

Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la energía y su conservación basada en la investigación en didáctica de las ciencias

Jordi Solbes

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales
Universitat de València, España
jordi.solbes@uv.es

En este trabajo se presenta una propuesta para la enseñanza de la energía que incluye todos los aspectos conceptuales, de procedimiento y de relaciones CTSA, que es necesario tener en cuenta para conseguir un aprendizaje significativo del alumnado y un cambio de su actitud, como muestra la investigación en didáctica de las ciencias.

Palabras clave: enseñanza, energía, conceptos, procedimientos, actitudes.

In this work a proposal is presented for the energy teaching that includes all the conceptual and procedure aspects and STES relations that are necessary to have into account for getting a significant learning of the pupil and a change in his attitude, like investigation in didactics of the sciences shows.

Keywords: teaching, energy, concepts, procedures, attitudes.

Introducción

Gran parte de las propuestas para la enseñanza aprendizaje de la energía se han basado en la existencia de ideas alternativas, planteándose la necesidad de un cambio conceptual en las mismas. En Solbes y Tarín (1998) se presentan brevemente algunas de dichas propuestas. Recientemente, se han presentado materiales (López et al., 2005) que plantean la enseñanza de la energía para generar actitudes y comportamientos del alumnado y del profesorado sobre sostenibilidad, teniendo en cuenta la actual situación de emergencia planetaria (en especial, el calentamiento global) estrechamente vinculada a la obtención y uso de recursos energéticos. Por último, en una tesis doc-

toral sobre el principio de conservación de la energía y sus implicaciones didácticas (Tarín, 2000), en el análisis de la mayor parte de los libros de texto, de laboratorio y manuales de los equipos de secundaria y bachillerato utilizados en nuestro país, detectamos que no existían prácticas de ese tema.

Esta propuesta se ha elaborado planteando el proceso de enseñanza aprendizaje como una investigación dirigida a producir cambios conceptuales, de procedimiento y de actitud que permitan superar las dificultades de aprendizaje de los alumnos.

Para ello, se plantea una serie de objetivos y se señalan las dificultades que se presentan en su consecución; los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 - Listado de objetivos y las dificultades que se presentan en su consecución

Objetivos	Dificultades de aprendizaje
Reconocer la energía como una propiedad de todos los sistemas	Asociación de la energía sólo a los sistemas en movimiento o con vida.
Identificar el trabajo como un proceso de transferencia de energía	Análisis de los fenómenos como una secuencia temporal de acontecimientos sin considerar el sistema de forma global.
Clasificar distintas formas de energía como cinéticas o potenciales.	Identificación de las formas de energía con sus fuentes.
Caracterizar el trabajo mecánico como el producto de una fuerza por el desplazamiento que realiza	Identificación del trabajo con el esfuerzo.
Reconocer la energía cinética como la asociada al movimiento	Localización de la energía potencial gravitatoria en un objeto.
Asociar la energía potencial gravitatoria a la posición de un objeto sobre la Tierra y atribuirle a la interacción entre el objeto y la Tierra.	Reconocimiento del consumo de energía pero no su conservación.
Reconocer que la energía de un sistema aislado se conserva.	Análisis de los fenómenos en términos perceptivos sin considerar la transformación de la energía.
Reconocer que la energía se transforma.	Desconocimiento de la transformación de energía mecánica en interna.
Establecer las limitaciones de la conservación de la energía mecánica.	Identificación del calor con la temperatura
Reconocer el calor como un mecanismo de transferencia de energía	Desconocimiento de la degradación de la energía.
Interpretar el primer principio de la termodinámica y reconocerlo como una generalización de la ley de conservación de la energía mecánica.	Identificación de la transformación de energía mecánica en interna como un gasto de energía.
Reconocer la degradación de la energía. como la transformación de energía mecánica en calor. Familiarizar con el método de trabajo de los científicos	Desconocimiento de los procedimientos implicados en el mismo y, en particular, qué hacer cuando no coincide lo predicho por la teoría, con los resultados del experimento.
Utilizar la conservación de la energía en la interpretación de fenómenos de importancia social: agotamiento de fuentes de energía, energías renovables.	Desconocimiento de las relaciones CTSA y sus implicaciones en la vida cotidiana.
Valorar las consecuencias sociales, ambientales, etc., de la producción y consumo de la energía.	Desconocimiento de las relaciones CTSA y sus implicaciones en la vida cotidiana.

Se ha planteado un tema que incluye todos los aspectos conceptuales, de procedimiento y de relaciones CTSA, etc., ya que como pone de manifiesto la investigación en didáctica de las ciencias, hay que tenerlos en cuenta para conseguir un aprendizaje significativo del alumnado y un cambio de actitud. A nivel conceptual, se propone una enseñanza que parte de las ideas alternativas de los alumnos, para presentar la energía como un concepto unificador de toda la física, desarrollar su conservación, transformación, transferencia y degradación y mostrar las limitaciones de su conservación en las formulaciones que aparecen en mecánica y termodinámica. Se recurre para ello a la historia de la física, para extraer de la misma los problemas significativos, poniendo al alumnado en situación de abordarlos, y poner de manifiesto el carácter tentativo de la ciencia, las limitaciones de la misma, el trabajo colectivo de los científicos, las controversias entre ellos. (Solbes y Traver, 1996 y 2003).

También se abordan trabajos prácticos como pequeñas investigaciones, es decir, los estudiantes se plantean problemas, formulan hipótesis, proponen diseños experimentales, analizan e interpretan los datos y elaboran conclusiones (González, 1992). En concreto, se incluye además de los habituales experimentos de calorimetría, uno similar al realizado por Joule que permite determinar con bastante exactitud el equivalente mecánico del calor y otros dos sobre conservación de energía, en uno de los cuales la energía aparentemente no se conserva, lo que lleva a los estudiantes a replantearse qué hacer cuando no coinciden las predicciones teóricas y los resultados experimentales.

Se aplican los conceptos introducidos a la comprensión de problemas de relevancia tecnológica, social y ambiental (relaciones CTSA) (Solbes y Vilches, 1997), en particular, el consumo desigual de energía en el mundo, sus efectos de agotamiento de recursos energéticos, calentamiento global. Se insiste en que existen alternativas (AAVV, 2006; Sapiña, 2005), en que las hubo antes y que por intereses particulares no se desarrollaron suficientemente [el propio autor comenzó investigando sobre células fotovoltaicas (Segura et al.,

1981), campo que debió abandonar por falta de financiación], y se discute qué podemos hacer cada uno de nosotros para mejorar la situación. Estas actividades no son complementarias, como aparecen en la mayoría de los textos, sino que se integran en el desarrollo del tema. Esta propuesta así planteada permite considerar este trabajo como una contribución a la *Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible* (2005-2014). Y, por último, los estudiantes con sus profesores, revisan y evalúan lo que han aprendido.

En esta propuesta los estudiantes, trabajan en pequeños grupos y abordan las diferentes actividades bajo la dirección del profesor que puede realizar reformulaciones de las aportaciones de los grupos y añadir información, la cual podrá ser mejor asimilada, ya que responde a cuestiones que los estudiantes se han planteado previamente. Estas características son compartidas con otros diferentes modelos de indagación escolar (National Research Council, 2000) y se van imponiendo hasta en la propia enseñanza de la Universidad como se puede apreciar en un artículo publicado en *Nature* (Powell, 2003).

Los materiales presentados corresponden al último curso de la enseñanza secundaria obligatoria (estudiantes de 15 años). Las actividades aparecen con la letra A y en cursiva para evitar que se confundan los textos que preceden a algunas actividades y los comentarios que las siguen. En los comentarios se dice lo que se pretende con las mismas, que resultados cabe esperar, etc. Parte de estas actividades se han discutido con otros profesores y se han aplicado a estudiantes, que obtienen buenos resultados si se comparan con los obtenidos por alumnos a los que se les ha presentado el concepto de energía a través de la enseñanza habitual (Solbes y Tarín, 2004). Otras incorporadas más recientemente, dado el carácter flexible del programa de actividades, como las relativas a los experimentos de conservación de la energía, también se han probado con los estudiantes del IES José Rodrigo Botet de Manises (Valencia) con buenos resultados cualitativos que aparecen en el propio texto. Pasemos entonces a la presentación de la propuesta.

La energía y su transferencia: trabajo y calor

Galileo ya se planteaba el problema de la existencia de alguna relación entre el desplazamiento experimentado por un cuerpo mientras actúa sobre él una fuerza y el cambio de velocidad que se produce. Esta búsqueda de relaciones directas entre cambios (no sólo de velocidad) o transformaciones de la materia y sus causas, condujo, a lo largo de un sinuoso proceso de más de 150 años, a la introducción de nuevas magnitudes físicas en particular los conceptos de trabajo, energía y calor y al establecimiento de relaciones que iban a mostrar una gran potencia explicativa y predictiva.

A.0 Cita algún ejemplo de uso de la energía por los seres humanos a lo largo de la historia.

Antes de abordar las ideas cualitativas de trabajo y energía conviene detenerse para justificar el interés del tema. Para ello, se utilizará la actividad anterior que permite que los estudiantes reflexionen sobre la importancia de la energía en la sociedad. Señalaremos, a continuación, la dificultad que ofrece la introducción del concepto de energía. No olvidemos que la elaboración de este concepto, hasta llegar a su total comprensión mediante el principio de conservación de la energía, fue un proceso que duró unos dos siglos. Por otra parte, los conceptos de energía y de campo son los más potentes, fructíferos y unificadores de la física clásica. Como dice Holton y Brush (1976) “el concepto de energía proporcionó un vínculo unificador de los fenómenos mecánicos y térmicos, el concepto de campo suministró a la electricidad, el magnetismo, la gravedad y la luz un marco común de teorías físicas”. Además, el campo y la energía siguen conservando su validez en la física moderna. Todo esto, pone de manifiesto su importancia y, a la vez su dificultad. Por tanto, hace que sea uno de los temas más investigados por la didáctica de las ciencias, especialmente en el nivel de los estudiantes (como veremos a continuación), pero también en la formación del profesorado.

Como consecuencia de esta dificultad, existe una polémica en la didáctica de las ciencias, sobre la conveniencia de comenzar introduciendo el concepto de trabajo antes del de energía o viceversa (Sexl, 1981; Duit, 1981 y 1984). Opinamos que es preferible una introducción prácticamente simultánea de los conceptos de trabajo y energía por lo que presentaremos, en primer lugar, el concepto cualitativo de trabajo y, a continuación, el de energía. El tratamiento cuantitativo de ambas magnitudes se realizará de forma sencilla, sin distinguir entre los distintos tipos de trabajo (conservativo, disipativo, etc.). Por tanto, nos limitaremos a mostrar que el trabajo que se realiza sobre un cuerpo puede producir variaciones de energía cinética, potencial o de ambas. Esto, pensamos, puede facilitar la comprensión por el alumnado de la conservación y la variación de la energía.

También se incluyen actividades CTSA en las que se presentan aspectos ambientales, sociales y técnicos de la energía, por su gran impacto en el mundo en que vivimos y por la mejora que producen en el aprendizaje al establecer conexiones con los intereses de los alumnos.

En consecuencia, desarrollaremos el tema según el siguiente hilo conductor:

1. Conceptos cualitativos de trabajo y energía
 - 1.1. Idea cualitativa de trabajo
 - 1.2. Idea cualitativa de energía
 - 1.3. Formas de energía
2. Profundización en el concepto de trabajo
 - 2.1. Definición operativa de trabajo
 - 2.2. Medida de la eficacia en la realización de trabajo
3. Profundización en el concepto de energía
 - 3.1. Energía cinética
 - 3.2. Energía potencial gravitatoria
4. Ley de conservación y transformación de la energía
5. Concepción actual de la naturaleza del calor: una transferencia de energía
6. La degradación de la energía.
7. Problemas asociados al uso de la energía y posibles soluciones

1. Conceptos cualitativos de trabajo y energía

1.1. Idea cualitativa de trabajo

Un sistema es un cuerpo o conjunto de cuerpos que separamos del Universo para estudiar lo que les sucede. Lo que queda fuera de él se llama entorno o alrededores. Los sistemas físicos interactúan de distintas formas entre sí y estas interacciones producen cambios en los mismos. Introduciremos a continuación cualitativamente algunos conceptos que nos permitirán estudiarlos.

A.1 Considera diversos ejemplos de lo que se entiende por trabajo en la vida corriente y establece a partir de los mismos el concepto cualitativo de trabajo

Pensamos que esta actividad inicial, permite superar las habituales introducciones puramente operativas, carentes de significado físico. Como en tantos otros casos, la discusión cualitativa permite conectar con las ideas que los alumnos ya tienen. En la exposición de los distintos grupos aparecen las ideas de cambio (transformación) y de fuerza (esfuerzo). Tras la puesta en común, la clase puede llegar así al concepto cualitativo de trabajo como “la transformación de la materia a través de las interacciones, es decir, por la acción de fuerzas”, según la clásica definición de Maxwell (1877), que expresa con bastante propiedad una primera idea de trabajo.

A.2 En las situaciones que aparecen a continuación, señala si se realiza o no trabajo:
a) Subir un saco a una altura determinada,
b) picar una piedra,
c) empujar una pared,
d) caminar sosteniendo una maleta.

Sería didácticamente incorrecto pasar por alto la frecuente confusión entre trabajo y esfuerzo (Driver y Warrington, 1985). Se trata de un error conceptual bastante generalizado. Conviene, pues, detenerse en ésta y otras posibles confusiones abordando los ejemplos propuestos por los alumnos. Así, la cuestión “¿Se trabaja cuando se está sosteniendo un objeto?” exige una respuesta matizada. Parece evi-

dente que el objeto (si es indeformable) no sufre transformaciones. Sin embargo, la impresión de estar realizando trabajo que los alumnos tienen no es errada: el propio sujeto que soporta al objeto experimenta transformaciones (su corazón va más deprisa, transpira...).

Por último, hay que insistir en que la comprensión del concepto no puede lograrse sin tener en cuenta sus relaciones con el concepto asociado de energía, al que se refieren también los alumnos desde el primer momento.

1.2. Idea cualitativa de energía

El concepto de energía nos es muy familiar por usarse frecuentemente en el lenguaje cotidiano, pero conviene que nos detengamos para aclarar y profundizar en su significado físico.

A.3 Expón las ideas cualitativas que tengas sobre el concepto de energía

Hay que señalar que, en esta actividad, la idea de energía como “capacidad de un sistema para realizar trabajo” surge sin dificultades aparentes. Algunos autores han señalado que esta idea no es correcta porque todos los sistemas tienen energía y, sin embargo, no todos pueden realizar trabajo (por ejemplo, muchos sistemas tienen sólo energía interna, pero como están a la misma temperatura que el exterior, no pueden producir transformaciones). Esto les ha llevado a definir la energía como la capacidad de los sistemas para producir transformaciones o cambios. Otros la consideran una propiedad de los sistemas que sólo cambia cuando se producen interacciones, lo cual es cierto, pero no suficiente, porque esto también se puede afirmar de otras magnitudes que se conservan en los sistemas: la cantidad de movimiento, el momento angular, etc. Mejorar esto con el teorema de Emmy Noether que afirma que la energía es la magnitud que se conserva debido a la invarianza de las leyes de la física respecto a traslaciones temporales nos llevaría demasiado lejos. Por ello, pensamos que hay suficientes razones, tanto científicas como didácticas, para conti-

nuar utilizando con estudiantes de 15 años la idea de energía como capacidad del sistema para producir transformaciones.

A.4 Explica si los siguientes cuerpos tienen energía:

- a) una persona que camina;*
- b) una botella de agua;*
- c) un coche que se mueve con una velocidad de 120 km/h;*
- d) una persona que está sentada;*
- e) una cacerola con agua hirviendo.*

En esta actividad vemos que algunos alumnos no reconocen la energía como una propiedad de todos los cuerpos debido a que asocian la energía con el movimiento o con los seres vivos (Solomon, 1983). De acuerdo con dicha concepción, los cuerpos en reposo no poseerán energía.

A.5 ¿Qué sucede con la energía de un sistema que realiza trabajo? Pon un ejemplo.

Por su parte, esta actividad conduce a expresar la idea de que, al realizar trabajo, el sistema consume energía, experimenta una variación de energía. Por supuesto, esta idea (que puede concretarse en una hipotética relación entre el trabajo W y la variación de energía, de la forma $W = DE$) es aún muy imprecisa y habrá de ser profundizada. Pero, de entrada, permite comprender mejor los ejemplos de realización de trabajo en situaciones de la vida práctica considerados en el apartado 1.1. Así puede entenderse más claramente por qué al sostener un objeto se realiza trabajo (asociado a una disminución de energía del sujeto).

En resumen, el trabajo se nos muestra como una forma de transferencia de energía desde un sistema al exterior o viceversa. Si el sistema realiza trabajo, disminuye su energía. Si se realiza trabajo sobre el sistema, aumenta su energía.

1.3. Formas de energía

La importancia de la energía en las sociedades modernas hace que todos los días oiga-

mos hablar de ella, si bien hay que señalar que no siempre el lenguaje ordinario coincide con el científico y ello es fuente de nuevas confusiones que intentamos clarificar en este apartado.

A.6 Enumera las distintas formas de energía que conozcáis.

A.7 Indica, para cada una de las formas de energía consideradas, en qué se basa su capacidad de realizar trabajo, de transformar la materia.

En la primera actividad los alumnos enumeran toda una serie de fuentes de energía, que confunden con formas de energía (Carr y Kirkwood, 1988; Solomon, 1985). Resalta el desorden de esta enumeración, que la siguiente actividad debe contribuir a superar haciendo ver el carácter cinético de algunas denominaciones (energía eólica, etc.) y el carácter potencial de las demás (¡no sólo la potencial gravitatoria!). En definitiva, ha de quedar claro que toda la energía o es cinética asociada al movimiento relativo de unos objetos respecto a otros o es potencial, es decir, debida a las interacciones de los cuerpos (gravitatorias, eléctricas) y avanzar hacia la idea que, por supuesto, no se debe hablar de energía térmica o calorífica, concepción alternativa muy frecuente todavía incluso en algunos textos y que es necesario deshacer. También conviene dejar de utilizar la expresión “energía mecánica” (cinética más potencial gravitatoria)

A.8 Elabora una relación entre las principales fuentes de energía, indicando carácter renovable o no, su consumo, etc.

A.9 Sigue en la prensa, durante el tiempo que indique el profesor, todas las noticias relacionadas con la energía. Elabora un dossier con las mismas con el fin de debatir las consecuencias sociales, económicas, medioambientales, tecnológicas, etc., que el uso de la energía genera.

A.10 Visita una central de producción de energía (hidráulica, nuclear, térmica, solar, etc.) y realiza un trabajo sobre la misma.

Una vez establecidas las formas de energía, es fácil que los alumnos comprendan que la mayor parte de las formas enumeradas inicialmente son, en realidad, *fuentes* de energía.

En cuanto a las fuentes de energía consumida en el mundo en 2001, las dominantes son las no renovables (un 86,3 % del total). Éstas se distribuyen en petróleo (35,1 %, 332 EJ, $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$), carbón (22,6 %, 94 EJ), gas natural (21,7 %, 91 EJ) y nuclear (6,9 %, 29 EJ). Las energías renovables aportan en la actualidad un 13,7 % (57 EJ) de la energía primaria: un 9,3 % (39 EJ) corresponde a la biomasa, un 2,3 % (9 EJ) a la hidráulica y el 2,2 % (9 EJ) restante a las nuevas renovables (solar-térmica y fotovoltaica, la eólica, etc.) (Sapiña, 2005)

A.11 ¿Cómo está evolucionando el consumo de energía?

A.12 Valora críticamente la distribución del consumo mundial de energía

El consumo de energía ha ido en aumento constante debido principalmente a dos razones: por el crecimiento de población y por el incremento de energía consumida por habitante. Así, en las sociedades cazadoras una persona consumía 20.000 J/día, en las primeras sociedades agricultoras 50.000 J/día, en la sociedad industrial europea hacia 1870, 280.000 J/día y un norteamericano hacia 1970, 1.000.000 J/día. También ha ido variando el tipo de energía consumida mayoritariamente: en la antigüedad, la leña; durante la revolución industrial, el carbón y, en la actualidad, el petróleo.

Sin embargo, las cifras de consumo revelan un abismo que separa los países pobres de los ricos. Los 270 millones de norteamericanos consumen tanta energía -en un 80 % de origen fósil- como los 3.600 millones de habitantes de África, América del Sur y Asia. Así, en el año 1994, un habitante de los EEUU consumía por año 8 TEP; uno de la Unión Europea, 3,7 TEP; uno de España, 2,4 TEP; uno de la India, 0,2 TEP (El TEP -tonelada equivalente de petróleo- es la energía obtenida por la combustión de una tonelada de petróleo. 1 TEP =

$4,18 \cdot 10^{10} \text{ J}$) (Solbes, 2002).

También hay grandes diferencias en cuanto a los tipos de energía consumida entre el mundo desarrollado y el tercer mundo. Un 30 % de la humanidad (1.700 millones de personas) queda excluida de cualquier forma de energía que no sea la que proporciona la biomasa (leña, especialmente). Hay 2.400 millones de personas que no tienen acceso a la electricidad. Por ello, en los porcentajes de consumo de energía primaria en el tercer mundo, la biomasa representa el 35 % del total, el petróleo el 26 %, el carbón el 25 %, el gas natural el 8 %, etc. Por el contrario, en la Unión Europea el consumo de energías renovables sólo representa el 5,38 % (Solbes, 2002).

2. Profundización en el concepto de trabajo

2.1. Definición operativa de trabajo

Hemos visto que trabajo es el acto de transformar la materia mediante la aplicación de fuerzas. Sin embargo, en física es necesario buscar definiciones que permitan calcular el valor de la magnitud trabajo. Para ello, hay que saber cómo depende de otras magnitudes.

A.13 Limitándonos al dominio de las transformaciones mecánicas propon una definición de trabajo basada en el concepto cualitativo que acabamos de establecer.

A.14 La unidad de trabajo en el sistema internacional es el Julio (J). Propón una definición de la misma.

La definición operativa $W = F \cdot d$ que los alumnos proponen (y que conviene aceptar inicialmente, pese a sus indudables limitaciones) aparece ahora como consecuencia del concepto cualitativo y así debe ser verbalizado por los alumnos, al menos en lo que se refiere a la inclusión de ambos factores (la fuerza F y el desplazamiento d). Pero la idea de una proporcionalidad directa de ambos factores es una simple hipótesis que debe ser profundizada, evitando así respuestas memorísticas. Se les puede plantear, para ello, que analicen otras expresiones y razonen si pueden ser consideradas como definiciones operativas correc-

tas de la magnitud trabajo, por ejemplo, $W = F/d$ o $W = F \cdot d$ (Calatayud et al., 1988). A continuación se debe insistir en la necesidad de evitar definiciones del tipo “1N x 1m” carentes de todo significado. Al hacerlo, los alumnos llegan a proponer una definición más física como “trabajo que se realiza cuando una fuerza de 1 N se desplaza 1 m”.

A.15 Propón ejemplos de trabajo dando una estimación de su valor en unidades internacionales.

A.16 Se ha de subir un tonel a un camión desde el suelo. Considera cualitativamente cuándo se realiza más trabajo: al elevar directamente el tonel o al utilizar un plano inclinado.

Estas actividades de “estimación” son muy convenientes para familiarizar a los alumnos con los órdenes de magnitud de situaciones reales. Es sobradamente conocida la importancia que tienen dichas estimaciones, no sólo en la vida cotidiana, sino en la propia ciencia: Fermi, por ejemplo, las utilizaba para seleccionar a sus futuros investigadores (Lévy-Leblond, 2002). Situaciones como el trabajo realizado al elevar una maleta a una altura dada o un ascensor a un piso determinado pueden, además, preparar al alumno para entender la relación del trabajo con la energía potencial.

En la siguiente actividad los alumnos responden habitualmente que se hace menos trabajo subiendo el tonel por el plano inclinado, con lo que se pone en evidencia la confusión trabajo/esfuerzo y se puede así insistir de nuevo en el concepto cualitativo de trabajo (¿Acaso la transformación lograda no ha sido la misma?) y en el error de considerar la variación de un único factor (“menos fuerza, menos trabajo”) olvidando el otro (“más desplazamiento”). También se puede proponer alguna actividad cuantitativa del tipo:

A.17 Se eleva una masa de 50 kg a una altura de 12 m con una velocidad constante. ¿Qué trabajo hemos realizado? ¿Qué trabajo ha hecho la fuerza peso? ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza resultante?

2.2. Medida de la eficacia en la realización de trabajo: concepto de potencia

En la vida cotidiana no interesa tanto el trabajo como la eficacia con que éste se realiza, especialmente cuándo hablamos de máquinas (un coche, una grúa, etc.). Abordaremos esta cuestión en las siguientes actividades:

A.18 Propón una definición de una magnitud que mida la mayor o menor eficacia con que se realiza el trabajo.

A.19 La unidad de potencia en el Sistema Internacional es el vatio (w). Propón una definición de la misma.

Aunque la mayor parte de los grupos parten de la idea de que una máquina eficaz es la que realiza mucho trabajo en poco tiempo (lo que conduce directamente a introducir la relación W/t como medida de la “eficacia”), algunos alumnos o el mismo profesor pueden hacer referencia a que se trata de un planteamiento puramente cuantitativo que deja de lado el aspecto “calidad”.

A.20 Realiza estimaciones aproximadas del valor de la potencia para algunos ejemplos reales (motor de ascensor, persona subiendo una escalera, etc.).

A.21 El kw.h (kilovatiohora) es una unidad de trabajo muy utilizada. Da una definición de la misma y calcula su equivalencia con el julio.

A.22 Haz una estimación aproximada del consumo eléctrico de un mes en tu casa (teniendo en cuenta todos los electrodomésticos, bombillas, etc.) y compara con los kw.h que indican los recibos de la compañía eléctrica.

La primera de estas actividades es un nuevo ejemplo de estimación de órdenes de magnitud, la segunda permite determinar el valor del kw.h ($1 \text{ kw.h} = 1000 \cdot 3600 \text{ J}$), unidad usada por las compañías eléctricas, ya que el J es una unidad de energía pequeña. Esto permite realizar la tercera actividad, un ejemplo de relaciones CTSA de importancia porque muestra las implicaciones de la ciencia con la vida cotidiana. Para realizarla es conveniente investi-

gar la potencia de los electrodomésticos, bombillas, etc. y estimar su tiempo de uso. Una ocasión conveniente para que los estudiantes comparen el consumo de las bombillas convencionales y de bajo consumo y vean que esta medida aplicada a un país produciría una sensible disminución de las emisiones de CO₂ (AAVV, 2006).

3. Profundización en el concepto de energía

Hemos visto que la energía es la capacidad de un sistema para realizar transformaciones de la materia, en particular, para realizar trabajo.

3.1. Energía cinética

Como ya sabemos, la experiencia enseña que un cuerpo dotado de movimiento es capaz de realizar trabajo. A este tipo de energía se le llama cinética. A continuación, profundizaremos en ella.

A.23 Señala, a título de hipótesis, de qué magnitudes dependerá la energía cinética de un cuerpo que se mueve con respecto a otros. Señala, así mismo, algunos ejemplos del interés que puede tener conocer y controlar esa energía.

A.24 Sobre un cuerpo en reposo se realiza un trabajo para desplazarlo sobre una superficie horizontal. ¿Qué velocidad adquirirá?

A.25 Calcula el trabajo necesario para aumentar la velocidad de un cuerpo de 40 kg desde 25 a 50 m/s.

La primera actividad es una nueva ocasión para la emisión de hipótesis. Conduce a los alumnos a expresar la energía cinética en función de la velocidad y de la masa. El profesor debe hacerles reflexionar sobre el hecho de que las consecuencias de un choque no son proporcionales a la velocidad, sino al cuadrado de la misma. Dichos choques, así como los molinos de viento e hidráulicos, los arietes, etc., son los ejemplos usualmente mencionados.

Si se ha introducido la expresión:

$$d = \frac{1}{2} at^2,$$

La siguiente actividad permite deducir que:

$$W = F.d = \frac{1}{2} ma^2 t^2$$

y sustituyendo $t = v/a$, encontramos que:

$$W = \frac{1}{2} mv^2$$

Como en el caso de la actividad A.24 la energía cinética inicial es 0, podemos generalizar que $W = \Delta E_c$. También se puede resolver mediante consideraciones cualitativas similares. Para ello, se puede ver que el trabajo produce variaciones en la energía debida al movimiento, es decir, en la energía cinética.

La última actividad es un ejercicio de aplicación de la relación $W = \Delta E_c$ que no ofrece mayores dificultades.

3.2. Energía potencial gravitatoria

En la práctica nos encontramos con sistemas capaces de realizar un trabajo, independientemente de su estado de movimiento. Así, un arco en tensión, un muelle comprimido, dos imanes próximos o un cuerpo situado a una altura sobre la Tierra. Estos sistemas poseen una energía asociada a la posición de sus partes, que se denomina potencial y es debida a la existencia de fuerzas entre dichas partes. De todas las formas de energía potencial consideradas vamos a ocuparnos únicamente de la energía potencial gravitatoria del sistema constituido por la Tierra y un objeto próximo a ella.

A.26 Indica de qué factores cabe suponer que dependerá la energía potencial gravitatoria cuando se tiene un cuerpo en las proximidades de la superficie terrestre.

A veces se habla de la energía potencial de un cuerpo, pero esta energía no es una propiedad del cuerpo (Martín y Solbes, 2001). En efecto, la energía potencial se debe a la interacción del cuerpo y de la Tierra, es decir, a la interacción del cuerpo con el campo gravitatorio terrestre.

A.27 Sobre un cuerpo situado a una altura determinada se realiza un trabajo. ¿Cómo variará su energía potencial?

A.28 Un libro de 5 kg se encuentra a 2 m del suelo de una habitación que, a su vez, está a 15 m sobre la calle. Halla la energía potencial referida al suelo de la habitación y al suelo de la calle. El cuerpo se deja ahora en libertad y cae hasta el suelo de la habitación. Halla la variación de energía potencial utilizando como sistemas de referencia: a) el suelo de la habitación, b) la calle. Comenta los resultados.

La primera actividad es una ocasión de practicar, de nuevo, la emisión de hipótesis. La siguiente pretende que los propios alumnos determinen la relación $W = Fd = mgh$, es decir, $W = \Delta E_p$. Pueden comprender que, si se realiza un trabajo sobre el cuerpo, la energía potencial gravitatoria aumenta y, por tanto, su variación es positiva. Por el contrario, el trabajo realizado por la fuerza de la gravedad disminuye la energía potencial. La última actividad permite a los alumnos constatar el carácter relativo de las energías potenciales (con respecto al nivel tomado como origen de alturas) y el carácter absoluto de las variaciones. Conviene llamar la atención sobre el error cometido en ocasiones por los alumnos, consistente en dar a g (en la expresión mgh) valores negativos o positivos “según el sistema de referencia”. Este error proviene, seguramente, de una fijación funcional adquirida en cinemática y que aquí carece de sentido.

4. Ley de conservación y transformación de la energía

En el apartado anterior hemos estudiado las transformaciones que se producen cuando modificamos la posición de un cuerpo o cambiamos su velocidad. En cada caso hemos establecido que el trabajo realizado sobre el cuerpo suponía una variación de energía potencial E_p o cinética E_c , respectivamente. En general, el trabajo sobre un cuerpo podrá modificar a la vez la posición y la velocidad

del cuerpo, cumpliéndose:

$$W = \Delta E_c + \Delta E_p$$

A.29 Señala qué le ocurrirá a la energía de un sistema que esté aislado del exterior, es decir, que no intercambia energía con su entorno mediante trabajo o cualquier otro proceso de transferencia.

Esta actividad permite deducir fácilmente que en un sistema aislado se tiene que $W = 0$ y, por tanto, deberá cumplirse que $\Delta E = \Delta(E_c + E_p) = 0$. Si definimos la energía total $E = E_c + E_p$ se cumple $\Delta E = 0$ o también que la $E =$ constante. En otras palabras, la energía de un sistema aislado se conserva. Como $E = E_c + E_p$ esto quiere decir que la energía potencial puede irse transformando en cinética, como sucede, por ejemplo, en una caída libre o viceversa, en un lanzamiento vertical. Por eso es mejor enunciarlo como ley de conservación y transformación de la energía.

Este resultado, aparentemente sencillo porque todo el mundo lo conoce, ha sido el fruto de unos 150 años de trabajo científico (Holton y Brush, 1976; Mason, 1986). Galileo (1564-1642), en el *Diálogo de la dos nuevas ciencias* (1638), se planteaba el problema de si existe alguna relación entre el desplazamiento experimentado por un cuerpo mientras sobre él actúa una fuerza y el cambio de velocidad que se produce.

Otro problema que se plantea es el de las variaciones de movimiento que tienen lugar cuando los cuerpos chocan los unos con los otros. Huygens (1629/1695) propuso en 1669 que la suma de las masas por el cuadrado de las velocidades de todos los cuerpos permanece constante antes y después del choque. A esta magnitud se le dio el nombre de “vis viva” y fue utilizada por Leibniz como base de las teorías mecánicas. La conservación de la energía mecánica, no formulada claramente, es utilizada por Huygens para resolver el problema del péndulo y por Daniel Bernouilli (1700-1782) en su estudio de los fluidos en movimiento.

Hay que esperar casi medio siglo para que

la conservación de la energía para un sistema mecánico sea establecida por J. L. Lagrange (1736-1813) en su *Mecánica Analítica* (1788). Se sabe que la energía cinética es $1/2$ de la “vis viva” pero aún no se utiliza el concepto de energía potencial E_p sino la “función de la fuerza”.

A.30 Diseña algún montaje experimental para contrastar la ley de conservación de la energía mecánica en alguna situación particular de fácil realización.

Los alumnos pueden concebir montajes experimentales relativamente sencillos, como por ejemplo, la caída libre, pero como ésta es muy rápida, pueden plantearse la utilización del plano inclinado o una polea con pesas a ambos lados (máquina de Atwood).

Pese a la sencillez de estos trabajos prácticos, detectamos que la mayoría de los libros de texto y de laboratorio y manuales de los equipos de secundaria y bachillerato no las incluían, como ya hemos señalado. Inicialmente pensamos que esto era debido a que los montajes eran redundantes con Cinemática y Dinámica. Ahora bien, esta redundancia es positiva porque se pueden emplear los mismos datos para diferentes prácticas.

Pensamos, entonces, que la ausencia era debida a que se trataba de un trabajo experimental complejo y sujeto a grandes imprecisiones, ya que, entre otras cosas, en los institutos no hay dispositivos que midan velocidades instantáneas. Por eso, cuando se utiliza el plano inclinado y cronómetros para estudiar el MRUA, es conveniente usar barras largas y acanaladas, de madera o aluminio (1,5 o 2,0 m). En este caso se estudia la proporcionalidad entre el espacio e y la inversa del tiempo al cuadrado $1/t^2$, ya que $a=2e/t^2$. Y siempre que se trata de proporcionalidades, las cosas funcionan bien sea cual sea el montaje, como veremos más adelante.

Ahora bien, cuando se intenta estudiar la conservación de la energía, no basta con proporcionalidades, hay que trabajar con igualdades y entonces tenemos problemas. Determinar la energía potencial E_p no presenta dificultades, ya que ésta sólo depende de la altura,

pero para determinar la energía cinética E_c hay que obtener el tiempo t para distintos espacios e y calcular así la velocidad v . Pero con cronómetros, aunque la regla sea larga, no hay suficiente precisión. En consecuencia, es conveniente en estos casos el uso de cronómetros con dos células fotoeléctricas en forma de U, que permiten cronometrar el tiempo de tránsito entre ellas con una precisión de hasta milisegundos y que constituyen la dotación usual de muchos centros.

A.31 Realiza las experiencias propuestas.

Experiencia 1: Caída libre

El principal inconveniente es que el tiempo de caída es muy breve, lo que se agrava porque los soportes del laboratorio suelen tener poca altura (0,7 m). Para evitarlo, se construye un soporte de 2 m de altura, se deja la célula superior fija y se va desplazando la inferior unos 0,2 m cada vez. Se deja caer una pelotita de goma desde la célula superior (de manera que la velocidad inicial es $v_0=0$ m/s) y se determina el tiempo de tránsito en ms, repitiendo el proceso 3 veces. Al realizar la quinta medición apareció un nuevo obstáculo. Es muy difícil hacer pasar el cuerpo por las dos células fotoeléctricas con forma de U simultáneamente, cuando éstas equidistan más de un metro, lo que limita el número de medidas. Se realiza la experiencia, y los resultados obtenidos se pueden tratar con la calculadora o, mejor, en hojas de cálculo (Excel), para aprovechar la motivación que los estudiantes manifiestan por la informática y para familiarizar a los estudiantes con el uso científico de las mismas, contribuyendo a lo que algunos autores (Echevarría, 2002) denominan alfabetización en las TIC. Como se ha realizado una determinación aceptable del tiempo t , esto nos permite determinar la velocidad para cada posición, teniendo en cuenta que $v=at$ y $e=at^2/2$, entonces $v=2e/t$ y la $E_c=mv^2/2$.

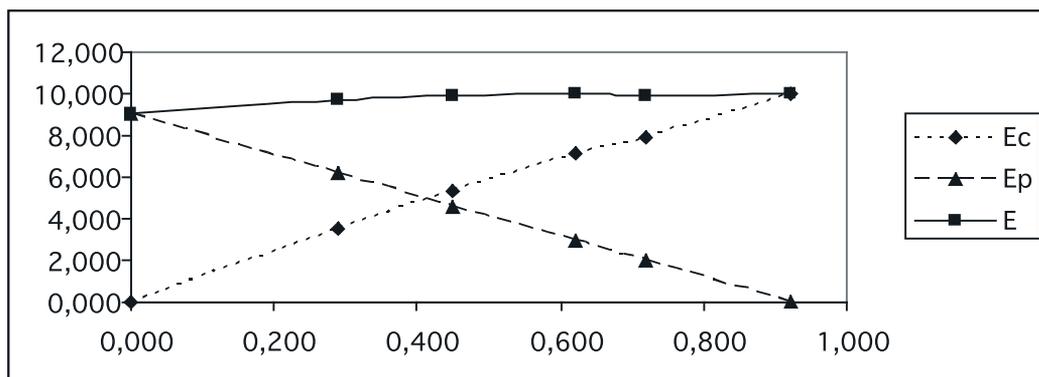


Figura 1. Variación de la E_c , E_p y E (en J/kg) respecto a la altura (en m) en una caída libre

A.32 Analiza los resultados. Se puede decir a la vista de los mismos si se conserva la energía. ¿Qué se puede hacer para mejorarlos?

Se puede comprobar en la tabla de resultados que, conforme cabía esperar, la energía potencial disminuye linealmente con la altura, la energía cinética aumenta linealmente con la distancia recorrida y la energía total es prácticamente constante, pero en este caso la precisión no es muy grande, aunque aceptable si se compara con la que se puede obtener con cronómetros convencionales.

Esto no descarta el experimento, siempre que se acompañe de otros. Se puede preguntar a los estudiantes qué hacer para mejorar los resultados. Proponen utilizar tubos de vidrio transparentes para evitar que la bola impacte con célula inferior y poder tomar así más medidas. Evidentemente, estos resultados serían más precisos con otros medios técnicos,

como el sonar conectado a un ordenador que permite detectar posiciones y velocidades instantáneas y, aunque su uso no es muy común en nuestros Institutos, se encuentra cada vez más extendido en la Universidad de nuestro país y en los centros de secundaria de otras comunidades autónomas de nuestro entorno, por ejemplo, Cataluña.

Experiencia 2. El plano inclinado

Los equipos de ENOSA incorporan planos inclinados cortos (1 m), pero anchos que permiten apoyar las células fotoeléctricas. La velocidad se determina como en el caso anterior y, como la inclinación era de 10° , la altura resulta $h = \Delta e \cdot \sin \theta$. En este caso no hay obstáculos técnicos y para conseguir que la v_0 sea nula, basta con utilizar una tarjeta entre la primera célula fotoeléctrica y la bola. Se realizan las medidas con facilidad, se tratan los resultados con Excel y se obtiene:

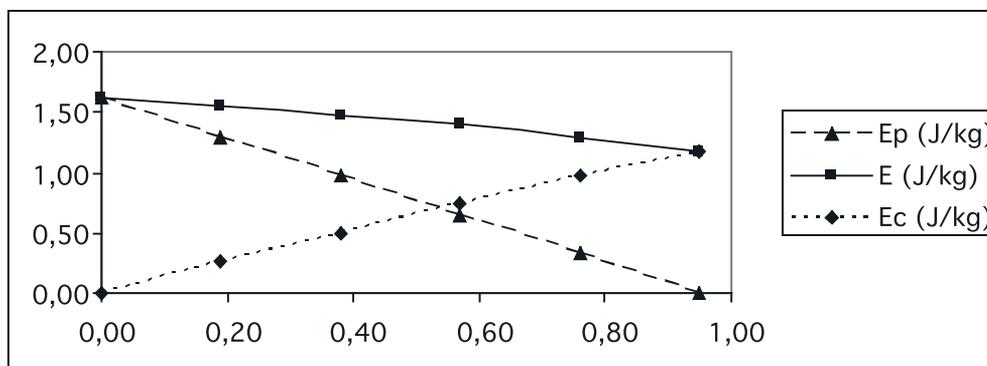


Figura 2. Variación de la E_c , E_p y E (en J/kg) respecto al espacio recorrido (en m) por una bola en un plano inclinado

A.33 Analiza los resultados. ¿Se conserva la energía? ¿A qué puede ser debido esto?

Los estudiantes se sorprenden por los resultados. En este caso, en el que no ha habido ningún obstáculo de tipo técnico que pueda justificarlos, como sucedía en la experiencia anterior, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la energía no se conserva.

No encuentran explicación a esto, aunque alguno hace notar que la energía cinética no crece al mismo ritmo que decrece la potencial. El profesor puede aprovechar esto para señalar que si los resultados experimentales son correctos, el problema puede estar en el modelo teórico utilizado. Esto permite mostrar algunas estrategias usuales de la ciencia. En primer lugar, la necesidad de hacer aproximaciones para estudiar los sistemas. Esto se pone de manifiesto muy pocas veces en los libros de secundaria. La más importante de ellas es utilizar un modelo del sistema, que es una representación más simple y conocida de un sistema complicado o poco conocido. En segundo lugar, la necesidad de cambiar de modelo teórico cuando éste no es capaz de predecir los resultados experimentales. Esto en la secundaria sólo se muestra en teoría (al tratar los

modelos atómicos o de la luz), pero nunca en los experimentos que aparecen como verificación de leyes. Aunque el sistema estudiado es sencillo, quizás las aproximaciones realizadas lo hagan demasiado simple. Efectivamente, los estudiantes han considerado que la energía cinética es $E_c = mv^2/2$, como en el caso anterior. Pero la bola no se desliza sino que rueda y, en consecuencia, la energía cinética debe incluir además de la traslación del CM, la rotación alrededor del CM, resultando ser finalmente, $E_c = 0,7mv^2$. Esta última expresión no se puede demostrar sin recurrir a la dinámica del sólido rígido, en cuyo caso es sencilla, ya que $I = (2/5)mr^2$ y $\omega = v/r$, entonces, la $E_c(\text{rot}) = (1/2)I\omega^2 = (1/5)mv^2$.

Aunque hemos visto que la ecuación se puede deducir con facilidad, como los estudiantes desconocen la dinámica del sólido, también podemos limitarnos a dar el resultado, mostrando su plausibilidad, haciéndoles comprender que necesitamos un nuevo modelo teórico que incluya traslación y rotación y, en consecuencia, la E_c tiene que ser mayor que $0,5mv^2$ para incluir no sólo la E_c de traslación sino también la de rotación. Si utilizan la nueva expresión de la energía cinética, con los mismos datos experimentales, obtienen:

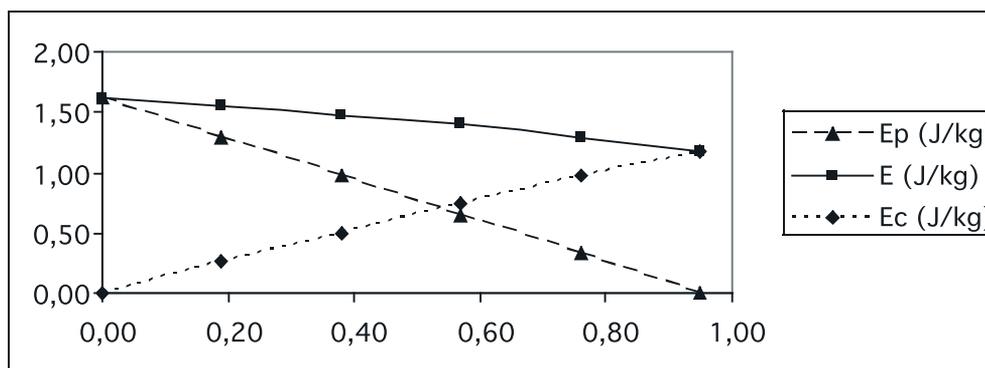


Figura 3. Variación de la E_c , E_p y E (en J/kg) respecto al espacio recorrido (en m) por una bola en un plano inclinado considerando la rotación

El análisis de los resultados pone de manifiesto que estos son muy aceptables: la energía potencial disminuye linealmente con la altura, la energía cinética aumenta linealmente con la

distancia recorrida y la energía total es prácticamente constante.

Esto pone de manifiesto por qué cuando se utiliza el plano inclinado para estudiar el

MRUA, si simplemente nos limitamos a representar la relación entre el espacio e y el tiempo al cuadrado t^2 se obtiene una recta, con lo que parece verificarse que $e=at^2/2$. Pero si uno no se limita a la proporcionalidad e e intenta profundizar más y determinar la aceleración calculando la pendiente de la recta, no obtiene $a=g\sin\theta$, que correspondería a una bola que se desliza, sino que los valores experimentales ajustan mejor con las aceleraciones teóricas de una bola que rueda, $a=(5/7)g\sin\theta$.

Experiencia 3. La máquina de Atwood

En este caso la caída libre de las pesas es decelerada por las pesas del otro lado, con lo cual aparentemente se podrían obtener buenos datos experimentales. Sin embargo, los obstáculos de la realidad intervienen e impiden que esto sea así. En muchos casos el cronómetro no se detenía al pasar las pesas por la segunda célula fotoeléctrica, posiblemente porque ésta era sensible al propio hilo.

A.34 Explica las transformaciones de energía que tienen lugar en los siguientes procesos: a) un coche choca contra un muelle que le hace rebotar; b) una linterna que funciona con pilas; c) un micrófono; d) Un molino de viento mueve una noria que sube agua desde una acequia a otra superior; e) Un molino de agua mueve una dinamo con la que se alimenta una estufa eléctrica.

A.35 Un cuerpo cae por la acción de la gravedad de modo que al pasar por un punto situado a 8 m de altura, su velocidad es de 10 m/s. ¿Qué velocidad llevará cuando pase por un punto situado a 2 m de altura?

La primera de estas actividades permite que los estudiantes realicen cadenas de transformación de energía. La siguiente actividad muestra la potencia del nuevo tratamiento.

Por último, es necesario mostrar las aparentes limitaciones de la ley de conservación de la energía mecánica.

A.36 Considera situaciones en las que parezca no cumplirse el principio de conservación de la energía.

En la última actividad de esta sección se consideran situaciones en las que interviene la fricción. Con ellas se introduce una aparente limitación a la idea de conservación. Se propone la clarificación completa de la cuestión al estudio del apartado siguiente.

5. Concepción actual de la naturaleza del calor: una transferencia de energía

El estudio fenomenológico del calor es la calorimetría. Nos limitaremos aquí a una breve revisión. Uno de los procesos más simples de aquéllos en que interviene el calor es el de los calentamientos y enfriamientos que tienen lugar al poner en contacto cuerpos a distintas temperaturas.

A.37 Emite hipótesis acerca de los factores de que depende la cantidad de calor que absorbe o emite un cuerpo al variar su temperatura.

A.38 Diseña un montaje experimental adecuado para contrastar las hipótesis, indicando la forma de resolver los problemas técnicos (forma de medir la cantidad de calor, etc.)

A.39 Realiza los experimentos y analiza los resultados.

Estas actividades permiten la introducción de la ecuación $Q = c.m.\Delta T$, donde la constante de la expresión obtenida es el calor específico y representa el calor absorbido por la unidad de masa de la sustancia para elevar un grado su temperatura. Si se asigna al calor específico del agua el valor unidad, podemos definir la unidad de calor o caloría como la cantidad de calor que absorbe un gramo de agua para elevar un grado centígrado su temperatura. Su símbolo es *cal*. El diseño exige determinar de forma relativa la cantidad de calor a partir del tiempo de calentamiento, mediante resistencia, mechero Bunsen, etc. También el control de las variables: calentar una cantidad dada de agua y comprobar como aumenta la temperatura ($Q=k\Delta T$), calentar distintas cantidades de agua hasta la misma temperatura y determinar el tiempo necesario ($Q=k'm$), etc.

Pasemos ahora a estudiar qué ocurrirá cuando dos cuerpos a distinta temperatura se ponen en contacto. Para estudiar estos intercambios situaremos los dos cuerpos en un sistema aislado o calorímetro, de modo que no puedan intercambiar calor con el exterior. Lo más parecido a dicho sistema es un termo de los que usamos en casa.

A.40 ¿Qué puede decirse, acerca de las variaciones de temperatura y cantidades de calor implicadas cuando dos cuerpos entran en contacto?

A.41 A título de hipótesis, formula una expresión matemática para la temperatura de equilibrio de los dos cuerpos que entran en contacto.

A.42 Diseña un experimento sencillo que permita contrastar la hipótesis propuesta, realízalo e interpreta los resultados obtenidos.

Estas actividades permiten revisar el intercambio de calor entre dos cuerpos hasta que se igualan sus temperaturas, llegando hasta la introducción de la ecuación $Q_1 + Q_2 = 0$, que combinada con $Q = cm\Delta T$, nos da la temperatura de equilibrio. Se puede comprobar fácilmente mezclando agua a distintas temperaturas. La relación establecida puede utilizarse para la determinación experimental de calores específicos, como podemos comprobar en la siguiente actividad:

A.43 En el interior de un calorímetro tenemos 200 g de agua a 20°C. Al introducir un cuerpo de 50 g calentado a 38°C, la temperatura de la mezcla pasa a ser de 22°C ¿Cuál es el calor específico de dicho cuerpo? ”.

Estas actividades, junto a las anteriores, permiten superar la confusión de calor y temperatura (Arnold, 1994).

A.44 ¿Qué ocurre, desde el punto de vista térmico, cuando los cuerpos se golpean o frotan entre sí?

Sabemos que el rozamiento o el choque de

los cuerpos produce su calentamiento. En el apartado anterior hemos visto que dichos fenómenos están vinculados a aparentes limitaciones del principio de conservación de la energía. La resolución de este complejo problema, a principios del siglo XIX, por Thomson, Mayer, Joule y otros, permitió integrar el estudio del calor o calorimetría en el dominio de la mecánica.

Thomson escribió: “Estando encargado... del taladro de cañones en la fábrica del arsenal militar de Munich, quedé sorprendido por el grado considerable de calor que adquiere, en un tiempo muy pequeño, una pieza de latón cuando es perforada”. El calor engendrado por fricción “parecía no agotarse nunca. Era forzoso concluir que lo que un cuerpo aislado o sistema de cuerpos podía proporcionar de modo continuo, sin limitación, no podía ser una sustancia material, y me parece extremadamente difícil, si no imposible, imaginar algo capaz de ser producido a la manera que lo es el calor en estos experimentos si no es movimiento” (en Holton y Brush, 1976).

A.45 ¿Qué concepción del calor pone en cuestión la experiencia de Thomson? Emite una nueva hipótesis acerca de la naturaleza del calor.

El objetivo básico de este apartado es clarificar el concepto de calor como trabajo, saliendo al paso de los errores habituales de considerarlo como una sustancia (Albert, 1978; Erickson 1979, 1980) o una forma de energía almacenada en los cuerpos (Van Roon et al., 1994). Esta actividad permite criticar la idea de calórico y que aparezca la idea de asociar el calor con la agitación o movimiento de todas las partículas del cuerpo. Thomson encontró dificultades para conseguir que su idea fuera aceptada, entre otras razones porque no pudo dar resultados cuantitativos, al igual que Mayer (Holton y Brush, 1976). Este joven médico, especulando sobre las relaciones entre el calor animal y las reacciones químicas, establece en su ensayo “Observaciones sobre las energías de la naturaleza inorgánica”

(1842) que hay una fuerza (Kraft) inmaterial que puede cambiar de forma y que se conserva en todos los procesos naturales. Esta fuerza es lo que hoy denominamos energía y el calor era, según Mayer, una forma de energía. Este rechazo le provocó desórdenes mentales, de los que se recuperó al final de su vida, pudiendo ser testigo del triunfo de sus ideas.

Las pruebas cuantitativas fueron obtenidas por Joule, un fabricante cervecero, que entre 1843 y 1848 diseñó una serie de montajes experimentales para tratar de establecer la equivalencia entre calor y trabajo.

A.46 Diseña algún montaje experimental para tratar de establecer la equivalencia entre calor y trabajo. Realiza alguna de ellas.

Entre ellas podemos mencionar el estudio del calor que desprende un conductor recorrido por una corriente eléctrica (y obtuvo lo que se conoce como ley de Joule), mediante compresiones y expansiones de gases y, sobre todo, dejando caer pesas desde una altura dada que producen, por fricción (a través de un sistema de palas que hacen girar las pesas al ir bajando) una elevación en la temperatura del agua agitada. Hasta tal punto llegó su constancia por determinar dicho valor que en su viaje de novios a Suiza, se dedicaba a medir mediante un termómetro el incremento de temperatura del agua que al caer por una cascada desde una determinada altura. La más factible es la de la ley de Joule, calentando mediante una resistencia durante un tiempo el agua contenida en un calorímetro y midiendo la temperatura inicial y la final. La energía suministrada por la resistencia se obtiene multiplicando la potencia por el tiempo ($E = P t$), y el calor ($Q = mc\Delta T$). Los resultados obtenidos son bastante aceptables.

A.47 Al caer dos pesas, de 30 kg cada una, desde una altura de 2 m, producen, por fricción (a través de un sistema de palas que hacen girar las pesas al ir bajando) una elevación de 0,56 °C en la temperatura de 500 g de agua. Calcula: a) el trabajo realizado a expensas de la energía potencial de las

pesas; b) el calor producido; c) el equivalente mecánico del calor, es decir, a cuántas calorías equivale un julio.

Calculando el trabajo realizado a expensas de la energía potencial de las pesas y el calor producido se puede determinar el equivalente mecánico del calor, es decir, a cuántos J equivale una caloría (encontrando un valor muy próximo a los 4.18 J/cal aceptados hoy).

A.48 Enumera cambios que puede producir el calor en los sistemas físicos.

La actividad permite mostrar la capacidad del calor para producir transformaciones como la dilatación de las sustancias, los cambios de estado, etc. Conviene detenerse aquí y siguiendo, por ejemplo, Alonso y Finn (1971) dejar muy claro que no hay que concebir el calor como una forma de energía (error muy extendido), sino pura y simplemente trabajo. Un trabajo asociado al desplazamiento de las partículas de un cuerpo y que no puede medirse, por razones obvias de la forma habitual (lo que obligaría a seguir el desplazamiento de cada partícula y medir la fuerza que actúa en cada instante sobre cada una). La magnitud calor aparece así como una globalización estadística del trabajo realizado sobre cada partícula. Un trabajo que se traduce en variaciones de energía cinética de las partículas (agitación que se mide, también estadísticamente, con el concepto de temperatura). Y no puede hablarse de contenido en energía calorífica (a pesar de que se suele hacer) como no puede hablarse de contenido en energía “trabajosa” (cosa que, afortunadamente, nadie hace). Es decir, el trabajo y el calor son formas de transferencia de energía que producen transformaciones en los cuerpos. La comprensión del calor como forma de trabajo abrió paso al establecimiento del principio de conservación de la energía en una serie de procesos en los que parecía no cumplirse.

Con el establecimiento de la equivalencia calor/trabajo, el principio de conservación y transformación de la energía adquiere una validez mayor. Mayer y Helmholtz enunciaron dicho principio de una forma más general,

denominada primer principio de la termodinámica. Dicho principio nos dice que el contenido energético o energía interna de un sistema puede variar porque se realiza un trabajo -por el sistema o sobre él - o porque el sistema absorbe o cede calor. De esta forma, podemos escribir:

$$Q - W = \Delta E$$

donde Q representa el calor absorbido por el sistema, W el trabajo realizado por el mismo y E su energía interna.

Dado que estos trabajos fueron realizados por Mayer en 1842, por Joule entre 1843 y 1848 y por Helmholtz en 1847, hubo disputas de prioridad. En la actualidad se reconoce a Mayer sus consideraciones teóricas, a Joule su trabajo experimental y a Helmholtz el haber enunciado claramente el principio. Además, todos ellos aplicaron el principio de conservación a múltiples fenómenos, no sólo físicos. Mayer a la fisiología y la expansión de los gases. Joule al calentamiento de un líquido por fricción o por corriente eléctrica. Helmholtz a la fisiología (la oxidación de los alimentos explica el calor corporal y la acción muscular), las colisiones inelásticas, los fenómenos térmicos y eléctricos (corriente, inducción electromagnética), etc. Se pretendió, incluso, en constituirlo en un principio de toda la ciencia.

En resumen, hemos visto que si un sistema está aislado su energía se conserva, aunque puede transformarse o convertirse de unas formas a otras. También hemos visto que cuando el sistema no está aislado, transfiere su energía a otros sistemas o viceversa y se produce una variación de la energía del sistema. Los dos mecanismos o formas de transferencia de energía que hemos visto en este tema son el trabajo y el calor.

A.49 Enumera situaciones en las que se propague energía de un lugar a otro, que no estén producidas por un desplazamiento neto de materia ni por una diferencia de temperaturas.

Esta actividad permite mostrar que, además del trabajo y del calor, existen otras formas de transferencia de energía, como las ondas. Las acústicas y las radiaciones electromagnéticas tienen una relevancia especial por su capacidad de transmitir información. Además, estas últimas constituyen el principal mecanismo de transferencia en el Universo. Las estrellas, como el Sol, irradian así su energía. Algunos autores consideran que la radiación ya está incluida en el calor, pero este mecanismo de transferencia de energía es debido a la diferencia de temperaturas, lo que sólo incluiría a la radiación térmica, excluyendo otros tipos de radiación como la dipolar, sincrotrón, de frenado, etc.

A.50 ¿Qué importancia tiene para nuestra sociedad la producción de trabajo a partir del calor?

Es la base del funcionamiento de las máquinas térmicas: inicialmente las de vapor, después los motores de combustión interna (de explosión o diesel) y las centrales eléctricas térmicas (de carbón, fuel o gas).

La primera máquina de vapor que funcionó con éxito a partir de 1712 fue la de Newcomen (1664-1729). El retorno del pistón era debido a la presión atmosférica. Se utilizaba para extraer agua de las minas.

La realización de una máquina eficaz, accionada completamente por vapor, fue obra de James Watt (1736-1819) que, al reparar una máquina de Newcomen, tuvo en 1765 la idea de introducir separado el condensador que permanecía frío. Básicamente, la máquina constaba de una caldera, cuyo vapor entra en un cilindro metálico y empuja el pistón hacia fuera. El pistón está conectado a una rueda por una biela que transforma el movimiento alternativo del pistón en movimiento circular. Cuando el pistón alcanza la posición más alejada, se cierra la válvula de entrada, abriéndose la de salida. La inercia de la rueda hace que el pistón se mueva y que el vapor salga por la otra válvula hacia el condensador y la caldera.

Las máquinas de vapor se utilizaron en trenes y barcos, en la maquinaria textil, la metalurgia, etc. Estas innovaciones técnicas posibi-

litaron la primera revolución industrial (1760-1870). Ahora bien, los desarrollos técnicos son una de las causas de la revolución industrial pero no son la única o la determinante. Pensar lo contrario, sería incurrir en determinismo tecnológico. Los autores, empezando por Marx en su obra “El capital”, que han estudiado los orígenes de la revolución industrial en Gran Bretaña, mencionan múltiples cambios que la favorecieron. En primer lugar, las innovaciones agrícolas de finales del XVIII: la sustitución del sistema de rotación trienal (trigo, cebada o avena y barbecho) por el cuatrienal (trigo, cebada o avena, nabos y trébol, que al fijar el nitrógeno aumenta la productividad de la tierra), la introducción de nuevos arados y trilladoras, la ampliación de regadíos, la generalización del uso de abonos, el cercamiento y la concentración parcelaria, etc. Se transforma así la agricultura tradicional en agricultura de mercado y se produce un aumento de población y una disminución de los trabajadores agrícolas, base de la mano de obra industrial. Otros cambios son la mejora en el transporte (especialmente el fluvial) y la ampliación del comercio exterior y, en particular, la inversión del capital acumulado en la industria, pasando el empresario a ser el propietario de los medios de producción y organizándolos para obtener el máximo beneficio. Por ello, la aparición del sistema fabril no es una revolución tecnológica sino un cambio en el control social de la producción; se sustituye el control del obrero en el trabajo a domicilio por el control del capitalista en la fábrica, donde la disciplina y la supervisión consiguen la reducción de costes (Solbes, 2002).

A.51 ¿Hasta qué punto ha influido la ciencia en estos desarrollos? O, en otras palabras, ¿qué desarrollos se producen en primer lugar; los científicos o los tecnológicos? ¿Ha cambiado esa situación en la actualidad?

Como podemos ver en Solbes (2002), los inventos técnicos no fueron obra de científicos, sino de artesanos que estaban al corriente de los procedimientos técnicos en uso y que conocían por la práctica el problema que

había de resolverse. Así, Newcomen era herrero y James Watt era constructor de instrumentos de precisión. En resumen, la construcción y utilización de máquinas térmicas es previa al desarrollo de la termodinámica. De la misma forma, las técnicas siderúrgicas, de blanqueo y tinte de tejidos, etc., son anteriores a la química. Pero, a su vez, plantean problemas cuya solución contribuyó al desarrollo de esas ciencias. Hasta mediados del siglo XIX, en pleno desarrollo de la primera revolución industrial, los desarrollos técnicos siguen precediendo a los científicos.

Una buena prueba de las escasas relaciones entre ciencia y técnica durante este período es el hecho de que no exista una correspondencia estrecha entre liderazgo científico e industrial. La ciencia inglesa llegó a un estado de declive en el siglo XVIII postnewtoniano, cuando empezaba su decisivo liderazgo en la energía de vapor y en la industria textil, metalúrgica y minera. El florecimiento de la ciencia francesa en el siglo XVIII y principios del XIX, cuando París era el centro científico del mundo, no estuvo acompañado de un desarrollo comparable al avance industrial. Rusia produjo numerosos científicos e inventores durante el siglo XIX, que ejercieron un impacto insignificante en el desarrollo económico del país. El ascenso de Estados Unidos a una posición de florecimiento de crecimiento económico y liderazgo tecnológico ocurrió durante el siglo XIX, período en el que los logros norteamericanos en la ciencia básica fueron mínimos.

En la actualidad, esto no es así, produciéndose una relación más dialéctica entre ciencia y tecnología. Hay avances científicos que originan nuevas tecnologías y desarrollos tecnológicos que plantean nuevos problemas a la ciencia o permiten construir nuevos instrumentos de observación y experimentación que permiten a su vez nuevos avances científicos.

6. La degradación de la energía

El primer principio proporciona información sobre las propiedades de transformación, conservación y transferencia de la energía (Duit, 1981 y 1984). Pero con ellas no está

completa nuestra descripción de la energía, como podemos ver en la siguiente actividad.

A.52 En la naturaleza, un objeto que se desliza sobre una superficie acaba parándose, una pelota que cae rebota a una altura menor, etc., pero no se observa que un objeto pesado empiece a moverse o que una pelota rebote cada vez más alta. ¿Alguno de estos procesos incumple la ley de conservación de la energía?

Estos procesos no incumplen la conservación de la energía y sin embargo no suceden en la naturaleza. Esto nos dice que el primer principio es incompleto, puesto que no suministra información alguna sobre la posibilidad de que el proceso tenga lugar, es decir, sobre las causas de evolución de un sistema en un determinado sentido y no en otro.

A.53 Enumera algunos ejemplos sencillos de procesos que tengan lugar espontáneamente en un sentido, pero no en otros, es decir, de procesos irreversibles. Trata de establecer las causas de su evolución.

Algunos a los que ya nos hemos referido son la caída de una piedra, un objeto que se desliza sobre una superficie acaba parándose, una pelota que cae rebota a una altura menor o a la transferencia de calor de los cuerpos calientes a los fríos. Otros pueden ser la expansión de un gas cuando se conecta su recipiente con otro vacío, la difusión del soluto o la difusión de gases inicialmente separados y gran número de procesos químicos como combustiones, ataques de metales por ácidos, etc. Como se puede ver, hay procesos irreversibles en la mayoría de los dominios: mecánica, difusión, termodinámica, química, electricidad, etc.

Así, cuando un cuerpo que se mueve por una superficie acaba parándose, observamos que se transforma una energía útil, capaz de realizar trabajo (la cinética) en otra no utilizable (la interna, que sólo se puede utilizar mientras su temperatura es superior a la de su entorno). En éste, como en la mayoría de los procesos antes mencionados, se observa que *la energía tiende*

a degradarse (enunciado cualitativo del 2º principio). El concepto de degradación se une a los de transformación, conservación y transferencia para caracterizar la energía.

Observamos una asimetría en los procesos irreversibles: suceden de modo espontáneo en un sentido, pero el sentido inverso es provocado, exige un gasto de energía. Esta misma asimetría fue detectada por W. Thomson (Lord Kelvin) y R. Clausius en su estudio de las máquinas térmicas. Aunque se observa que la conversión de trabajo W en Q es total, Kelvin enuncia en 1849 que *no es posible que exista una máquina térmica que transforme íntegramente en trabajo una cantidad de calor dada*, denominada móvil de 2ª especie, lo que constituye otra manera de expresar el 2º principio de la termodinámica.

En 1850 Clausius en el artículo “Sobre la fuerza motriz del calor” enuncia los 2 principios fundamentales de la termodinámica. Respecto al segundo escribió Clausius: “es bastante posible que en la producción de W se pueda consumir una cierta parte de Q , y que una parte adicional sea transmitida de un cuerpo caliente a uno frío: y ambas partes pueden guardar una cierta relación definida con la cantidad de W producida”. Es decir, que una máquina térmica extrae calor Q_1 de un foco caliente (o caldera), produce un W y cede calor Q_2 al foco frío, cumpliéndose que $Q_1 = W + Q_2$.

A.54 Determinar el rendimiento de una máquina térmica.

Se trata del cociente entre el trabajo producido y el calor suministrado. Es decir,

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Por ello, todas las máquinas y motores tienen rendimientos inferiores al 100 %. Así, el rendimiento de un tren a vapor es del 10 %, el de un motor de gasolina del 25 % (como el del cuerpo humano), el de un motor diesel del 35%, el de una turbina de agua de una central hidroeléctrica de 85 % y el de un motor eléc-

trico o el de una bicicleta del 95 %. Esto nos ofrece una nueva buena ocasión para reflexionar sobre el ahorro energético y, por tanto, sobre la disminución de gases de efecto invernadero, que conlleva el uso de la bicicleta o del transporte público y de lo que se podría conseguir si los estados apoyasen decididamente (vía reducción de impuestos) el uso de coches híbridos (con motores térmicos y eléctricos) (AAVV, 2006).

A.55 *En algunos procesos irreversibles no se aprecia claramente la degradación de la energía, por ejemplo, en la difusión de gases inicialmente separados o la expansión de un gas en un recipiente vacío. ¿Qué sucede con el orden en los mismos?*

Lo que tienen en común es que *los procesos naturales tienden a evolucionar a un estado de mayor desorden*, lo que constituye un enunciado cualitativo del 2º principio. Así, una distribución desordenada, como la mezcla de varios gases es más probable que la constituida por los gases separados.

Luego es evidente que necesitamos una nueva magnitud cuyo valor indique el sentido de la evolución de un proceso, es decir, una magnitud que crezca (o disminuya) en el sentido de evolución. Opcionalmente, según el interés de los alumnos, se puede mencionar que Clausius en 1860 introdujo una nueva magnitud llamada entropía, que definió como $\Delta S = Q/T$, donde Q es el calor transferido en el proceso reversible a temperatura T. Como se trata de una función de estado, lo importante son sus variaciones (como en la energía interna). Así, *la entropía en un sistema aislado siempre aumenta*, es decir, $\Delta S \geq 0$. Esto es un enunciado cuantitativo del 2º principio. Con mayor precisión, en los procesos irreversibles $\Delta S > 0$ y en las transformaciones reversibles $\Delta S = 0$.

La tendencia al crecimiento de la S sólo se aplica a la evolución espontánea o irreversible, de todo el sistema aislado y no a una parte del sistema. Por eso, si el sistema no fuese aislado, la variación de entropía del sistema S_s puede ser negativa, pero si se le suma la variación de entropía del entorno S_e , la variación de la entropía total deberá ser mayor o igual

que 0, es decir, $S = \Delta S_s + \Delta S_e \geq 0$.

A.56 *Los seres vivos son organismos muy ordenados. El proceso de evolución que va desde los primeros seres vivos hasta el Homo sapiens es un proceso de orden. También lo es el desarrollo de un óvulo hasta una persona crecida. ¿Violan estos procesos el 2º principio de la termodinámica?*

Así, en el desarrollo de un óvulo hasta una persona crecida o en el desarrollo de una empresa disminuye la entropía, pero esto se hace a expensas de aumentar en mayor medida la entropía del entorno o ambiente. Esto permitió al economista Georgescu-Roegen (1996) escribir el libro *La ley de la entropía y el proceso económico*, en el que considera que si la producción económica no es más que una tremenda transformación de materia y energía, tendrá que estar sometida a las leyes que sobre estas transformaciones ha establecido la física, en particular, el 2º principio de la termodinámica, lo que ha dado origen a la moderna economía ecológica.

Clausius, considerando que el universo es un sistema aislado (no intercambia ni materia ni energía con el exterior) estableció las dos leyes de la Termodinámica como sigue:

Primera Ley: la energía del Universo es constante;
Segunda Ley: la entropía del Universo aumenta.

Esto hizo que se desarrollase a fines del XIX la idea de “muerte térmica” del Universo, que ejercía una gran atracción en los escritores de divulgación popular y encajaba con el pesimismo de fin de siglo. Por último, aunque la entropía sea considerada por algunos autores como un concepto muy abstracto, señalaremos que nos permite medir cuantitativamente la degradación de la energía o la pérdida de orden que acompaña a los procesos naturales que hemos mencionado anteriormente.

7. Problemas asociados al uso de la energía y posibles soluciones

Una vez estudiada la energía podemos

abordar los principales problemas ligados al crecimiento de su consumo, que han dado lugar a la llamada crisis energética.

A.57 Explica cuáles son los principales problemas asociados a la obtención y consumo de energía.

Esta actividad permite reflexionar sobre el hecho de que en el mundo desarrollado se desperdicia energía de un modo difícilmente tolerable y sus principales consecuencias: el impacto ambiental, el agotamiento de combustibles (y, en general, de recursos, dado que la utilización de la madera está produciendo deforestación en muchos países) y el mantenimiento de la desigualdad (ya que el consumo de energía es diferente en los distintos países, como vimos en el apartado 1) (Solbes, 2002; Vilches y Gil, 2003).

En cuanto al impacto ambiental podemos mencionar (Furió y Solbes, 2006): las mareas negras y el efecto invernadero, producido por el CO_2 y otras sustancias generadas mayoritariamente en la combustión de combustibles fósiles, que contribuyen al aumento global de la temperatura del planeta y al cambio climático. También la lluvia ácida debida a los óxidos de azufre y nitrógeno que se producen en la combustión y que pueden desplazarse grandes distancias antes de combinarse con el agua y precipitarse en forma de ácidos sulfúrico, nítrico, etc., haciendo que el problema creado en las zonas industriales de unos países (por ejemplo, en la cuenca del Ruhr alemana) sea sufrido en los vecinos (en Suecia, Noruega, etc.), donde se acidifican lagos y ríos, se destruyen bosques o se deterioran monumentos famosos. Por ejemplo, la Unión Europea emite a la atmósfera $2,8 \cdot 10^9$ toneladas de CO_2 , el 13 % de la producción mundial, un 80 % de las cuales proviene de la producción, transformación y consumo de energía, que son a su vez responsables de 67 % de las emisiones de SO_2 y del 27 % de NO_x .

A continuación pasaremos a profundizar brevemente en dichos problemas.

A.58 Se estima que el consumo anual de petróleo es $2,9 \cdot 10^9$ TEP, el de carbón $2,4 \cdot 10^9$ TEP y el de gas natural de $1,6 \cdot 10^9$ TEP y que las reservas de petróleo son de $122 \cdot 10^9$ TEP, las de carbón de $535 \cdot 10^9$ TEP y las de gas $97 \cdot 10^9$ TEP. Calcula en cuántos años se producirá el agotamiento de los combustibles fósiles suponiendo que el consumo se mantenga constante. ¿Qué validez piensas que debe tener esta suposición?

La actividad muestra que las reservas de petróleo pueden durar unos 40 años; las de gas, 60 y las de carbón, unos 220 años. Hay previsiones que alargan el plazo del petróleo unos 10 o 20 años más porque consideran que existen más reservas, pero dichas previsiones suponen que el consumo de energía se mantendrá constante, lo cual es poco probable si se tiene en cuenta el mayor desarrollo de países como China, India o algunos de Latinoamérica.

A.59 ¿Cuáles son las posibles soluciones a los problemas vistos en las actividades anteriores producidos por la obtención y consumo mundial de energía?

A la vista de estos problemas cualquier medida cuyo objetivo sea disminuir el exceso debería ser bienvenida. Pero también es cierto que, aún cuando el consumo de energía se redujera considerablemente en los países ricos, el problema principal de la mayoría de la población sobre el planeta es la escasez y no la sobreabundancia, de energía crucial para la satisfacción de necesidades vitales. Se entiende, en este contexto, la preocupación por la superpoblación que aflige principalmente a los países más pobres. El exceso de población se convierte en una presión permanente sobre los recursos naturales, contribuyendo a su agotamiento, al tiempo que propicia la miseria y la escasez.

Así, resulta difícilmente concebible una disminución en el consumo global de energía, aun cuando sea imperioso un cambio en su distribución. Lo cual implica que es preciso considerar las distintas fuentes de energía disponibles hoy y en el futuro, sus posibilidades

y su impacto ecológico, a fin de alcanzar un equilibrio entre el bienestar material de los pueblos y el daño medioambiental que la manipulación energética lleva consigo necesariamente.

No es razonable confiar en milagros o en soluciones simplistas (las fuentes de energía maravillosas, como la fusión fría) y aún menos la ilimitada confianza en los mecanismos del mercado normalmente insensibles a los problemas del deterioro medioambiental a largo plazo o de falta de equidad en el disfrute de los recursos naturales.

Resulta urgente avanzar más en el conocimiento científico del problema energético, fomentando la investigación en todas las disciplinas relacionadas con él. Sólo una combinación de medidas políticas y sociales -tendientes a evitar los excesos y a acabar con las desigualdades- y de medidas científicas y tecnológicas -tendientes a poner a punto nuevas fuentes de energía más limpias y seguras y tecnologías con mayor rendimiento energético- servirá para progresar válidamente.

Entre esas medidas hay que insistir en la reducción de la contaminación cuando se usa energía (mediante la eliminación de impurezas en el carbón utilizado en las centrales térmicas, el uso de catalizadores en los coches, ecopetroleros de doble casco, etc.), en la utilización de energías renovables y no contaminantes (solar, eólica, geotérmica, etc.) y en el aumento de eficiencia en el uso de la energía (bombillas de bajo consumo, transporte público, bicicletas en lugar de coches, etc.). Hay que insistir en la importancia de las “pequeñas” acciones individuales (en casa, en el Instituto) que responden al planteamiento de pensar globalmente y actuar en un nivel local. A este respecto es muy instructivo el libro *50 cosas sencillas que tú puedes hacer para salvar la Tierra* (The Earth Works Group, 1992).

A.60 Enumera las fuentes renovables de energía que conozcas, señalando cuáles pueden ser sus ventajas e inconvenientes, frente a las no renovables.

Como podemos ver en Solbes (2002), son energías que no agotan recursos y que tienen

un bajo impacto ambiental. Las más utilizadas en la actualidad son la *biomasa* y la *hidroeléctrica*. La *hidroeléctrica* utiliza la energía potencial de los saltos de agua y, mediante turbinas y generadores, la transforma en energía eléctrica. La *biomasa* es la materia orgánica, que directamente o sometida a un proceso de transformación, puede ser utilizada como fuente de energía. Muchos autores incluyen en este concepto la leña utilizada como combustible. Pero no hay que olvidar que los árboles tienen un ciclo de renovación largo y que algunas técnicas de explotación forestal (como las cortas a hecho) impiden dicha renovación. Otros incluyen sólo la biomasa destinada directamente a aplicaciones energéticas (plantaciones de caña de azúcar, sorgo, etc.) y la biomasa residual que incluye residuos forestales y agrícolas, ganaderos (estiércol), residuos sólidos urbanos orgánicos, aguas residuales, etc. Se utilizan directamente como combustible y abono. Por fermentación anaeróbica se puede obtener a partir de ellos biogás (60 % de metano y 40 % de dióxido de carbono) o bioalcohol, a partir de la caña de azúcar. Brasil ha desarrollado un plan de bioalcohol como combustible sustitutivo de la gasolina. China e India son los mayores productores de biogás.

Menos utilizadas son la energía *geotérmica*, *eólica* o *solar*. La *geotérmica* se basa en el calor procedente de la tierra, especialmente de zonas volcánicas. Se están realizando notables progresos en Islandia e investigaciones en las Islas Canarias. La *eólica* utiliza la energía cinética del viento que mediante molinos, turbinas y generadores se transforma en energía eléctrica. Se están utilizando para suministrar electricidad directamente a granjas o aldeas retiradas y, cuando la potencia aumenta, para suministrar energía a la red eléctrica. España es uno de los grandes productores mundiales de esta energía, tras Alemania y Dinamarca, con parques eólicos en todo el país, destacando por su magnitud los de la Muela (Zaragoza), Manzanares, As Pontes (Galicia). Incluso hay comunidades autónomas como Navarra que están a punto de conseguir que toda su energía eléctrica sea de origen eólico.

La energía *solar* es un término confuso porque incluye gran cantidad de dispositivos que

sólo tienen en común la utilización directa de la luz del Sol. Podemos mencionar los paneles solares (que suministran agua caliente para uso doméstico), la arquitectura solar (que permite reducir sensiblemente el consumo de energía en calefacción, refrigeración e iluminación de las casas simplemente mediante el diseño y la construcción adecuada de las mismas), los hornos solares (que concentran los rayos solares con espejos para producir elevadas temperaturas), las centrales electrosolares (grandes hornos solares, que calientan un fluido que acciona turbinas y generadores), las células solares fotovoltaicas, construidas a partir de semiconductores, como el silicio, que permite transformar directamente la luz del Sol en electricidad. Se utiliza en satélites espaciales, viviendas, faros, antenas y otros dispositivos distantes de la red eléctrica. Pero las células fotovoltaicas tienen un gran futuro situadas en los tejados infrautilizados de casas y fincas conectadas a la red eléctrica (lo que abarataría costes), a lo que se han opuesto las empresas eléctricas españolas hasta que recientemente ha obligado a ello una ley de la UE. Aún así siguen planteando dificultades.

A.61 Los partidarios de las energías convencionales sostienen que las alternativas son incapaces de solucionar nuestras necesidades y que su rendimiento es muy bajo. Valora críticamente esta afirmación.

Estas afirmaciones sobre las fuentes de energías alternativas, sobre que son incapaces de solucionar nuestras necesidades, que su rendimiento es muy bajo o que son más caras pueden responder a intereses particulares, que no tienen en cuenta los costes derivados del almacenamiento de sus residuos o del tratamiento de los problemas ambientales que provocan, es decir, ocultan o “externalizan” costes que paga el Estado y, en último extremo, todos los contribuyentes. Si dichos costes se incluyesen, se equipararían e incluso algunas formas de energía convencionales podrían resultar más caras. Lo cierto es que las energías renovables (eólica, solar, etc.) no podrían responder a los picos de demanda, por su carácter variable, pero evidentemente no es

éste el problema, puesto que no se trata de producir toda la energía eléctrica con células solares, molinos, etc. sino de diversificar una oferta muy concentrada en el petróleo, que se agota e incrementa el efecto invernadero, como hemos dicho anteriormente. Por otra parte, algunos autores sostienen que la electricidad así obtenida debería incrementarse para producir hidrógeno, que podría utilizarse como combustible de las pilas de hidrógeno de muy diversos vehículos (Sapiña, 2005).

Las empresas eléctricas muy recientemente se han inclinado por la energía eólica y no se muestran muy partidarias de la fotovoltaica utilizando las alegaciones anteriores y añadiendo que los acumuladores son contaminantes. Pero lo cierto es que se consiguen rendimientos superiores al 15 % (las centrales térmicas están en torno del 30 %), que los costes se abaratan si aumenta la producción y que las células se pueden conectar a la red eléctrica, conexión a la que, como hemos dicho, se han opuesto las compañías eléctricas y que ahora está permitida por la legislación europea. Y éste es el problema real, las empresas prefieren las grandes unidades centralizadas y consumidores pasivos, a pequeñas unidades descentralizadas con usuarios que producen y consumen a la vez. Este rechazo de la energía solar es muy preocupante y más en países como España, con gran insolación, de la que padecemos sus efectos (elevadas temperaturas, sequía), sin disfrutar sus ventajas energéticas.

A.62 ¿Qué importancia tiene la energía que nos llega del Sol?

La casi totalidad de la energía de nuestro planeta procede del Sol. Esta energía se determina a partir de la *constante solar*, definida como la potencia por unidad de superficie de la luz del Sol que llega a la atmósfera terrestre. Su valor es de unos 1,395 kW/m². Por tanto, el valor de la energía solar interceptada por la superficie iluminada de la Tierra durante un segundo es de 173.10¹² kJ. Representa el 99,9 % de la energía en la superficie terrestre. La pequeña parte del total que no es de origen solar procede de la energía del calor interno de la Tierra (volcanes, manantiales calientes,

etc.), de la energía de las mareas (debida a la interacción gravitatoria de la Luna, la Tierra y el Sol) y de la energía nuclear (causada por la desintegración de sustancias radiactivas).

Aproximadamente un 30 % de la potencia solar incidente es reflejada directamente al espacio, mientras que el 2 % es absorbido en la capa de ozono. Un 45 % es absorbido por la atmósfera, la superficie terrestre y los océanos y convertido en calor, que es radiado de nuevo (en especial, por la noche) como infrarrojo. El 23 % es consumido en el ciclo hidrológico (evaporación, precipitación y circulación superficial del agua). Un 0,2 % produce vientos, olas y corrientes oceánicas. Por último, el 0,02 % es utilizado en la fotosíntesis. Para hacernos una idea de lo que esto supone, señalemos que la energía eléctrica consumida en España en 1994 fue 12.490 kTEP (es decir, unos $52.208,2 \cdot 10^{13}$ J)

A.63 Teniendo en cuenta las horas de insolación, la nubosidad, etc., podemos considerar una potencia por unidad de superficie de 220 W/m^2 (al nivel del mar). Si ésta se recoge en unas células fotovoltaicas con un 10 % de rendimiento, ¿qué superficie sería necesaria para producir la energía eléctrica consumida en nuestro país? ¿Qué porcentaje de la superficie española representa? (Superficie de España = 504.750 km^2)

Estimaciones realizadas en 1995 indicaban que se podría producir toda la energía eléctrica consumida en el estado español con 750 km^2 de células fotovoltaicas con un rendimiento del 10 %, cuando la superficie española es de 504.750 km^2 , es decir, las superficies no son tan grandes y hay muchos km^2 de tejados en este país. Por eso resulta paradójico que se propongan complejas centrales fotovoltaicas a gran escala basadas en grandes satélites de células solares en órbita, que transmitirían la energía eléctrica producida mediante microondas recogidas por antenas terrestres. Resulta más práctico situarlas en la Tierra, pero se dice que son necesarias grandes extensiones de terreno, lo cual, como hemos visto no es cierto.

A.64 Haz propuestas para resolver las necesidades humanas que permitan un desarrollo sostenible.

El concepto de desarrollo sostenible, que se aborda en esta actividad, fue introducido en el informe Brundtland *Nuestro futuro común* (1987), que intenta hacer compatibles desarrollo y ecología. Este informe se basa especialmente en una ecología de la pobreza, es decir, en una serie de medidas internacionales para favorecer el desarrollo sostenible del tercer mundo. Entre dichas medidas se pueden indicar el aumento de la ayuda económica de los países avanzados (el 0,7 % de su PIB), la transferencia de tecnologías modernas y eficientes energéticamente (en lugar de las tecnologías contaminantes y obsoletas que se transfieren en la actualidad), el cambio de la deuda exterior del tercer mundo (que absorbe buena parte de sus recursos) por medidas ecológicas; sustitución de los monocultivos controlados por las multinacionales, por cultivos propios, etc. Estas medidas se deben complementar con otras para los países avanzados: reforma de los sistemas de contabilidad para que incluyan la merma de capital natural, transferencia a las empresas del coste de restauración del aire, agua y suelo que deterioran, por medio de un impuesto o tasa ecológica; elaboración de leyes que incentiven a las empresas y a los ciudadanos en el uso de energías renovables, en la utilización más eficientemente de la energía y los recursos propios, en la reducción de la contaminación, en el reciclado de residuos, en la protección de los espacios naturales y la recuperación de los degradados, etc. No basta sólo con medidas proteccionistas o conservacionistas. Se necesitan también cambios en el modelo económico del primer mundo. Es necesario reducir la producción y el transporte (reducir, reciclar, reutilizar), consumir menos, etc. También es necesario que todo esto no se haga a expensas de los más débiles (por ejemplo, reduciendo los puestos de trabajo) sino distribuyendo más equitativamente el trabajo y los beneficios.

Referencias

- AAVV (2006). Energía, presente y futuro. N° *monográfico de Investigación y Ciencia*. Noviembre 2006.
- Albert, E. (1978). Development of the concept of heat in children, *Science Education*, 62 (3), pp. 389-399.
- Alonso, M. y Finn, E.J. (1971). *Física. Vol 1. Mecánica*. México: Fondo Educativo Interamericano.
- Arnold, M. (1994). Children's and lay adults' views about thermal equilibrium, *International Journal of Science Education*, 16 (4), pp. 405-419.
- Calatayud, M. L.; Carbonell, F., Carrascosa, J.; Furió, C.; Gil, D.; Grima, J.; Hernández, J.; Martínez, J.; Payá, J.; Ribó, J.; Solbes, J. y Vilches, A. (1988). *La construcción de las ciencias físico-químicas. Programas guía de trabajo y comentarios para el profesor*, Valencia: NAU Llibres.
- Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU (1987), *Nuestro Futuro Común* (conocido como *Informe de Brundtland*), Madrid: Alianza.
- Carr, M. y Kirkwood, V. (1988). Teaching and learning about energy in New Zealand secondary school junior science classrooms, *Physics Education*, 23, pp. 87-91.
- 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. (1981). Understanding Energy as a Conserved Quantity-Remarks on the Article by R. U. Sexl, *European Journal of Science Education*, 3 (3), pp. 291-301.
- Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school-empirical results from The Philippines and West Germany, *Physics Education*, 19, pp. 59-66.
- Echevarría, J. (2002). *Ciencia y Valores*, Barcelona: Destino.
- Erickson, G. (1979). Children's conceptions of heat and temperature, *Science Education*, 63 (2), pp. 221-230.
- Erickson, G. (1980). Children's viewpoints of heat: A second look, *Science Education*, 64 (3), pp. 323-336.
- Furió, C. y Solbes, J. (2006). La sostenibilidad en el currículo de Química. *IV Congreso Internacional sobre Didáctica de las Ciencias*. La Habana.
- Georgescu-Roegen, N. (1996). *La Ley de la Entropía y el proceso económico*, Madrid: Fundación Argenteria.
- González, E. (1992). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), pp. 206-211.
- Holton, G. y Brush, S. (1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona:Reverté.
- Lèvy-Leblond, J.M. (2002). *Conceptos contrarios o el oficio de científico*. Barcelona: Tusquets.
- López, J.; Gil, D.; Vilches, A. y González, E. (2005). Papel de la energía en nuestras vidas. Una ocasión privilegiada para el estudio de la situación del mundo. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18 (2), pp. 53-91.
- Martín, J. y Solbes, J. (2001). Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en Física, *Enseñanza de las ciencias*, 19 (3), pp. 393-404.
- Mason S.F. (1986). *Historia de las ciencias*, vol. 4, Madrid: Alianza.
- Nacional Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Educations Standards. A Guide for Teaching and Learning*. Washington D.C.: Nacional Academia Press.
- Powell K. (2003) Spare me the lecture, *Nature*, 425, pp 234-237.
- Sexl, R. U. (1981). Some Observations Concerning the Teaching of the Energy Concept. *European Journal of Science Education*, 3 (3), pp. 285-289.
- Sapiña, F. (2005). *El repte energètic*. Bromera: Alzira.
- Segura, A.; Lloret, J. L.; Solbes, J.; Pomer, F.; Valdés, J. L. y Chevy, A. (1981). Células solares In₂O₃-n /InSep: Caracterización y rendimiento, *Revista de la Real Academia de Ciencia Físicas, Exactas y Naturales*, LXXV, pp. 10071022.
- Solbes, J. (2002). *Les empremtes de la Ciència. Ciència, Tecnologia, Societat: Unes relacions controvertides*. Alzira: Germania.
- Solbes, J. y Tarín, F. (1998). Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía, *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), pp. 387-397.
- Solbes, J. y Tarín, F. (2004). La enseñanza del principio de conservación de la energía: una propuesta y unos resultados, *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (2), pp. 185-194.
- Solbes, J. y Traver, M. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la

- química, *Enseñanza de las ciencias*, 14 (1), pp. 103-112.
- Solbes, J. y Traver, M. (2003). Against negative image of science: history of science in the physics & chemistry Education, *Science & Education*, 12, pp. 703-717.
- Solbes, J. y Vilches, A. (1997). STS interactions and the teaching of physics and chemistry. *Science Education*, 81 (4), pp. 377-386.
- Solomon, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains, *European Journal of Science Education*, 5 (1), pp. 49-59.
- Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy, *Physics Education*, 20, pp. 165-176.
- Tarín, F. (2000). *El principio de conservación de la energía y sus implicaciones didácticas*, Tesis doctoral, Departament de les Ciències Experimentals. Universitat de Valencia.
- The Earth Works Group (1992). *50 cosas sencillas que tú puedes hacer para salvar la Tierra*, Barcelona: La Caixa.
- Van Roon, P. H.; Van Sprang, H. F. y Verdonk, A. H. (1994). 'Work' and 'Heat': on a road towards thermodynamics, *International Journal of Science Education*, 16 (2), pp.131-144.
- Vilches, A. y Gil, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.