

INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS

¿CÓMO CONSTRUYEN LOS ESTUDIANTES EL CONCEPTO «ENERGÍA»?
UNA APROXIMACIÓN CUALITATIVA (1)

P. VARELA (*),
A. FAVIERES (**),
M.^a J. MANRIQUE (***) y
M.^a C. PÉREZ-LANDEZÁBAL (****)

INTRODUCCIÓN

Numerosas investigaciones realizadas en las últimas décadas ponen de manifiesto que, antes de iniciar un aprendizaje formal de la ciencia, los estudiantes ya poseen ideas sobre las leyes que rigen el mundo que les rodea, ideas que generalmente no concuerdan con el punto de vista científico. Aunque existen diferentes líneas de investigación (Trumper, 1990, 1991; Osborne y Freyberg, 1991; Carrascosa, 1987; Andersson, 1986; Driver *et al.*, 1985), en general, todos los autores coinciden en que estas ideas previas se caracterizan por: 1) presentar una cierta coherencia interna, aunque los alumnos parecen utilizarlas de un modo contradictorio; 2) ser comunes a estudiantes de diferentes medios y edades; 3) estar fuertemente arraigadas, por lo que son muy resistentes al cambio. La ineficacia de la enseñanza habitual, en la evolución de las ideas intuitivas de los alumnos, pone de manifiesto la necesidad de diseñar nuevos materiales que tengan como punto de partida los esquemas previos del alumno y que sean capaces de potenciar en ellos el cambio conceptual (Hewson, 1990, 1992; Varela *et al.*, 1988 y Posner *et al.*, 1982).

En este artículo se expone la primera parte de una investigación cuya finalidad ha sido determinar la eficacia didáctica de unos materiales curriculares diseñados para introducir la física en la enseñanza secundaria, utilizando como idea estructurante el concepto de energía (Varela *et al.*, 1993). Esta elección se debe tanto a la importancia de este concepto dentro de la física como a su función integradora en todas las ciencias (estudio del enlace y de las reacciones en quími-

(1) Esta investigación ha sido subvencionada por el CIDE.

(*) I. B. Ramiro de Maeztu.

(**) I. B. Mariana Pineda.

(***) I. B. Rey Pastor.

(****) I. Electrónica de Comunicaciones (CSIC), Madrid.

ca, estudio energético de los biosistemas en biología, recursos energéticos y desarrollo de los países en geografía económica y ciencias sociales, etc.). Por otra parte, no hay que olvidar la vigencia que han adquirido los temas relativos a la energía dentro de la cultura popular («consumo de energía», «energías limpias», «residuos energéticos», etc.). Un estudiante debería poder interpretar y manejar estos términos desde el punto de vista de la ciencia.

El diseño y utilización de los materiales han estado enmarcados en la teoría constructivista de enseñanza-aprendizaje, donde a las concepciones de los alumnos se les asigna un mayor estatus epistemológico, considerándolas más que un obstáculo, un instrumento útil en el proceso de aprendizaje. En este marco, aprender ciencia es reconstruir los conocimientos partiendo de las propias ideas de los individuos.

El primer paso de esta investigación ha consistido en una revisión bibliográfica sobre los esquemas conceptuales alternativos de los alumnos en este campo. Los trabajos existentes se pueden agrupar en dos grandes líneas: 1) *Conceptualización de la energía*, y 2) *Transferencia y conservación de la misma*.

En lo que respecta a la *conceptualización*, Bliss y Ogborn (1985) han encontrado que los alumnos de 13 años relacionan la energía con objetos animados y aparatos que funcionen. Para Watts (1980), los estudiantes entre 12 y 18 años no discriminan los conceptos de fuerza, energía y potencia (la energía es una consecuencia de las fuerzas o es algo que genera fuerza). En una investigación posterior (1988), este mismo autor clasifica las ideas alternativas más populares de los estudiantes en siete categorías: 1) Energía y objetos animados. 2) Energía y fuerza. 3) Energía y movimiento. 4) Energía como fuente de actividad. 5) Energía como combustible. 6) Energía como un fluido, y 7) Energía como ingrediente. Duit (1983) emplea la técnica de asociación de palabras consistente en pedir a los alumnos que escriban las palabras que les sugieren diferentes conceptos físicos: Fuerza, Trabajo, Energía y Potencia. Para saber el significado que los alumnos han asignado a cada asociación propone que escriban una frase relacionando la palabra asociada con la palabra estímulo. Para alumnos que ya han recibido instrucción en física, Duit señala los resultados siguientes en el caso de la energía: conceptos físicos (47 por 100), cosas (24 por 100), conceptos cotidianos (10 por 100), fenómenos (10 por 100) y otros (9 por 100).

Con la finalidad de investigar si las ideas de los alumnos españoles coincidían con las descritas en la bibliografía, así como detectar su posible evolución con la edad, hemos realizado un estudio previo donde se ha aplicado una prueba abierta a una muestra transversal formada por 180 alumnos de edades comprendidas entre 13 y 18 años. Se utilizó un cuestionario con viñetas de situaciones cotidianas (tren en movimiento, caja de galletas, televisor apagado, señora tomando el sol, etc.), preguntándoles si encontraban alguna relación entre los ejemplos presentados y su idea de la energía. Los resultados confirman la existencia de las categorías de *Fuerza*, *Movimiento*, *Objetos animados*, *Combustible* y *Energía como fuente*. También se ha encontrado, en una proporción elevada, sobre todo en los alumnos que ya han recibido instrucción en física, una nueva

categoría relacionada con el rozamiento, aunque con una conceptualización muy confusa (Favieres *et al.*, 1989).

Respecto a *Transferencia, Conservación y Degradación de la Energía*, la mayoría de las investigaciones indican que los estudiantes no ven la necesidad de utilizar el Principio de Conservación para resolver problemas relacionados con la energía mecánica: Duit (1983, 1984), en investigaciones con estudiantes alemanes y filipinos de 12 a 14 años, encuentra que sólo un 12 por 100 usa ideas de transferencia de energía, y este porcentaje disminuye cuando se contabiliza el número de alumnos que aplica la conservación. Driver y Warrington (1985) obtienen resultados análogos con alumnos ingleses entre 13 y 18 años que ya han recibido instrucción previa sobre energía. Solomon (1983) y T. Koballa (1989) señalan la dificultad que tienen los estudiantes a la hora de integrar la Conservación en su experiencia cotidiana, debido al conflicto entre el uso científico de las palabras energía y conservación, y el significado que se les da en la vida diaria. Solomon (1985) y Duit (1986) sugieren, como posible solución, la introducción simultánea del Principio de Conservación de la Energía y su degradación al empezar el estudio del tema.

La situación en España es similar a la de otros países. En la enseñanza primaria, los alumnos utilizan el concepto de energía, insistiendo mucho en las transferencias energéticas, pero no ocurre lo mismo con la conservación y la degradación. Hierrezuelo y Molina (1990) y López-Gay (1987) apuntan que los alumnos de 15-16 años no utilizan el Principio de Conservación de la Energía cuando se les plantean tareas pertinentes. Estos resultados coinciden con los encontrados en el estudio descrito anteriormente, donde también se investigaron estas ideas con la muestra transversal indicada (Favieres *et al.*, 1989).

Para terminar, queremos destacar que en estudios realizados con profesores de enseñanza primaria dentro del proyecto Primary School Teachers and Science (Kruger y Palacio, 1992) se han encontrado resultados similares, tanto en lo relativo a la conceptualización de la energía como en respuestas que contradicen el principio de conservación de la misma.

En este artículo vamos a exponer una investigación que, basada en la revisión bibliográfica descrita, tiene como objeto la exploración de las ideas previas de los estudiantes sobre la *conceptualización de la energía y sus cualidades*. El análisis de los resultados ha constituido la base para el diseño de los materiales didácticos que se han mencionado en el comienzo de esta introducción y que comentaremos más detalladamente en el apartado de las conclusiones.

1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para la realización de este trabajo se han utilizado pruebas de lápiz y papel del tipo asociación de palabras y elección múltiple. A fin de profundizar acerca de las ideas subyacentes en las respuestas proporcionadas por los estudiantes en las tareas escritas, se realizaron entrevistas clínicas tipo Piaget, grabadas en au-

dio. El objeto era comprobar si correspondían a afirmaciones superficiales y fáciles de modificar o, por el contrario, respondían a estructuras más coherentes.

A partir de las concepciones alternativas comentadas en la introducción, en la prueba de asociación de palabras se eligió la modalidad de presentar una palabra estímulo *-energía-* y una lista de términos que corresponden a los conceptos con que usualmente confunden los alumnos la energía. Este tipo de pruebas ha sido criticado por no suministrar información sobre cómo conceptualiza el estudiante la asociación. Nosotros hemos superado este problema añadiendo un segundo apartado que solicitaba frases explicativas de la elección.

En lo relativo a pruebas de opción múltiple, diversos investigadores en este campo han empleado cuestiones del mismo tipo para estudiar estructuras conceptuales de contenido específico, dada su facilidad de aplicación y de corrección en grandes muestras. La información que proporcionan puede ser muy valiosa si los distractores que se aportan están basados en las respuestas de los estudiantes a preguntas abiertas. En esta línea, el análisis de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas aplicadas durante el estudio transversal ya señalado, en particular, las explicaciones proporcionadas por los alumnos, nos condujo a seleccionar como pruebas definitivas para este trabajo dos del tipo comentado, utilizadas por el proyecto CLIS: «Camión de Micky» y «Cambio imposible» (Brook y Driver, 1984).

La validez de las pruebas realizadas viene asegurada por el hecho de que las categorías encontradas en el análisis de respuestas se enmarcan en los objetivos propuestos para las mismas. En cuanto al cumplimiento del criterio de fiabilidad, se ha encontrado que aplicaciones sucesivas y a diferentes niveles académicos arrojan sistemáticamente resultados similares. Podemos concluir que, a juicio de expertos, estas pruebas son idóneas para investigar las ideas que nos proponemos.

En cuanto a la muestra empleada en la investigación, ha estado constituida por alumnos de grupos estándar de segundo de BUP (15-16 años de edad) de los Institutos de Bachillerato Mariana Pineda y Rey Pastor del área urbana de Madrid. El número de individuos participantes ha oscilado entre 180 y 220, según el tipo de prueba, realizándose la toma de datos durante los cursos 1989/1990 y 1990/1991. Para las entrevistas individuales se eligieron estudiantes cuyas contestaciones representaban las principales categorías encontradas durante el análisis de las pruebas escritas.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. *Conceptualización de la energía*

Para la exploración del concepto de energía se utilizó una prueba de asociación de palabras. Tras diversos ensayos piloto se modificó la lista de términos, quedando la redacción definitiva como aparece en el cuadro 1.

CUADRO 1

Prueba de asociación de palabras

1. Entre las palabras que se indican a continuación, elige *dos*, aquellas que te parezcan más relacionadas con la energía.

Alimentos	Movimiento
Electrodomésticos	Atleta
Explosivos	Pila eléctrica
Fuerza	Trabajo

2. Escribe dos frases que indiquen la relación entre energía y cada una de las palabras que has elegido.

La tabla I indica el número de asociaciones de la energía con cada una de las palabras para los 212 alumnos que realizaron esta prueba.

TABLA I

Asociaciones con la Energía

Palabras asociadas con energía	N.º	Porcentaje
Fuerza	121	28,5
Trabajo	89	20,9
Movimiento	86	20,3
Pila eléctrica	59	13,9
Alimentos	34	8,0
Electrodomésticos	23	5,4
Explosivos	6	1,4
Atleta	6	1,4

El análisis de las frases con las que los alumnos justifican su elección condujo a una clasificación de los significados que la palabra energía tiene para ellos. Las categorías establecidas han sido:

- I. Identificación con el concepto de *Fuerza*.
- II. Identificación con el concepto *Trabajo*.
- III. Asociación exclusiva de la energía con objetos en movimiento, vivos o inertes.
- IV. Energía como ingredientes o como depósito (alimentos, pila eléctrica, explosivos).
- V. Idea funcional de la energía (es necesaria para que los aparatos funcionen).
- VI. Concepción antropomórfica de la energía (atleta).

Las entrevistas confirmaron la existencia de algunas de estas categorías, tales como la confusión entre los conceptos de trabajo, fuerza y energía, la idea de que el movimiento está ligado a la energía y el concepto de energía como ingrediente.

A continuación de cada una de las categorías establecidas se citan textualmente algunas de las frases que se han considerado representativas de las mismas, indicando entre paréntesis la interpretación que se les ha dado.

I. Identificación con el concepto de *Fuerza*

- *La energía es la fuerza que se necesita para hacer muchas cosas.*
- *Con la energía obtienes fuerza.* (Fuerza como consecuencia de la energía.)
- *Cuando gastamos fuerza, estamos produciendo energía.* (Fuerza como productora de energía.)

II. Identificación con el concepto *Trabajo*

- *La energía es el trabajo que realiza algo o alguien con lo cual se consigue hacer algo.*
- *Para realizar el trabajo diario necesitamos energía, que nos la proporcionan los alimentos.* (Trabajo como consecuencia de la energía.)
- *El trabajo lleva consigo una pérdida importante de energía con el paso del tiempo.* (Trabajo como «consumidor» de energía.)

III. Asociación exclusiva de Energía con Movimiento

- Las personas energéticas son las personas que se mueven mucho.
- Los movimientos se realizan gracias a la energía que se les aporta. (Movimiento como consecuencia de la energía.)
- El movimiento genera energía, como la energía eléctrica, hidráulica, etc. (Movimiento como productor de energía.)

IV. Energía como ingrediente o como depósito

- La pila eléctrica desprende energía y hace posible movimientos y otras acciones.
- Los alimentos dan energía, es, digamos, la materia prima de una fábrica, que sin la materia prima no funciona. (Pila eléctrica y alimentos como fuente de energía.)
- La pila eléctrica posee en ella una cierta cantidad de energía eléctrica que puede transmitir a otro cuerpo.
- Los explosivos pueden ser energía benefactora y energía destructora. (Pila eléctrica y explosivos como almacén de energía.)

V. Idea funcional de la Energía

- Para que funcionen los electrodomésticos hace falta energía.
- Para que los electrodomésticos puedan funcionar necesitan una cantidad de luz.

VI. Concepción antropomórfica de la Energía

- El médico dijo que una persona está en buena forma cuando tiene muchas energías.
- El atleta derrocha mucha energía, ya que en una carrera el esfuerzo, el movimiento y la velocidad son pruebas elocuentes de una mayor energía y de un mayor desgaste.

La tabla II presenta las opciones elegidas por los alumnos, en base a estas categorías (dos asociaciones por cada uno de los 212 alumnos que realizaron esta prueba).

En líneas generales se han encontrado en este estudio categorías similares a las descritas en la bibliografía correspondiente a otros países. Sin embargo, cuantitativamente, la relación de la energía con la fuerza, el trabajo y el movimiento resulta mayor en nuestra muestra. Aproximadamente un 70 por 100 de los estudiantes eligen alguna de estas palabras entre las posibles.

TABLA II

Asociación de palabras: Categorías

Categorías	N.º alumnos	Porcentaje
I. Identificación con el concepto de Fuerza	121	28,5
II. Identificación con el concepto de Trabajo	89	21,0
III. Asociación exclusiva de Energía con Movimiento	86	20,3
IV. Energía como ingrediente o depósito	99	23,3
V. Idea funcional de Energía	23	5,4
VI. Concepción antropomórfica de la Energía	6	1,4
TOTAL	424	100

Para confirmar esta idea se han contabilizado las parejas de palabras escogidas por cada uno de los alumnos, encontrándose que un 52 por 100 del total eligen Fuerza y Trabajo, Fuerza y Movimiento o Trabajo y Movimiento. Una razón puede ser que los alumnos españoles ya han estudiado física en la enseñanza primaria y están familiarizados con dichos términos, aunque no realizan una discriminación clara entre los conceptos de Fuerza, Trabajo y Energía.

En un segundo lugar aparece la idea de energía como ingrediente, asociada fundamentalmente con la pila eléctrica, pues tanto alimentos como explosivos no son elegidos prioritariamente. Por último, la idea antropomórfica de la energía es muy minoritaria, también en desacuerdo con los resultados de otros investigadores.

2.2. *Transformaciones energéticas*

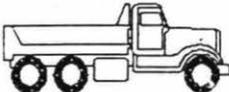
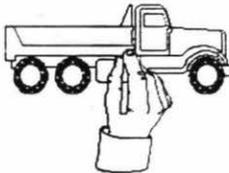
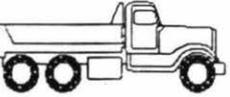
2.2.1. «Camión de Micky»

El objeto de esta cuestión es explorar si los alumnos tienen asimilada la idea de energía acumulada (potencial) o si, por el contrario, asocian energía a movimiento (Figura 1). La idea de energía asociada a movimiento es uno de los esquemas alternativos más frecuentes y arraigados entre los alumnos de esta edad y ha sido ampliamente explorada por varios autores (Solomon, 1983; Watts, 1983, etc.). También se pretende observar si introducen en su explicación los aspectos de conservación y degradación de la energía.

FIGURA 1

Conservación de la energía mecánica

EL CAMIÓN DE MICKY

<p>Este es el camión de Micky</p> 	<p>Se le da cuerda</p> 
<p>Se mueve</p> 	<p>...y después se para</p> 

a) *¿Cuándo tiene el camión de Micky más energía?*

- A. Antes de que se le dé cuerda.
- B. Justo cuando se le da cuerda.
- C. Cuando está en movimiento.
- D. Cuando se ha parado.
- E. Siempre la misma.

b) *Justifica tu elección.*

En una primera fase se procedió a contabilizar el tanto por ciento de alumnos que contestaba cada una de las opciones, estudiando los razonamientos que daban para justificar su elección. Como consecuencia del análisis de estas explicaciones y de las entrevistas realizadas con posterioridad a una muestra reducida, llegamos a considerar que, incluso cuando los alumnos han elegido una opción correcta, presentan ideas alternativas sobre la energía. Por ello, en una segunda fase se procedió a categorizar las respuestas de acuerdo con los razonamientos empleados. Las categorías establecidas han sido:

I. Interpretaciones aceptables en términos de energía

Alumnos que eligen una opción correcta y razonan con frases como:

- *«La energía está acumulada y no ha habido ningún gasto».*
- *«Cuando se le da cuerda ha acumulado la suficiente energía antes de que se “gaste” para moverse».*

II. Confusión Energía-Fuerza

Alumnos que eligen una opción correcta, pero en sus explicaciones mantienen ideas alterantivas.

- *«En los otros tres casos (A, C, D) es menor (la energía) que justo cuando el coche está con toda la fuerza que le da la cuerda y es superior a los anteriores».*

III. Identificación Energía-Movimiento

Alumnos que relacionan la energía con el movimiento y consideran que el camión tiene mayor energía cuando se está moviendo.

- *«Porque cuando está en movimiento necesita tener más energía».*
- *«El camión tiene más energía cuando está en movimiento, puesto que cuando está parado la energía es cero: al soltar la cuerda la fuerza del muelle se transforma en energía (movimiento)».*
- *«Un objeto sólo tiene energía cuando realiza un trabajo que sólo se realiza al haber un desplazamiento».*

IV. Aplicación incorrecta del Principio de Conservación de la Energía

Alumnos que aplican literalmente el principio de conservación, pero no dan ninguna explicación al hecho de que el camión termine parándose.

- «La energía es siempre la misma».
- «El camión tiene siempre la misma energía».

En la tabla III se presenta la distribución de alumnos por categorías.

TABLA III

«El camión de Micky»: Categorías

Categorías	N.º alumnos	Porcentaje
I. Interpretaciones aceptables en términos de energía	108	59
II. Confusión Energía-Fuerza	7	4
III. Identificación Energía-Movimiento	30	16
IV. Aplicación incorrecta del Principio de Conservación de la Energía	11	6
V. No codificables	28	15
TOTAL	184	100

Un alto porcentaje de alumnos (59 por 100) elige una opción correcta, razonando además en términos inicialmente aceptables. Cuando esta prueba se realizó a una muestra de 300 alumnos ingleses de 15 años, se obtuvieron porcentajes de acierto similares (Brook y Driver, 1984).

La idea alternativa de energía asociada a movimiento se manifiesta tanto entre los que escogen la opción del camión en movimiento como entre algunos que, eligiendo la opción correcta, razonan de manera equivocada (un 16 por 100 en total).

No existen prácticamente alusiones a la degradación de la energía en las contestaciones. Sólo en un caso se cita el rozamiento, pero sin dar ninguna interpretación de tipo energético. Estos resultados también son similares a los obtenidos en el marco del proyecto CLIS.

2.2.2. «Cambio Imposible»

El objeto de esta prueba es comprobar si los alumnos son capaces de aplicar el principio de conservación, unido a la idea de degradación de la energía. Tienen que reconocer que, aunque en principio la energía total se conserva, en las transformaciones reales sólo parte de la energía transformada es utilizable. Asimismo tienen que asumir que la energía puede cambiar de forma cuando se transfiere de un sistema a otro. La información que podemos obtener de esta cuestión es bastante amplia, lo que nos ha llevado a escogerla como prueba para evaluar el cambio conceptual experimentado por los alumnos después de la instrucción (Figura 2).

Tras una primera contabilización del porcentaje de alumnos que elegía cada una de las opciones y como consecuencia del análisis de las respuestas obtenidas se establecieron las categorías siguientes:

I. Interpretaciones aceptables en términos de conservación de la energía

Los alumnos eligen la opción correcta y razonan con frases como:

- «En un cambio no se puede aumentar la energía en 50 julios».
- «Una bala al ser disparada con una energía de 200 julios no puede alcanzar una de 250 julios».

II. Cambios intrínsecamente imposibles

Los estudiantes niegan la posibilidad de que se produzcan algunos de los tipos de cambio que se les presentan:

- «Cuando un combustible está en la fábrica no puede convertirse en electricidad, ya que el combustible no pasa por cables».
- «La energía eléctrica no se obtiene a partir de combustibles».
- «La electricidad no se transforma en sonido».

III. Fenómenos no relacionados con la energía

Los estudiantes piensan que el proceso que se representa no está relacionado con la energía.

- «Las ondas sonoras no son energía».
- «El movimiento no es energía».

FIGURA 2

Conservación de la energía

«CAMBIO IMPOSIBLE»

Proyecto Clis

<p>A) BOMBILLA</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>100 J energía (eléctrica) → 40 J energía (luz)</p> </div> </div>	<p>B) RIFLE</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>200 J energía (explosiva) → 240 J energía de bala en movimiento</p> </div> </div>
<p>C) CENTRAL</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>280.000 J energía (combustible) → 70.000 J energía (eléctrica)</p> </div> </div>	<p>D) ALTAVOZ</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>3 J → 0,5 J energía (eléctrica) energía (sonido)</p> </div> </div>

a) ¿Cuál de los cambios de energía A, B, C, D no podrá ocurrir nunca?

b) Justifica tu elección.

IV. Idea de rentabilidad

Los alumnos hacen alusiones al bajo rendimiento de la transferencia, lo que la convierte en un cambio imposible.

- «La energía de un combustible no baja tanto la cantidad al convertirse en energía eléctrica».
- «La energía eléctrica empleada y que se ha convertido en sonido es mucho mayor».

En la tabla IV se presenta la distribución de alumnos por categorías.

TABLA IV

«Cambio imposible»: Categorías

Categorías	N.º alumnos	Porcentaje
I. Interpretaciones aceptables en términos de conservación de la energía	64	34,0
II. Cambios intrínsecamente imposibles	47	25,0
III. Fenómenos no relacionados con la energía ..	19	10,1
IV. Idea de rentabilidad	17	9,0
V. No codificables	41	21,8
TOTAL	188	99,9

Del 65 por 100 de alumnos que eligió la opción correcta, sólo el 34 por 100 fue capaz de razonar su contestación de forma adecuada, alegando que en un proceso no «se puede ganar» energía.

Dentro del conjunto de alumnos que se expresa en términos de cambios intrínsecamente imposibles, la mayoría opta por la central térmica, razonando que la energía eléctrica no se puede obtener a partir de un combustible.

En la categoría relativa a la rentabilidad, un porcentaje alto se inclina por el caso de la bombilla, indicando que hay demasiada pérdida de energía en la transformación energética que se propone.

Al comparar estos resultados con los obtenidos para esta misma prueba en el proyecto CLIS, nos encontramos con un porcentaje superior en un 15 por 100

de aciertos para los alumnos españoles. También aparecen en este proyecto interpretaciones en términos de cambios intrínsecamente imposibles o de poca rentabilidad.

Para concluir, vamos a resaltar las ideas más interesantes que podemos deducir de la aplicación de esta prueba:

- Hay una cierta imposibilidad de admitir la transformación de unas formas de energía en otras (química en eléctrica, eléctrica en sonora, etc.).
- No aparece la idea de degradación en las transformaciones energéticas, es decir, se elige el «cambio imposible» por criterios de conservación pero no se alude a que, forzosamente, la energía útil obtenida en un proceso tiene que ser menor que la energía suministrada.
- Esta prueba aporta resultados inferiores con respecto a las anteriores. En nuestra opinión, esto puede ser debido a que aparece la complejidad de la cuantificación de la energía y el problema de las unidades.

3. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

En síntesis, los resultados de este estudio sugieren una serie de conclusiones que van a tener implicaciones para la enseñanza de la energía:

- 1) En lo relativo a la conceptualización de la energía se ha encontrado en nuestros estudiantes una relación más significativa que la descrita en la bibliografía con las ideas de *Fuerza y Trabajo*, en detrimento de asociaciones de tipo antropomórfico o relativas a la energía como ingredientes en alimentos y explosivos. Estos resultados aparecen tanto en la prueba de *Asociación de palabras* como en las relativas a *Transformaciones energéticas*. Una explicación de estos datos puede estar en la edad de los alumnos (superior a la media que aparece en las investigaciones), juntamente con el hecho de haber estudiado física en etapas anteriores, lo que les ha familiarizado con dichos términos aunque no tengan para ellos el significado que les asigna la ciencia actual.
- 2) Hay un porcentaje significativo de alumnos que identifican sistemáticamente energía con movimiento y no reconocen la existencia de energías potenciales.
- 3) Nuestros estudiantes no han asumido el principio de conservación de la energía conjuntamente con la idea de degradación. Como se comenta a propósito de las interpretaciones aportadas en la prueba *«Cambio imposible»*, la idea de que en *toda* transformación real la energía total se mantiene constante, pero solamente es utilizable una energía *menor* que la suministrada, no está en el bagaje científico de nuestros alumnos.

Por último, se puede destacar que la concordancia obtenida en ese trabajo con otras investigaciones, basadas en entrevistas individuales, es un índice de la utilidad que este tipo de cuestionarios puede tener para el profesor que, deseando partir de las ideas previas de sus estudiantes, tiene dificultades para iniciar los procesos de enseñanza con la realización de entrevistas. Además, el porcentaje de respuestas no codificables obtenido en ambas pruebas no supera el 22 por 100 de los alumnos, resultado que se considera aceptable en cuestionarios de estas características.

Tal como avanzamos en la introducción, se han tomado las conclusiones de esta investigación como punto de partida para diseñar unos materiales didácticos encaminados a introducir la física en la enseñanza secundaria, utilizando la energía como concepto estructurante del currículum. En consecuencia, las ideas clave en estos materiales han sido:

- Partir de las ideas previas de los estudiantes sobre qué es la energía y su diferenciación frente a los conceptos de fuerza y trabajo.
- Basado en una aproximación cualitativa al concepto de energía, plantear el problema de la necesidad de la misma en dos vertientes: la energía para vivir (nutrición) y la energía para «vivir mejor» (uso doméstico, combustibles, etc.).
- Presentar a los alumnos el hecho de que todos los procesos requieren y producen energía. En este contexto se puede hablar de «centrales eléctricas», «energías renovables», «problemas de suministro energético», «ahorro energético», etc., tratando de integrar los dos dominios de conocimiento científico y cotidiano.
- Llegar a asumir que la energía es una magnitud que se conserva en las transferencias y en las transformaciones que experimentan los sistemas reales, pero en estos procesos siempre hay una parte de la misma que se *degrada*, es decir, se convierte en *energía no utilizable*.

La puesta en práctica en el aula de estos materiales ha sido evaluada dentro del marco de la teoría constructivista del aprendizaje, estudiándose el cambio conceptual y actitudinal experimentado por los alumnos. Los resultados obtenidos constituyen una aportación interesante a las numerosas investigaciones realizadas sobre la existencia de esquemas conceptuales alternativos de los estudiantes, así como sobre las posibles estrategias a utilizar para conseguir su evolución, plasmándolas en unos materiales que, además de cumplir los requisitos de significatividad lógica y psicológica, han sido suficientemente contrastados.

RECONOCIMIENTOS

Deseamos agradecer a A. Brook y a R. Driver su autorización para utilizar en este estudio las cuestiones y figuras del «Camión de Micky» y «Cambio imposible».

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSSON, B. (1986): «The experiential gestalt of causation: a common core to pupil's pre-conceptions in Science», *European Journal Science Education*, 8, (2), pp. 155-171.
- BLISS, J. y OGBORN, J. (1985): «Children's choices of uses of energy», *European Journal Science Education*, 7 (2), pp. 195-203.
- BROOK, A. y DRIVER, R. (1984): *Aspects of Secondary students' Understanding of Energy*. Children's Learning in Science Research Group, CSSME, University of Leeds.
- CARRASCOSA, J. (1987): *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las Ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis doctoral. Facultad de Químicas, Universidad de Valencia.
- DRIVER, R.; GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. (1985): *Children's Ideas in Science*. Open University Press, Milton Keynes, England.
- DRIVER, R. y WARRINGTON, L. (1985): «Students' use of the principle of energy conservation in problem situations», *Physics Education*, 20, pp. 171-176.
- DUIT, R. (1983): «Energy conceptions held by students and consequences for Science teaching», *Seminar on misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca, Cornell University.
- (1984): «Learning the energy concept in school-empirical results from the Philippines and West Germany», *Physics Education*, 19, pp. 59-66.
- (1986): «In search of an energy concept», en R. DRIVER y R. MILLAR (eds.), *Energy matters*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, pp. 67-101.
- FAVIERES, A. et al. (1989): «Una aplicación del modelo constructivista al currículum de Física en Bachillerato», *Memoria del Proyecto subvencionado por la Consejería de Educación de la Comunidad Autónoma de Madrid y por la Dirección General de Renovación pedagógica del 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), pp. 23-30.
- HEWSON, P. W. (1990): «La enseñanza de "Fuerza y Movimiento" como cambio conceptual», *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), pp. 157-172.
- (1993): «El cambio conceptual en la enseñanza de las Ciencias y la formación de profesores», en *Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las Ciencias*. Madrid, CIDE.

- KOBALLA, T. R. (1989): «Using salient beliefs in designing a persuasive message about teaching conservation practices to children», *Science Education*, (73), pp. 547-567.
- KRUGER, C.; PALACIO, D. y SUMMERS, M. (1992): «Survey of English Primary Teachers' Conceptions of Force, Energy, and Materials», *Science Education*, 76 (4), pp. 339-351.
- LÓPEZ GAY, R. (1987): «Las representaciones de los alumnos como punto de partida. El caso de la Energía», *Investigación en la escuela*, 4.
- OSBORNE, R. J. y FREYBERG, P. (1991): *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos*. Madrid, Narcea.
- POSNER, G.; STRIKE, K.; HEWSON, P. y GERTZOG, W. (1982): «Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change», *Science Education*, 66 (2), pp. 211-227.
- SOLOMON, J. (1983): «Messy, contradictory and obstinately persistent: a study of children's out-of-school ideas about energy», *The School Science Review*, 65 (231), pp. 225-230.
- (1985): «Teaching the conservation of energy», *Physics Education*, 20, pp. 165-170.
- TRUMPER, R. (1990): «Being constructive: an alternative approach of the teaching of the energy concept-part one», *International Journal Science Education*, 12 (4), pp. 343-354.
- (1991): «Being constructive: an alternative approach of the teaching of the energy concept-part two», *International Journal Science Education*, 13 (1), pp. 1-10.
- VARELA, P.; MANRIQUE, M. J. y FAVIERES, A. (1988): «Circuitos eléctricos: una aplicación de un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos», *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), pp. 285-290.
- VARELA, P.; FAVIERES, A.; MANRIQUE, M. J. y PÉREZ DE LANDAZÁBAL, M. C. (1993): *Iniciación a la Física en el marco de la teoría constructivista*. Madrid, Centro de Publicaciones del MEC.
- WATTS, D. M. (1980): «An exploration of students understanding of the concepts "Force" and "Energy"», *International Conference on Education for Physics Teaching*. Trieste.
- (1983): «Some alternative view of energy», *Physics Education*, 18, pp. 213-217.