

PROBLEMÁTICA DE LA ENSEÑANZA

LA ENSEÑANZA DE LA ENERGÍA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA. UN ANÁLISIS CRÍTICO.

JOSEP LLUÍS DOMÉNECH⁽¹⁾; DANIEL GIL-PÉREZ⁽¹⁾;
ALBERT GRAS⁽²⁾; JOAQUÍN MARTÍNEZ-TORREGROSA⁽²⁾;
GENARO GUIASOLA⁽³⁾; JULIA SALINAS⁽⁴⁾.

⁽¹⁾Universitat de València. España.

⁽²⁾Universitat d'Alacant. España.

⁽³⁾Universidad del País Vasco. España.

⁽⁴⁾Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.

RESUMEN

El primer propósito de esta investigación ha sido analizar la enseñanza y el aprendizaje de la energía desde un punto de vista global, integrador de distintas contribuciones que han ido convergiendo en una interpretación y en un uso adecuados de este concepto científico. Hemos procedido para ello a revisar la amplia literatura publicada a este respecto. A continuación se analiza en qué medida la enseñanza secundaria está contribuyendo a una correcta comprensión de este campo conceptual.

ABSTRACT

Our main aim in this research has been to analyse, from a global point of view, the process of teaching and learning about energy. We have reviewed for this the abundant literature published on the subject, trying to integrate several contributions which have converged towards an adequate interpretation and use of this conceptual domain. We have also analysed to what extent secondary science education is contributing to a correct understanding of this field.

INTRODUCCIÓN.

El estudio de la energía en la educación secundaria se justifica por muy diversas razones. En primer lugar constituye una problemática fundamental para la formación de ciudadanos y ciudadanas capaces de participar en la toma fundamentada de decisiones en pro de una sociedad sostenible. En efecto, su estudio resul-

ta imprescindible para la comprensión del funcionamiento de las máquinas e instrumentos que hacen más confortable nuestra vida o para la toma de conciencia de los problemas ambientales y desequilibrios sociales que caracterizan la actual situación de "emergencia planetaria" (Orr 1995).

Por otra parte, desde un punto de vista puramente disciplinar, la idea de energía proporciona una clave importante para el tratamiento de los más diversos problemas científicos y tecnológicos. Tanto es así que el concepto de energía es utilizado en campos tan distintos como la mecánica, la termodinámica, la electricidad, las reacciones químicas, la biología, etc., poniendo de relieve su carácter integrador.

Además, si una de las finalidades de la enseñanza de las ciencias es que los alumnos conozcan cómo se construyen y evolucionan los conceptos y las teorías científicas, el estudio de la energía está especialmente indicado, ya que, hasta llegar a su concepción actual, ha experimentado cambios muy sustanciales.

Esta importancia dada al estudio de la energía, incluso en los primeros cursos de la educación secundaria, ha ido acompañada de la constatación de serias dificultades en el aprendizaje de este concepto, lo que ha llevado a la realización de numerosas investigaciones y a la organización de conferencias y seminarios monográficos, en los que se han abordado problemas relacionados con su enseñanza y aprendizaje y se han propuesto diversas formas de introducir este concepto en las aulas. A este respecto podemos citar entre otros los trabajos de Duit (1981a y b, 1986 y 1987), Black y Solomon (1983), Solomon (1983a y b y 1985), Watts (1983), Brook y Driver (1984), Driver y Warrington (1985), Hierrezuelo y Molina (1990), Trumper (1990, 1991 y 1997), Pintó (1991), Nicholls y Ogborn (1993), Hierrezuelo et al. (1996), Raviolo (1996), Varela et al. (1997), Koliopoulos y Rovanis (1998) El Hajjami et al. (1999) Tarín (2000).

En este trabajo nos referiremos, en primer lugar, a algunos precedentes de la investigación sobre problemas de aprendizaje y enseñanza de la energía. A continuación presentaremos un intento de visión global de lo que constituye una adecuada comprensión de esta temática y, por último, analizaremos en qué medida la enseñanza está contribuyendo a dicha comprensión.

1. DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE Y LA ENSEÑANZA DE LA ENERGÍA.

En un intento por dar cuenta de las dificultades en el aprendizaje de la energía se ha realizado un notable esfuerzo de investigación en torno a las preconcepciones que poseen los estudiantes *antes* de proceder a su estudio.

Diversos autores (Watts 1983; Brook 1986; Pintó 1991; Nicholls y Ogborn 1993) han resumido estas preconcepciones en los siguientes atributos ampliamente compartidos:

- La energía es una actividad humana.
- La energía es vista como un combustible.
- La energía está relacionada con el movimiento o con alguna actividad visible.
- La energía es una fuerza.
- La energía es una especie de fluido invisible.

Se han realizado estudios sobre los conocimientos de los estudiantes de distintos niveles *tras la enseñanza* de este dominio. Así, se ha constatado que para un número considerable de universitarios de licenciaturas de ciencias (Pintó 1991):

- La energía se concibe como una sustancia contenida en los objetos, gracias a la cual tienen lugar los cambios que suceden a nuestro alrededor.
- El trabajo no es visto como una manera de cambiar la energía de un sistema, sino como una forma de perderla.
- El calor es considerado una forma de energía, y la disipación de la energía suele concebirse como una conversión de la energía en calor.
- Los conceptos de calor, temperatura y energía interna están escasamente diferenciados entre sí.
- El principio de conservación de la energía no es comprendido correctamente.

Se ha constatado, también, la poca tendencia de los estudiantes a usar los conceptos de trabajo y energía a la hora de explicar las situaciones a las que se enfrentan (Driver y Warrington 1985; McDermott 1993; Guisasola et al. 1998).

Estas dificultades en el aprendizaje han puesto de relieve la conveniencia de analizar la manera como se enseñan habitualmente estos conceptos. Podemos referirnos así a un amplio debate, que se produjo en los años 80, en torno a cómo introducir la energía (Sexl 1981; Warren 1982; Hicks 1983). En el marco de este debate, Duit (1986) señaló la conveniencia de abordar tanto su transformación como su transferencia, conservación y degradación. Pero, como han mostrado Solbes y Tarín (1998), este planteamiento ha tenido un escaso eco entre el profesorado. A partir del análisis realizado sobre la manera como se introduce este concepto en

las aulas, Solbes y Tarín señalan que la enseñanza de la energía suele limitarse a su conservación; la transformación y, en mayor medida aún, la transferencia y la degradación, suelen abordarse sólo en contadas ocasiones.

Otro aspecto que ha preocupado a los estudiosos de la enseñanza de la energía es la frecuente presentación del teorema de conservación de la energía mecánica (derivado del teorema de las fuerzas vivas) como una versión simplificada del principio de conservación de la energía. A este respecto se ha señalado que:

- La expresión $W_{\text{res}} = \Delta E_{\text{c}}$, que relaciona el trabajo resultante realizado sobre un sistema con la variación de su energía cinética, no es de validez general. Sólo puede ser utilizada en el caso de objetos que puedan ser considerados puntuales (Arons 1989; Bauman 1992).

- La energía potencial es un concepto ligado al trabajo realizado por fuerzas interiores al sistema, y no por las exteriores (Bauman 1992; Mallinnckrodt y Leff 1992; Van Huis y Van den Berg 1993). Así, en el caso de un objeto situado en las cercanías de la Tierra, podremos hablar de la energía potencial gravitatoria cuando escojamos como sistema a estudiar al objeto y a la Tierra, pero no cuando prestemos atención únicamente al objeto.

- La expresión $E_{\text{c}} + E_{\text{p}} = \text{constante}$ que se establece en mecánica no es el principio de conservación de la energía (Arons 1989; Bauman 1992; Saltiel 1997; Solbes y Tarín 1998), sino una derivación de los principios de la dinámica, aplicable a los sistemas mecánicos en ausencia de trabajo de fuerzas no conservativas.

Tanto estos estudios sobre la enseñanza de la energía como los relativos a las dificultades de aprendizaje, se han centrado, en general, en distintos aspectos concretos. Pero, en nuestra opinión, las dificultades señaladas en la literatura están interrelacionadas entre sí y reclaman un estudio más global. Éste ha sido nuestro propósito en el presente trabajo, comenzando por establecer qué puede considerarse una buena comprensión de este campo de conocimientos.

2. ¿QUÉ ENTENDEMOS POR UNA BUENA COMPRENSIÓN DEL CONCEPTO DE ENERGÍA?

Tal como acabamos de señalar, nuestra intención es analizar la enseñanza y el aprendizaje de la energía desde un punto de vista global, integrador de distintas contribuciones que han ido convergiendo en una interpretación y un uso

adecuados de este concepto científico. Con ese fin hemos comenzado realizando un esfuerzo de explicitación de lo que cabría considerar una buena comprensión de esta temática por parte de los estudiantes de secundaria. Hemos recurrido para ello a una detenida revisión de la literatura -tanto trabajos de investigación didáctica como textos universitarios de Física- así como a entrevistas a profesores de secundaria y universidad.

Resumiremos a continuación, en forma de 26 tesis o proposiciones, el resultado de este trabajo de clarificación, refiriéndonos en primer lugar a lo que supone la comprensión conceptual del campo de la energía y abordando, en segundo lugar, los aspectos procedimentales y axiológicos. Pero hemos de llamar la atención sobre el hecho de que estas proposiciones están interconectadas y deben contemplarse conjuntamente.

2.1. ASPECTOS CONCEPTUALES QUE LOS ESTUDIANTES DEBERÍAN LLEGAR A COMPRENDER ACERCA DE LA ENERGÍA.

Incluimos aquí 18 proposiciones agrupadas en cinco bloques que hacen referencia, respectivamente, a:

- el significado de los conceptos;
- el carácter relativo de la energía;
- las relaciones entre energía, trabajo y calor;
- la conservación y transformación de la energía;
- la degradación de la energía.

2.1.1. ACERCA DEL SIGNIFICADO DE LOS CONCEPTOS.

Es difícil responder en pocas palabras a la pregunta *¿qué es la energía?* Pero esto no significa que hayamos de renunciar a comprender su significado ni que debamos contentarnos con planteamientos puramente operativistas, tal como se propone a menudo. Recordemos, a título de ejemplo, la justificación de tipo operativo brindada por Feynman et al. (1987): "Es importante darse cuenta de que en la Física actual no sabemos lo que es la energía. No tenemos un modelo de energía formada por pequeñas gotas de tamaño definido. No es así. Sin embargo, hay fórmulas para calcular cierta cantidad numérica y cuando las sumamos todas siempre encontramos el mismo número". Frente a estos planteamientos, consideramos fundamental romper con una introducción puramente operati-

va, sin significado, del concepto de energía. Se puede recordar a este respecto la célebre frase de Einstein: "Ningún científico piensa con fórmulas. Antes de que el físico comience a calcular ha de tener en su mente el curso de los razonamientos. Estos últimos, en la mayoría de los casos, pueden expresarse con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas constituyen el paso siguiente". Las proposiciones que siguen responden a esta exigencia de significatividad.

1. **La energía no es una especie de fluido,** no es una especie de combustible necesario para producir transformaciones, como a menudo conciben los estudiantes (Ogborn 1986; McClelland 1989; Trumper 1993).

2. Las **transformaciones** que experimenta un sistema son debidas a las interacciones con otros sistemas o a interacciones entre sus partes, es decir, son debidas a la capacidad de la materia para interactuar de diferentes formas (Fenn 1982; Sánchez Ron 1996; Arons 1997).

3. **La idea de energía puede asociarse a la configuración de los sistemas y a las interacciones que estas configuraciones permiten.** Así, por ejemplo, decimos que el viento tiene energía *porque* las partículas del aire pueden golpear las aspas de un molino y hacerlas girar venciendo la fricción, etc. (Resnick, Halliday y Krane 1993; Gil, Furió y Carrascosa 1996a).

4. De acuerdo con la proposición anterior, las **transformaciones en la configuración de los sistemas pueden asociarse a variaciones de energía** de dichos sistemas. *En una primera aproximación*, pues, podemos asociar la energía -como propuso Maxwell (1920) y siguen recomendando diversos autores (Sevilla 1986; Chisholm 1992; Hierrezuelo et al. 1996; Arons 1997)- a la "capacidad de producir transformaciones".

5. Se puede hablar de **diferentes formas de energía** (cinética, potencial gravitatoria, etc.) **asociadas a diferentes configuraciones de los sistemas y a distintas formas de interacción de la materia** (Arons 1989; Resnick, Halliday y Krane 1993).

6. **Es preciso romper igualmente con la introducción puramente operativa del concepto de trabajo.** Una expresión como $W = F \cdot \Delta e \cdot \cos\theta$ responde a una idea cualitativa de trabajo como proceso de transformación de la materia mediante fuerzas (para el caso más simple, del desplazamiento de un objeto) a la que

ya se refería Maxwell (1920), que no debe ser escamoteada (Calatayud et al. 1990; Gil, Furió y Carrascosa 1996a).

2.1.2. ACERCA DEL CARÁCTER SISTÉMICO Y RELATIVO DE LA ENERGÍA.

7. **No tiene sentido hablar de la energía de un objeto aislado.** Cuando hablamos, por ejemplo, de la energía potencial gravitatoria de una piedra sabemos que es debida a la interacción entre la piedra y la Tierra y, por tanto, pertenece al conjunto formado por los dos, y no sólo a la piedra (Mallinckrodt y Leffs 1992; Bauman 1992; Resnick, Halliday y Krane 1993; Arons 1997). Del mismo modo, tampoco podemos pensar en la energía cinética de un objeto aislado: la energía cinética expresa la capacidad de un sistema para interactuar con otros a causa precisamente de que se desplaza a una velocidad determinada respecto de ellos (Gil, Furió y Carrascosa 1996a).

8. **Tampoco tiene sentido pensar que es posible determinar de una manera absoluta la energía de un sistema,** solo podemos determinar sus variaciones o, lo que es lo mismo, sus valores relativos a determinados niveles de referencia (Beynon 1990; Chisholm 1992; Prideaux 1995).

2.1.3. ACERCA DE LAS RELACIONES ENTRE ENERGÍA, TRABAJO Y CALOR.

9. **Las variaciones de energía de un sistema pueden ser debidas a la realización de trabajo, calor o a la radiación** (Atkins 1992; Alonso y Finn 1996; Arons 1997), aunque esta última forma pueda dejarse a un lado en un primer nivel.

10. El calor aparece, en la perspectiva de la teoría cinético-molecular, como una magnitud que engloba el conjunto de trabajos mecánicos realizados a nivel submicroscópico. Por tanto, **el calor, al igual que el trabajo mecánico macroscópico, no es una forma de energía, sino de intercambiar energía** (Tarsitani y Vicentini 1991; Atkins 1992; Arons 1997). La energía interna de un sistema puede cambiar porque realiza (o se realiza sobre él) trabajo mecánico macroscópico ("trabajo") o microscópico ("calor") además de por otros procesos (por ejemplo, absorción de luz). Cuando se habla de energía calorífica o térmica se está hablando de energía interna (la parte de la misma asociada a

las propiedades térmicas). Conviene reservar la expresión "calor" a los intercambios de energía asociados a diferencias de temperatura (Alonso y Finn 1996).

2.1.4. ACERCA DE LA CONSERVACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA.

11. Los cambios experimentados por los sistemas pueden comportar transformaciones de unas formas de energía en otras y/o transferencias de energía de unos sistemas a otros (o de unas partes del sistema a otras). Pero **la energía total de un sistema aislado permanece constante**. Esto ha llevado a algunos autores a señalar las dificultades con que tropieza la idea de energía como "capacidad de producir cambios", puesto que su valor permanece constante y no es posible utilizar sus variaciones para explicar por qué se produce o no una secuencia de cambios (Duit 1986; Ogborn 1986 y 1990; Pintó 1991).

12. Podemos afirmar, no obstante, que, si bien la energía total de un sistema aislado permanece constante, **siempre que dicho sistema experimente cambios, necesariamente se han de producir transferencias y/o transformaciones de energía en su interior**. Esto justifica la asociación que se suele hacer entre energía y cambio, aunque esta asociación no ha de conducirnos, para el caso de sistemas aislados, a la idea de consumo de energía, ni permite explicar qué secuencias de cambios son posibles y cuáles no, sino que remite a la idea de *degradación* de la energía (ver proposición 14 y bloque 2.1.5).

13. **El establecimiento del principio de conservación exige tomar en consideración las interacciones a nivel submicroscópico y las formas de energía interna asociadas** (que comprenden la energía cinética debida al movimiento de los constituyentes microscópicos y la energía potencial debida a la interacción mutua entre dichos constituyentes). Esto sólo fue posible cuando se comprendió la relación entre los fenómenos mecánicos y los caloríficos (Alonso y Finn 1996; Gil, Furió y Carrascosa 1996b). De ningún modo, pues, pueden aceptarse los intentos de presentar el principio de conservación de la energía como una generalización de las relaciones trabajo-energía establecidas en Mecánica.

14. Aunque el principio de conservación y *transformación* de la energía establece que unas formas de energía pueden transformarse en otras, la

energía mecánica (macroscópica) y **la energía interna no son totalmente equivalentes**, ya que mientras en un sistema aislado es posible transformar íntegramente la energía mecánica en energía interna, el proceso recíproco no es posible, puesto que supondría la transformación de un movimiento desordenado de una infinidad de partículas en un movimiento ordenado (Frish y Timoreva 1972).

2.1.5. ACERCA DE LA DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA.

15. Como resultado de las interacciones y consiguientes transformaciones de los sistemas, **la energía se degrada o distribuye**, es decir, los sistemas evolucionan hacia estados más desordenados, que son más probables: es más probable, p.e., que las partículas de un sistema se agiten en todas direcciones que todas se desplacen en la misma dirección. Este paso a configuraciones más desordenadas (de mayor *entropía*) hace que disminuya la posibilidad de ulteriores transformaciones de los sistemas (Duit 1986; Ogborn 1990; Atkins 1992). De ahí que se hable de degradación de la energía (de crecimiento de la entropía).

16. Más precisamente, debemos decir que **la distribución de la energía (el crecimiento de la entropía) disminuye la posibilidad de transformaciones... macroscópicas** de los sistemas. Es necesario insistir sobre esta precisión, porque la llamada "muerte térmica del universo" no significa que dejen de ocurrir cambios: las interacciones (y, por tanto, las transformaciones) continuarán produciéndose a nivel submicroscópico. Aquello que es realmente muy improbable (aunque no imposible) son las transformaciones "macroscópicas" que presuponen la obtención de "orden" a partir de "desorden".

17. **Cuando hablamos de "consumo de energía", "crisis energética", etc., no queremos decir, pues, que la energía desaparece**, sino que se ha "homogeneizado" y ya no es útil (la configuración del sistema ya no permite que tengan lugar cambios "macroscópicos"). Desaparece así la aparente contradicción entre "conservación de la energía" y "necesidad de recursos energéticos" (Duit 1986; Ogborn 1990).

18. **Dos son, pues, las condiciones que deben verificarse en los cambios que un sistema aislado puede experimentar: se ha de satisfacer el principio de conservación de la**

energía y, además, esta energía no ha de estar distribuida uniformemente; cuando ello ocurre resultan muy improbables los cambios "macroscópicos", dado que la secuencia de los cambios sólo puede producirse —por lógicas razones probabilísticas— en el sentido de una progresiva "dispersión" de la energía, pero no al revés.

Estas son algunas de las ideas clave que es necesario conocer para alcanzar una comprensión conceptual correcta de este dominio. Ahora bien, un buen conocimiento científico no puede reducirse a los aspectos conceptuales, también tiene exigencias procedimentales y axiológicas. Más aun: no podemos esperar que los estudiantes adquieran la comprensión conceptual si no se toman en consideración aspectos como los que se incluyen en el siguiente apartado.

2.2. ASPECTOS PROCEDIMENTALES Y AXIOLÓGICOS QUE LOS ESTUDIANTES DEBERÍAN LLEGAR A COMPRENDER ACERCA DE LA ENERGÍA.

Comenzaremos insistiendo de nuevo en la estrecha vinculación de las proposiciones que acabamos de presentar y las que se incluyen a continuación, estructuradas en tres bloques acerca de:

- el origen y relevancia de los conceptos;
- las estrategias científicas para la construcción de los conceptos;
- la apropiación real de este campo conceptual;

2.2.1. ACERCA DEL ORIGEN Y RELEVANCIA DE LOS CONCEPTOS.

19. **Es preciso conocer los problemas que justifican la introducción de los conceptos** si se quiere resaltar el carácter racional del conocimiento científico. Con otras palabras, es necesario que los estudiantes (¡y los profesores!) perciban que los conceptos no se introducen de una manera arbitraria, sino que son invenciones que se hacen, con carácter tentativo, con el propósito de resolver **problemas** (Otero 1985; Furió y Guisasola 1997; Furió, Azcona y Guisasola 1999).

20. **Conviene discutir el interés de los problemas, tratados a la luz de las inquietudes de los estudiantes, así como de las razones que explican la dedicación de la**

comunidad científica a esta problemática. En este caso, es necesario discutir, por ejemplo, el interés del estudio de los cambios: conocer por qué se producen, cómo favorecerlos, cómo evitar aquellos no deseados, etc. (Gil, Furió y Carrascosa 1996a).

21. **La atención a las interacciones Ciencia/Tecnología/Sociedad** ha de ser un aspecto esencial en este y en cualquier campo científico si queremos salir al paso de visiones incorrectas o descontextualizadas de la ciencia, y, también, para formar ciudadanos y ciudadanas capaces de comprender el mundo en el que viven (impregnado de los productos de la indagación científica) y de adoptar actitudes responsables y fundamentadas ante el desarrollo científico y tecnológico y las consecuencias que se derivan. En el caso concreto de la energía que nos ocupa esto supone, entre otros, reflexionar acerca de las necesidades humanas que requieren recursos energéticos; analizar los problemas asociados al uso de las diversas fuentes de la energía (extracción, transporte, residuos...); estudiar las máquinas como facilitadoras de los cambios, etc., sin olvidar los debates actuales sobre reducción del consumo, energías alternativas, desequilibrios entre países desarrollados y en vías de desarrollo, etc. (Gil, Furió y Carrascosa 1996c y d).

2.2.2. ACERCA DE LAS ESTRATEGIAS CIENTÍFICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS CONCEPTOS.

22. Si pretendemos que los estudiantes **construyan la construcción de los conocimientos como un proceso dinámico** —que puede comportar retoques e, incluso, replanteamientos globales—, consideramos necesario no presentar los conocimientos en su estado de elaboración final, sino hacerles seguir, en cierta manera, su proceso de construcción y destacar su carácter tentativo (Gil 1993; Duschl 1997).

23. Esto supone que los estudiantes tengan **ocasión de utilizar criterios y estrategias de elaboración y validación propias del trabajo científico** (concebir hipótesis, hacer diseños experimentales, etc.) de manera que puedan confrontar sus construcciones tentativas con las de la comunidad científica.

24. Ello ha de permitir, muy en particular, que los estudiantes conozcan los criterios científicos que fundamentaron la aceptación, y posteriormente la superación, de la teoría del calórico

y que comprendan la **revolución que supuso la integración de la mecánica y el calor**, que permitió la comprensión de la naturaleza del calor y el establecimiento del principio de conservación y transformación de la energía (Kuhn 1983; Harman 1990).

25. Es preciso resaltar la búsqueda de generalidad que caracteriza la labor científica y destacar la **validez universal del principio de conservación y transformación de la energía**, aplicable en cualquier proceso físico, químico, biológico... válido tanto en el nivel macroscópico como en el microscópico. El principio se convierte así en uno de los pilares básicos del establecimiento de la unidad de la materia.

2.2.3. ACERCA DE LA APROPIACIÓN REAL DE ESTE CAMPO CONCEPTUAL.

26. Un buen aprendizaje de los conocimientos supone, en general, la capacidad de utilizarlos en la resolución de problemas, en la interpretación cualitativa de situaciones diversas (correspondientes, por ejemplo, a cuestiones de la vida práctica), etc. En el caso de la energía, es necesario **vencer la tendencia de los estudiantes a no hacer uso de los planteamientos energéticos** y a limitarse sistemáticamente a los planteamientos dinámico-cinemáticos cuando estudian los movimientos (Driver y Warrington 1985; McDermott 1993; Guisasola et al. 1998).

Con este conjunto de 26 proposiciones hemos intentado ofrecer una visión global de lo que podríamos considerar una adecuada comprensión del campo de la energía para los estudiantes de secundaria.

Queremos insistir en que, en nuestra opinión, estas distintas tesis se apoyan mutuamente y no pueden considerarse como aspectos autónomos, inconexos. Dicho con otras palabras, nuestra hipótesis básica es que este conjunto de aspectos conceptuales, procedimentales y axiológicos, ha de ser contemplado globalmente para hacer posible la comprensión de este campo de conocimientos.

Las dificultades de los estudiantes, señaladas ya por numerosos investigadores (Duit 1981a y b; Pintó 1991; Hierrezuelo et al. 1996), podrían ser debidas, de acuerdo con esta conjetura, a que la enseñanza suele dejar a un lado un buen número de los aspectos señalados.

Hemos procedido por ello a analizar la

enseñanza de la energía en la educación secundaria y también a someter a prueba los resultados de una enseñanza que intenta contemplar el conjunto de tesis enunciadas (Doménech 2000).

3. ANÁLISIS DE LIBROS DE TEXTO.

La investigación didáctica ha señalado, en repetidas ocasiones, que seguramente el libro de texto es el más importante de los recursos que usan los profesores en sus clases (Bullejos 1983; Otero 1997). Del Carmen y Jiménez (1997) afirman que, "la importancia que el profesorado le asigna es muy grande, y puede decirse que una de las decisiones más importantes que toman muchas personas cada curso o cada vez que cambia el plan de estudios, es la de escoger un determinado libro de texto".

Esta influencia de los libros de texto en la enseñanza habitual nos ha aconsejado estudiarlos para someter a prueba nuestra hipótesis de que la manera como suelen introducirse los conceptos de energía, trabajo y calor, no está de acuerdo con las tesis que acabamos de exponer. Lo que dificultaría la comprensión de los estudiantes.

Dado que un análisis detallado de en qué medida se contemplan las 26 tesis enunciadas excedería las dimensiones de un artículo, hemos optado por seleccionar y agrupar algunos de los aspectos cuya presencia o ausencia pueden ser suficientemente indicativos de la orientación dada a la enseñanza de la energía y de sus posibles limitaciones.

Hemos procedido a analizar 33 textos correspondientes a los siguientes niveles: 3 textos de Ciencias de la Naturaleza de 3º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), correspondiente a estudiantes de 14-15 años; 10 textos de Física y Química de 4º de ESO (15-16 años); 5 textos de 3º de BUP, Bachillerato Unificado Polivalente (16-17 años), 6 de 1º Bachiller (16-17 años), y 9 de Física de COU, Curso de Orientación Universitaria (17-18 años).

En la **tabla I** presentamos de una manera conjunta los resultados obtenidos, en los que puede apreciarse el reducido porcentaje de libros - siempre inferior al 20% - que tienen en cuenta los aspectos considerados en el análisis.

Comentaremos brevemente, a continuación, dichos resultados, abordando sucesivamente cada una de las seis cuestiones planteadas.

	N = 33	
	%	(Sd)
1. ¿El desarrollo del tema se presenta como una estrategia para resolver los problemas que se han planteado al principio del tema?	0	(-)
2. ¿Se hace una introducción significativa de los conocimientos? En particular, ¿las definiciones operativas que se proponen de los conceptos responden a ideas cualitativas?		
2a. Trabajo	18	(7)
2b. Energía cinética	15	(6)
2c. Energía potencial gravitatoria	12	(6)
3. ¿Se pone de relieve el carácter dinámico del proceso de construcción de conocimientos? En particular, ¿se ponen limitaciones o se modifica la definición que se propone para la energía?	0	(-)
4. ¿Se abordan situaciones que permiten conectar con las ideas de los estudiantes?		
4 ^a . Explicitan que no podemos determinar de una manera absoluta la energía de un sistema	12	(6)
4b. Señalan que no tiene sentido hablar de la energía de un único objeto	0	(-)
4c. Explicitan las diferencias entre calor y energía interna	3	(3)
4d. Abordan la contradicción aparente que hay entre la conservación de la energía y su agotamiento	18	(7)
5. ¿Se resalta la revolución que supuso la integración de la mecánica y el calor, inicialmente consideradas ciencias inconexas?	0	(-)
6. ¿Se señalan las ventajas y limitaciones del tratamiento energético respecto del dinámico y cinemático a la hora de estudiar los movimientos?	0	(-)

Tabla I. Resultados obtenidos al analizar la manera como se introducen los conceptos de energía, trabajo y calor en los textos.

Cuestión 1. ¿Se presenta el desarrollo del tema como una estrategia para resolver los problemas que se han planteado al principio del tema?

La conveniencia de plantear el aprendizaje de las ciencias como una investigación de situaciones problemáticas de interés (tesis 19 y 20) aparece como una conclusión común a muchos estudios diferentes. En efecto, si pretendemos que los estudiantes perciban la racionalidad de la ciencia es necesario hacerles sentir que los conceptos no se introducen de una manera arbitraria, sino que son construcciones que se hacen con la finalidad de resolver los problemas planteados (Gil y Martínez Torregrosa 1987;

García y García 1989 y 1992; Burbules y Linn 1991; Wheatley 1991; Hodson 1992; Martínez Torregrosa, Doménech y Verdú 1994; Pinelli y Lefèvre 1993; Porlán 1993; Furió 1994; Campanario y Moya 1999; Pozo 1999), estando su aceptación condicionada, entre otras cosas, a la validez de los resultados obtenidos (Chalmers 1992; Duschl 1997).

De acuerdo con ello, un primer aspecto a analizar es ver cuáles son los problemas que se proponen al principio del tema para justificar la introducción de los conceptos. Para el caso de la energía, se trataría de hacer ver a los estudiantes, por ejemplo, que es el estudio de las transformaciones que ocurren a nuestro alrededor (cómo

ocurren, cómo podemos favorecerlas, cómo evitar las no deseadas, etc.), el que justifica su introducción.

Destaca a este respecto, el hecho de que ninguno de los 33 textos analizados asocie el desarrollo del tema al tratamiento de problemas. Incluso cuando se hace referencia, inicialmente, a algunos problemas, el desarrollo del tema se realiza sin tomarlos en consideración. Así, por ejemplo, nos encontramos con que en algunos casos se indica que el objetivo del tema es describir los movimientos cuando las fuerzas que actúan no son constantes o dependen de la posición. Pero, después de mostrar las dificultades de utilizar los conceptos de la dinámica y la cinemática cuando esto ocurre, en todos estos textos se pasa directamente, sin ninguna vinculación con el problema enunciado, a introducir los conceptos de trabajo y de energía. Esta manera de introducir los conceptos ha de parecer arbitraria a los alumnos ya que no pueden ni tan solo intuir, al principio del tema, el porqué de esta manera de actuar.

En otros textos se hacen introducciones que persiguen despertar el interés de los alumnos por el estudio de estos conceptos. Así, algunos se refieren a la importancia de la energía en la vida económica y política de un país o de una sociedad; otros hacen referencia al uso tan habitual que hacemos en nuestra vida de estos términos; etc. Pero, en estos casos, los conceptos tampoco se introducen con el propósito de resolver algún problema.

Esta falta de referencia por parte de los textos a los problemas que están en el origen de los conceptos, que ha sido puesta de relieve en análisis realizados en otros campos (Azcona 1997; Furió y Guisasola 1997; Guisasola 1997), es uno de los factores que dificultan el aprendizaje ya que impide percibir la racionalidad de los conocimientos a aprender y, en definitiva la racionalidad de la ciencia (Otero 1985; Izquierdo 1996; Álvarez 1997; Cudmani 1997; Campanario 1998).

Cuestión 2. ¿Se hace una introducción significativa de los conocimientos?

Ya hemos indicado (tesis 23) la necesidad de que los estudiantes tengan ocasión de familiarizarse con las estrategias del trabajo científico y de participar, de ese modo, en la construcción significativa de los conocimientos. Ello supone, en particular, superar los tratamientos puramente operativos y comenzar abordando cualitativa-

mente las situaciones (Gil et al 1991).

De una manera concreta, en este estudio intentaremos determinar en qué medida las definiciones operativas de trabajo, energía cinética y energía potencial gravitatoria se realizan a partir de aproximaciones cualitativas, conectando funcionalmente con las concepciones previas de los estudiantes (tal como se señala, por ejemplo, en la tesis número 6).

Los resultados obtenidos muestran que las definiciones operativas que se proponen en los libros de texto sólo responden a concepciones cualitativas en menos del 20% de textos analizados. En la mayoría de los casos, las definiciones operativas de los conceptos se introducen sin más, como punto de partida.

Ante estos planteamientos operativistas, los estudiantes únicamente pueden aceptar acríticamente la definición propuesta, puesto que carecen de elementos para reflexionar acerca de su validez. Análisis realizados en otras áreas coinciden en esta falta de reflexiones cualitativas (Salinas, Cudmani y Pesa 1996; Furió y Guisasola 1998; Furió, Azcona y Guisasola 1999).

Cuestión 3. ¿Se pone de relieve el carácter dinámico del proceso de construcción de conocimientos?

Si estamos interesados en que los estudiantes adquieran una visión dinámica de la ciencia, una visión según la cual el significado de los conceptos está en continua evolución (tesis 22), es necesario que perciban esta característica en la manera como se introducen las concepciones científicas en las clases y se familiaricen con los criterios científicos de su aceptación y rechazo (Gil 1993). El concepto de energía es especialmente adecuado en este sentido, ya que hasta llegar a su concepción actual ha experimentado cambios sustanciales en su significado (Harman 1990), pasando de una concepción de la energía como "causa de los cambios" que experimentan los sistemas, a la comprensión de que las cadenas de cambios que ocurren en los sistemas aislados tienen su secuencia dirigida por la entropía y su magnitud restringida por la energía.

Hemos intentado comprobar, pues, hasta qué punto en los libros de texto se mantiene a lo largo del tema (o temas) la definición que de la energía se propone inicialmente, o si, por el contrario, dicha concepción experimenta modificaciones, o al menos se señalan algunas de las difi-

cultades con que tropieza.

Los resultados obtenidos muestran que en ninguno de los textos analizados se modifica la definición inicialmente propuesta y ni siquiera se hace referencia a sus posibles limitaciones.

Así, algunos textos proponen que la energía es la capacidad para realizar trabajo, pero cuando, posteriormente, abordan el estudio de los fenómenos caloríficos, en ningún caso retoman la definición propuesta inicialmente con objeto de asociar la variación de energía a la realización de trabajo y *calor*.

No estamos criticando, por supuesto, que los textos propongan inicialmente una definición de validez limitada. Lo que consideramos inadecuado es que en ningún momento se haga referencia a sus limitaciones. Además, al introducir desde un primer momento una definición que se mantiene como correcta, no se resalta el carácter tentativo y temporal de los conocimientos científicos, y esto favorece en el alumnado una *visión rígida y dogmática del conocimiento*, según la cual, existe un conocimiento verdadero, único e inmutable (Gil 1993; Porlán y Martín 1996; Campanario 1998; Gil y Martínez Torregrosa 1999).

Cuestión 4. ¿Se abordan situaciones que permiten conectar con las concepciones de los estudiantes?

Desde los planteamientos constructivistas del aprendizaje, que aquí compartimos, ésta es una cuestión esencial. Aunque estos modelos de aprendizaje han orientado diferentes programas de enseñanza (Driver y Oldham 1986; Hewson 1990; Gil et al. 1991), todos ellos coinciden en la necesidad, como requisito para lograr un aprendizaje significativo, de que los alumnos relacionen los nuevos conocimientos con sus ideas iniciales. Por tanto, una enseñanza de calidad implica proporcionar oportunidades a los alumnos para que sean posibles estas conexiones, de manera que tenga lugar una construcción significativa de los conocimientos y lleguen a cuestionar algunas de las concepciones más enraizadas -aunque incorrectas- del pensamiento común acerca de la energía.

En el presente estudio nos hemos limitado a analizar, a título de ejemplo, los aspectos siguientes:

4a. Aunque hablamos de la energía de un sistema, sabemos que sólo podemos determinar sus variaciones (Tesis 8). ¿Los libros de

texto hacen esta clarificación?

4b. ¿Señalan explícitamente que no podemos hablar de la energía de un único objeto? (Tesis 7).

4c. ¿Señalan explícitamente las diferencias entre los conceptos de calor y de energía interna? (Tesis 10).

4d. ¿Abordan, de una forma explícita, la contradicción que aparentemente hay entre el principio de conservación de la energía, del que se habla en la ciencia, y el agotamiento de la energía, de que suelen hablar los medios de comunicación? (Tesis 17).

Los resultados recogidos en la tabla 1 muestran que:

4a. Sólo cuatro de los textos analizados señalan explícitamente que podemos determinar las variaciones de energía experimentadas por un sistema, o los valores de energía relativos a un nivel dado de referencia, *pero no el valor absoluto de la energía*.

4b. Con relación a la medida en que los textos indican que la energía es una propiedad de conjuntos de objetos y no de objetos aislados, hemos de señalar que, de una manera explícita, esto no se hace en ningún caso. En el caso de la energía cinética siempre se habla de un único objeto. En el caso de la energía potencial gravitatoria, bastantes textos mencionan a la Tierra, o al campo gravitatorio creado por ella, pero la gran mayoría no pone énfasis en indicar que la energía potencial pertenece al sistema formado por el objeto y la Tierra (o a su campo gravitatorio), lo cual puede hacer creer a los estudiantes que la energía pertenece en exclusiva al objeto.

4c. Por lo que respecta a la conveniencia de sacar a la luz las posibles confusiones que pueden haber entre el calor y la energía interna, hemos de advertir que, aunque en la mayoría de las presentaciones, se habla del calor y de la energía interna como conceptos diferenciados, solamente en un texto se hace una llamada de atención a la confusión habitual entre ambos conceptos.

4d. Por último, apuntaremos que si bien algunos de los textos introducen el segundo principio de la termodinámica, o hacen referencia a la degradación de la energía, sólo en seis casos se pone de relieve, de una manera explícita, la contradicción aparente entre la conservación de la energía, que se afirma en física, y el agotamiento, del que hablan los medios de comunicación.

En resumen, las escasas reflexiones que se proponen en los libros de texto con el propósito de clarificar ciertos aspectos relacionados con la energía, el trabajo y el calor, no facilitan que los estudiantes adquieran una comprensión adecuada de estos conceptos.

Esta falta de atención por parte de los textos al análisis y consideración de las ideas que los estudiantes pueden disponer sobre los conocimientos a estudiar (que también ha sido detectada en muchos otros campos), confirma la suposición básica que se encuentra detrás de la enseñanza habitual, y según la cual, es suficiente con la exposición de los conocimientos físicos correctos para que los alumnos los aprendan de una manera adecuada y definitiva (Roth 1994; Tobin et al 1994).

Cuestión 5. ¿Se resalta la revolución que supuso la integración de la mecánica y el calor, inicialmente consideradas ciencias inconexas?

Los procesos de integración de campos inicialmente autónomos constituyen una de las características fundamentales del desarrollo científico y deben ser convenientemente resaltados (Tesis 24). En este caso concreto conviene recordar que hasta la mitad del siglo XIX, los científicos habían considerado como esencialmente diferentes los procesos mecánicos de los caloríficos.

En este estudio hemos pretendido analizar si los libros de texto resaltan convenientemente este proceso de integración, así como si utilizan los conceptos de energía, trabajo y calor, para una explicación significativa y coherente de la diversidad de fenómenos que ocurren a nuestro alrededor (Solsona e Izquierdo 1997).

Hemos de indicar que en ningún texto se pone de relieve que, históricamente, la mecánica y el estudio del calor se desarrollaron por separado y que fue la integración de ambos campos lo que permitió elaborar una concepción más adecuada del calor y avanzar en la construcción de un cuerpo de conocimientos más general y potente.

De hecho, diversos autores han coincidido en afirmar que los libros de texto no suelen poner de manifiesto que la conservación de la energía es un principio de validez universal que permite abordar el estudio de situaciones pertenecientes a campos diferentes de las ciencias. Por el contrario, el concepto de energía suele presentarse

de una manera dispersa en distintos temas, y no es utilizado para mostrar las conexiones entre los diferentes campos del conocimiento (Becu-Robinault y Tiberghien 1998; Koliopoulos y Rovanis 1998; Solbes y Tarín 1998; Baracca 1999).

Cuestión 6. ¿Señalan las ventajas e inconvenientes del tratamiento energético respecto del dinámico y cinemático a la hora de estudiar los movimientos?

Si queremos ayudar a los estudiantes a superar sus reticencias a utilizar los conceptos de trabajo y de energía para estudiar los movimientos (Tesis 26), conviene hacerles reflexionar sobre las ventajas e inconvenientes de este planteamiento.

Puesto que la energía sólo depende de la configuración del sistema, podemos prescindir del camino que ha seguido el sistema para experimentar el cambio considerado (siempre que se trate de un sistema aislado). Esto constituye una simplificación importante en muchos casos.

Así, por ejemplo, la determinación de la altura a la que llegará una vagoneta que se ha soltado desde una altura determinada y que se mueve por una montaña rusa, es difícil de resolver a partir de las ecuaciones de la dinámica y de la cinemática. Pero la utilización de las relaciones trabajo y energía (siempre que podamos considerar que la fricción es despreciable) permite resolver el problema fácilmente.

En favor de la utilización de la relaciones trabajo y energía está también el hecho de que, frecuentemente, el tratamiento algebraico es más sencillo.

El tratamiento energético y el dinámico-cinemático, aunque son dos maneras diferentes de acercarnos al estudio de los movimientos, han de proporcionar resultados coincidentes. Esta coherencia de los resultados es un potente criterio para aceptar su validez, y ello se convierte en una razón más para no olvidar, como suele suceder, el tratamiento energético.

Por lo que respecta a este último aspecto, hemos de indicar que ninguno de los textos analizados plantean alguna reflexión sobre las ventajas e inconvenientes de utilizar los conceptos de trabajo y energía para estudiar los problemas que suelen abordarse mediante un tratamiento cinemático-dinámico.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.

Los resultados que hemos presentado, correspondientes al análisis de libros de texto, se han visto reforzados con los obtenidos mediante entrevistas realizadas a profesores de secundaria (Doménech 2000). Este conjunto de resultados muestra, en resumen, que:

En general, los profesores no introducimos los conceptos de energía, trabajo y calor a modo de tentativas que se proponen con el propósito de resolver los problemas planteados.

No suele hacerse una introducción significativa de los conceptos. En concreto, no se muestra, en general, que las definiciones operativas de los conceptos responden a determinadas ideas cualitativas. En pocas ocasiones, por otra parte, se indican las limitaciones con que tropiezan las definiciones que se proponen de los conceptos.

En las aulas no suelen abordarse situaciones que favorezcan conectar las concepciones de los estudiantes con las cuestiones que son estudiadas.

No se pone de relieve el carácter integrador y universal del concepto de energía.

No se impulsa a los alumnos a apreciar las ventajas que, a la hora de estudiar los movimientos, tiene hacer uso del planteamiento energético superando el habitual uso exclusivo del tratamiento dinámico-cinemático.

Se refuerza así nuestra conjetura de que las dificultades de los estudiantes en la comprensión del campo de la energía pueden ser debidas, al menos en parte, a carencias en la orientación de su enseñanza como las que hemos detectado.

Se abre de este modo la posibilidad de una reorientación de la enseñanza de este campo de conocimientos, atendiendo a la visión global que ofrecen las 26 tesis que hemos presentado. En esa perspectiva hemos elaborado programas de actividades, destinados a colocar a los estudiantes en situación de "investigadores noveles", contando con el apoyo del profesor como experto. Pretendemos favorecer de este modo que los estudiantes puedan abordar situaciones problemáticas de interés en torno a las transformaciones que ocurren en la naturaleza y (re)construir significativamente los conocimientos sobre la energía que habitualmente se les proporciona de forma acabada. Los primeros resultados

obtenidos en esta investigación en curso (Doménech 2000) muestran notables progresos en el aprendizaje logrado por los estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ALONSO, M. y FINN, E., 1996. Un enfoque integrado de la Termodinámica en el curso de Física General. *Revista Española de Física*, 10 (2), 25-31.
- ÁLVAREZ, V.M., 1997. Argumentación y razonamiento en los textos de física de secundaria. *Alambique*, 11, 65-74.
- ARONS, A.B., 1989. Developing the energy concepts in introductory physics. *The Physics Teacher* (Octubre), 506-517.
- ARONS, A.B., 1997. Teaching in introductory physics. (USA: J. Wiley)
- ATKINS, P.W., 1992. La segunda ley. (Barcelona: Prensa científica).
- AZCONA, R., 1997. Análisis crítico de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. Una alternativa didáctica basada en el aprendizaje por investigación. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco.
- BARACCA, A., 1999. Nuevo enfoque de un curso de física para la escuela secundaria. Resúmenes de las comunicaciones presentadas a la XXVII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física. Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear. Universitat de València.
- BAUMAN, R.P., 1992. Physics that textbook writers usually get wrong. *The Physics Teacher*, 30, 264-269.
- BECU-ROBINAULT, K. y TIBERGHEN, A., 1998. Integrating experiments into the teaching of energy. *International Journal of Science Education*, 20 (1), 99-114.
- BEYNON, J., 1990. Some myths surrounding energy. *Physics Education*, 25, 314-316.
- BLACK, P. y SOLOMON, J., 1983. Life-world and science world- pupils' ideas about energy. En *Entropy in the School*, vol. 1. Roland Eotvos Physical Society. Budapest.
- BROOK, A., 1986. Children's understanding

- of ideas about energy: a review of the literature. En Driver R. y Millar R. (eds), *Energy matters*. (University of Leeds: Leeds).
- BROOK, A. y DRIVER, R., 1984. Aspects of secondary students' understanding of energy. Children's Learning Science Project. (University of Leeds: Leeds)
 - BULLEJOS, J., 1983. Análisis de actividades en textos de Física y Química de 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 19-29.
 - BURBULES, N. y LINN, M., 1991. Science education and philosophy of science: congruence or contradiction? *International Journal of Science Education*, 13 (3), 227-241.
 - CALATAYUD, M.L. ET AL., 1990. La construcción de las ciencias físico-químicas. (València: Nau llibres).
 - CAMPANARIO, J.M., 1998. Ventajas e inconvenientes de la historia de la ciencia como recurso en la enseñanza de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 11, 1, 5-14.
 - CAMPANARIO, J.M. y MOYA, A., 1999. ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (3), 179-192.
 - CHALMERS, A., 1992. La ciencia y como se elabora. (Madrid: Siglo XXI).
 - CHISHOLM, D., 1992. Some energetic thoughts. *Physics Education*, 27, 215-220.
 - CUDMANI, L., 1997. Ideas epistemológicas de Laudan y su posible influencia en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), 327-331.
 - DEL CARMEN, L. y JIMÉNEZ, M.P., 1997. Los libros de texto: un recurso flexible. *Alambique*, 11, 7-14.
 - DOMÉNECH, J.L., 2000. L'ensenyament de l'energia en l'educació secundària. Anàlisi de les dificultats i una proposta de millora. Tesis doctoral. Universitat de València.
 - DRIVER, R. y OLDHAM, V., 1986. A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
 - DRIVER, R. y 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 a 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 W. Jung, H. Pfundty C.V. Rhoneck (eds), *Problems Concerning Students' Representations of Physics and Chemistry Knowledge*, Pädagogische Hochschule, Ludwigsburg (1982).
 - DUIT, R., 1986. In search of an energy concept. En Driver, R. y Millar, R. (eds), *Energy matters*. University of Leeds.
 - DUIT, R., 1987. Should energy be illustrated as something quasi-material? *International Journal of Science Education*, 9, 139-145.
 - DUSCHL, R.A., 1997. Renovar la enseñanza de las ciencias. (Madrid: Narcea).
 - EL HAJJAMI, A., LAHLOU, F., BENYAMINA, S. y TIBERGUIEN, A., 1999. Elaboration d'une méthode d'analyse des discours d'enseignants; cas de l'énergie. *Didaskalia*, 15, 59-86.
 - FENN, J.B., 1982. Engines, energy and entropy. (USA: Freeman and Company).
 - FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B. y SANDS, M., 1987. Física (Vol. I). (Addison Wesley Iberoamericana).
 - FRISH S. y TIMOREVA A., 1972, Curso de Física General, Tomo I (Moscú: Ed. Mir)
 - FURIÓ, C., 1994. La enseñanza-aprendizaje de las ciencias como investigación: un modelo emergente. En Proceedings International Conference "Science and Mathematics Education for the 21st century: towards innovative approaches", vol. I, 154-188. Concepción, Chile. Universidad de Concepción.
 - FURIÓ, C., AZCONA, R. y GUIASOLA, J., 1999. Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 359-376.
 - FURIÓ, C. y GUIASOLA, J., 1997.

Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (2), 259-271.

- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J., 1998. Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82, 511-526.

- GARCÍA, J.E. y GARCÍA, F.F., 1989. *Aprender investigando*. (Sevilla: Diada).

- GARCÍA, J.E. y GARCÍA, F.F., 1992. Investigando nuestro mundo. *Cuadernos de Pedagogía*, 209, 10-13.

- GIL, D., 1993. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.

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

- GIL, D., FURIÓ, C. Y CARRASCOSA, J., 1996a. Curso de formación de profesores de Ciencias. Unidad I.1. La energía: la invención de un concepto fructífero. (Madrid: MEC).

- GIL, D., FURIÓ, C. Y CARRASCOSA, J., 1996b. Curso de formación de profesores de Ciencias. Unidad I.2. Cambios en la energía de los sistemas. (Madrid: MEC)

- GIL, D., FURIÓ, C. Y CARRASCOSA, J., 1996c. Curso de formación de profesores de Ciencias. Unidad I.4. Usos de la energía: papel de la energía en nuestras vidas. (Madrid: MEC)

- GIL, D., FURIÓ, C. Y CARRASCOSA, J., 1996d. Curso de formación de profesores de Ciencias. Unidad I.5. Fuentes de energía: problemas asociados a su obtención y uso. (Madrid: MEC)

- GIL, D. y 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.

- GIL, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J., 1999. ¿Cómo evaluar si se hace ciencia en el aula? *Alambique*, 20, 17-28.

- GUIASOLA, J., 1997. El trabajo científico y las tareas en la electrostática en textos de bachillerato. *Alambique*, 11, 45-54.

- GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M., CEBEIRO, M. y ZUBIMENDI, J., 1998. ¿Contribuye la enseñanza de los problemas-tipo al aprendizaje significativo de los conceptos y principios fundamentales de la Física en primer curso de Universidad?. En E. Banet y A. de Pro (Edts.) *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, vol. 2, 140-151. (Murcia: Editorial DM).

- HARMAN, P.M., 1990. *Energía, fuerza y materia*. (Madrid: Alianza).

- HEWSON, P.W., 1990. La enseñanza de "Fuerza y Movimiento" como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 157-171.

- HICKS, N., 1983. Energy is the capacity to do work – or is it? *The Physics Teacher*, 21, 529-530.

- HIERREZUELO, J. ET AL., 1996. *Ciencias de la Naturaleza 4º ESO*. (Zaragoza: Edelvives-MEC).

- HIERREZUELO, J. y MOLINA, E., 1990. Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato. *Enseñanza de las ciencias*, 8 (1), 23-30.

- HODSON, D., 1992. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14 (5), 541-566.

- IZQUIERDO, M., 1996. Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, 7-21.

- KOLIOPOULOS, D. y ROVANIS, K., 1998. L'enseignement de l'énergie au collège vu par les enseignants. *Grille d'analyse de leurs conceptions*. Aster 26, 165-182.

- KUHN, T.S., 1983. *La tensión esencial*. (México: FCE).

- MALLINCKRODT, A.J. y LEFF, H.S., 1992. All about work. *American Journal Physics*, 60 (4), 356-365.

- MARTÍNEZ TORREGROSA, J. DOMÉNECH, J.L. y VERDÚ, R., 1994. Del derribo de

- ideas al levantamiento de puentes: la epistemología de la ciencia como criterio organizador de la enseñanza de las ciencias física y química. *Revista de Enseñanza de la Física*, 7(2), 22-34.
- MAXWELL J.C., 1920, *Matter and Motion*. (Society for promoting Christian Knowledge: London). Reeditado por Dover, New York, en 1952.
 - McCLELLAND, G., 1989. Energy in school science. *Physics Education*, 24, 162-164.
 - McDERMOTT, L.C., 1993. Cómo enseñamos y cómo aprenden los estudiantes. ¿Un desajuste? (Primera parte). *Revista de Enseñanza de la Física*, 6 (1), 19-32.
 - NICHOLLS, G. y OGBORN, J., 1993. Dimensions of children's conceptions of energy. *International Journal of Science Education*, 15, 73-81.
 - OGBORN, J., 1986. Energy and fuel –the meaning of 'the go of things'. En Driver R. y Millar, R. (eds.), *Energy matters*. University of Leeds.
 - OGBORN, J., 1990. Energy, change, difference and danger. *SSR*, 72 (259), 81-85.
 - ORR D.W., 1995, *Educating for the Environment*. Higher Education's Challenge of the Next Century, *Change*, May/juny, 43-46.
 - OTERO, J., 1985. Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7 (4), 361-369.
 - OTERO, J., 1997. El conocimiento de la falta de conocimiento de un texto científico. *Alambique*, 11, 15-22.
 - PINELLI, P. y LEFÈVRE, R., 1993. *Etudants-chercheurs: Une proposition en electrocinétique*. *Aster*, 17, 65-87.
 - 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.
 - PORLÁN, R., 1993. Constructivismo y escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación. (Sevilla: Diada).
 - PORLÁN, R. y MARTÍN, R., 1996. Ciencia, profesores y enseñanza: unas relaciones complejas. *Alambique*, 8, 23-32.
 - POZO, J.I., 1999. Aprendizaje de contenidos y desarrollo de capacidades en la educación secundaria. En Coll (eds), *Psicología de la instrucción: la enseñanza y el aprendizaje en la educación secundaria*. (Barcelona: ICE/Horsori).
 - PRIDEAUX, N., Different approaches to the teaching of the energy concept. *SSR*, 77, 49-57.
 - RAVIOLO, A., 1996. Los núcleos conceptuales y una secuencia constructivista en la enseñanza de la energía. *Revista de Enseñanza de la Física*, 9 (2), 33-45.
 - RESNICK, R., HALLIDAY, D. y KRANE, K.S., 1993. *Física*, Vol. 1. (México: Compañía Editorial Continental).
 - ROTH, W.M., 1994. Student views of collaborative concept mapping: an emancipatory research project. *Science Education*, 78 (1).
 - SALINAS, J. CUDMANI, L. y PESA, M., 1996. Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 209-220.
 - SALTIEL, E., 1997. Le principe de conservation de l'énergie et le théorème de l'énergie mécanique en classe de première. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 91, 794, 957-972.
 - SÁNCHEZ RON, J.M., 1996. *Diccionario de la ciencia*. (Barcelona: Planeta).
 - SEXL, R.U., 1981. Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3 (3), 285-289.
 - SEVILLA, C., 1986. Reflexiones en torno al concepto de energía. Implicaciones curriculares. *Enseñanza de las Ciencias* 4 (3), 247-252.
 - SOLBES, J. y TARIN, F., 1998. Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), 387-397.
 - SOLOMON, J., 1983a. Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5, 49-59.

- SOLOMON, J., 1983b. Messy, contradictory and obstinately persistent: a study of children's out-of-school ideas about energy. *School Science Review*, 65, (231), 225-230.
- SOLOMON, J., 1985. Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, 165-170.
- SOLSONA, N. e IZQUIERDO, M., 1999. El aprendizaje del concepto de cambio químico en el alumnado de secundaria. *Investigación en la Escuela*, 38, 65-75.
- TARÍN, F., 2000. El principio de conservación de la energía y sus implicaciones didácticas. Tesis doctoral. Universitat de València.
- TARSITANI C. y VICENTINI M., 1991, *Calore, energia, entropía* (Milán: Ed. Franco Angeli)
- TOBIN, K., TIPPINS, D. y GALLARD, A.J., 1994. Research on instructional strategies for teaching science. En Gab D.L. (eds), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (New York: MacMillan Pub Co).
- TRUMPER, R., 1990. Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept, Part one. *International Journal of Science Education*, 12, 343-354.
- TRUMPER, R., 1991. Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept. Part two. *International Journal of Science Education*, 13,1, 1-10.
- TRUMPER, R., 1993. Children's energy concepts. *International Journal of Science Education*, 15 (2), 139-148.
- TRUMPER, R., 1997. Applying conceptual conflict strategies in the learning of the Energy Concept. *Research in Science & Technological Education*, 15 (1), 5-18.
- VAN HUIS, C. y VAN DEN BERG, E., 1993. Teaching energy: a systems approach. *Physics Education*, 28, 146-153.
- VARELA, M.P., MANRIQUE, M.J., PÉREZ, M.C. y FAVIERES, A., 1997. Un desarrollo curricular de la física centrado en la energía. Aplicación al estudio de la energía mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, 327-328.
- WARREN, J.W., 1982. The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4 (3), 295-297.
- WATTS, D.M., 1983. Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18, 213-217.
- WHEATLEY, G.H., 1991. Constructivist perspectives on science and mathematics learning. *Science Education*, 75 (1), 9-21.