguda a la interacció entre la pedra i la Terra i, per tant, pertany al conjunt format per tots dos, i no només a la pedra.

De la mateixa manera, tampoc no podem pensar en l'energia cinètica d'un objecte aïllat. L'energia cinètica expressa la capacitat d'un objecte per a interaccionar amb d'altres a causa precisament que es desplaça amb una velocitat determinada respecte d'ells, i, per tant, l'energia cinètica pertany a l'objecte en qüestió i a aquells amb els quals pot interaccionar.

8. Tampoc no té sentit pensar que és possible determinar d'una manera absoluta l'energia d'un sistema, només podem determinar les variacions d'energia.

9. Les variacions d'energia d'un sistema poden ser degudes a la realització de treball i a la calor (i això deixant a banda, en aquest nivell, tot allò relacionat amb la radiació).

10. Els canvis soferts pels sistemes poden comportar transformacions d'unes formes d'energia en d'altres i/o transferències d'energia d'uns sistemes a d'altres (o d'unes parts del sistema a d'altres). Però, **l'energia total d'un sistema aïllat roman constant.** Això ha portat a alguns autors a senyalar les limitacions amb que entopessa la idea d'energia com a "capacitat de produir canvis", ja que el seu valor roman constant.

11. Ara bé, podem fer una lectura diferent i pensar que, si bé l'energia total d'un sistema aïllat roman constant, **sempre que un sistema experimente canvis, ocorren transferències i/o transformacions d'energia al seu si.** Això dóna sentit a l'associació que se sol fer entre energia i canvi, encara que açò no permet explicar les seqüències de canvis possibles.

12. L'establiment del principi de conservació exigeix prendre en consideració les interaccions a nivell submicroscòpic i les formes d'energia "interna" associades (i això només fou possible quan es va comprendre la relació entre la mecànica i la calor).

Hem de rebutjar, per tant, els intents per presentar el principi de conservació de l'energia com una generalització de les relacions treball i energia establertes en mecànica.

13. Des d'aquesta perspectiva, la calor apareix com una magnitud que engloba el conjunt de treballs realitzats a nivell submicroscòpic. Per tant, **la calor, com el treball, no és una forma d'energia.** Quan parlem d'energia calorífica o tèrmica, estem parlant d'energia interna. Convé reservar el terme "calor" per als intercanvis d'energia associats a diferències de temperatura.

14. Com a resultat de les interaccions i consegüents transformacions dels sistemes, l'energia es degrada, és a dir, va distribuïnt-se (transformant-se, per exemple, en energia interna), i això fa que disminueixi la possibilitat d'ulteriors transformacions dels sistemes.

15. Més precisament, hauríem de dir que **la distribució de l'energia (l'augment de l'entropia) disminueix les possibilitats de transformacions... macroscòpiques** dels sistemes. És necessari fer aquesta precisió, perquè l'anomenada "mort tèrmica de l'univers" no significa que deixen d'esdevenir-se canvis: les interaccions (i, per tant, les transformacions) continuen produint-se a nivell submicroscòpic. El que són altament improbables (no impossibles) són les transformacions "macroscòpiques".

16. Quan parlem de "consum d'energia", "crisi energètica", etc., no volem dir que l'energia desapareix, sinó que s'ha "homogeneïtzat" i ja no és útil (la configuració del sistema no permet que ocorreguen canvis "macroscòpics"). Desapareix, d'aquesta manera, l'aparent contradicció entre la "conservació de l'energia" i la "necessitat de recursos energètics".

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

Aquestes són algunes idees claus que cal conèixer per assolir una comprensió conceptual adequada d'aquest domini. Ara bé, un bon coneixement científic no pot reduir-se als aspectes conceptuals, també **té exigències procedimentals i axiològiques.** Més encara: no podem esperar que els estudiants assolisquen la comprensió conceptual si no es prenen en consideració aspectes com ara:

18. Conèixer els problemes que justifiquen la introducció dels conceptes. És a dir, és necessari que l'alumnat perceba que els conceptes no s'introdueixen d'una manera arbitrària,

sinó que són invencions que es fan, amb caràcter temptatiu, amb el propòsit de resoldre **problemes**.

19. Discutir l'interés dels problemes tractats. En aquest cas, convé discutir l'interés per estudiar els canvis (conèixer per què es produeixen, com afavorir-los, com evitar els no desitjats, etc.)

20. Si volem que els estudiants vegem **la construcció dels coneixements com un procés dinàmic** –que pot comportar retocs i, fins i tot, replantejaments globals- considerem necessari no presentar els coneixements en el seu estat d'elaboració final, sinó, més bé, fer-los seguir, en la mesura que siga possible, el procés de la seua construcció.

21. Això suposa que els estudiants tinguen **ocasió d'utilitzar les estratègies del treball científic** (concebre hipòtesis, analitzar les situacions d'una manera qualitativa, fer dissenys experimentals, etc.) i puguen acarar les seues construccions temptatives amb les de la comunitat científica.

22. Això ha de permetre, molt en 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** (que donà peu a la comprensió de la naturalesa de la calor i a l'establiment del principi de conservació i transformació de l'energia).

23. Convé ressaltar la **validesa universal d'aquest principi de conservació i transformació de l'energia**, aplicable en qualsevol procés físic, químic, biològic... vàlid tant en el nivell macroscòpic com en el submicroscòpic. El principi es converteix d'aquesta manera 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 o descontextualitzades de la ciència i, també, per 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 del desenvolupament científic i tecnològic, i les conseqüències que se'n deriven. En el cas concret del camp de l'energia que ací ens ocupa, això suposa, entre d'altres, plantejar-se els problemes lligats a l'ús de les diverses fonts d'energia (extracció, transport, residus, etc.), incloent-hi els debats actuals sobre reducció de consum, energies alternatives, desequilibris entre països desenvolupats i en vies de desenvolupament, etc.

25. Un bon aprenentatge dels coneixements suposa, en general, la capacitat d'utilitzar-los en la resolució de problemes, en la interpretació qualitativa de situacions diverses (corresponents,

per exemple, a qüestions de la vida pràctica), etc. En el cas que ens ocupa és necessari, en particular, **vèncer la tendència dels estudiants a no fer ús dels plantejaments energètics**, limitant-se sistemàticament als plantejaments dinamicocinemàtics a l'hora d'estudiar els moviments.

Amb aquest conjunt de 25 proposicions hem intentat, sense ànim de ser exhaustius, oferir una visió global d'allò que podríem considerar una comprensió adequada del camp de l'energia.