

# Capítulo 10

---

## ¿Cómo profundizar en el estudio de los cambios que ocurren a nuestro alrededor?

---

### Introducción de los concepto de energía y trabajo

*Josep Lluís Doménech, Daniel Gil Pérez, Joaquín Martínez Torregrosa y Pablo Valdés*

**Comentarios preliminares.** Planteamos en este programa de actividades la profundización en el estudio de los cambios (Gil et al., 1991). Un estudio que se inició con la descripción de uno de los cambios más sencillos –el desplazamiento de los cuerpos– y la introducción de conceptos como el de interacción. La profundización que ahora iniciamos permitirá introducir magnitudes como trabajo y energía que, como sabemos, se revelaron de una extraordinaria fecundidad para el estudio científico y tecnológico de todo tipo de transformaciones.

## INTRODUCCIÓN

Como hemos constatado en temas anteriores, el concepto de fuerza (establecido por los tres principios de la dinámica de Newton) permite explicar los cambios de movimiento experimentados por los objetos. Pero, además de los movimientos, ocurren muchas otras transformaciones en la naturaleza, y su estudio ha conducido a la introducción de nuevas magnitudes que han permitido profundizar en la comprensión y aprovechamiento de los cambios.

### A.1. Pongan ejemplos de cambios, de transformaciones, que ocurren en la naturaleza y sugieran por qué puede ser interesante su estudio.

**Comentarios A.1.** Aunque inicialmente los alumnos pueden hacer contribuciones escasas, si se insiste y se valoran esas primeras aportaciones, poco a poco se incrementa su productividad y acaban mencionando un sinnúmero de ejemplos que les hacen comprender el interés del estudio de los cambios: desde los que se producen “espontáneamente” en la naturaleza (como terremotos, erupción de volcanes, erosiones... o el crecimiento de los seres vivos) hasta los que producimos los seres humanos, como árboles transformados en muebles o en papel, petróleo en plásticos o medicinas, trigo en pan... , sin olvidar la transformación de bosques en desiertos, por culpa de la deforestación irracional, de ríos en cloacas, por la falta de responsabilidad de empresas y gobiernos en el control de lo que en ellos se vierte, etc. De esta forma se comprende el interés por conocer la naturaleza de los cambios, cómo producir algunos y cómo controlar o evitar otros.

La atención a la gran diversidad de cambios que tienen lugar en la naturaleza no debe dejar en la sombra una concepción muy presente en la tradición cultural y, como hemos podido constatar, entre los propios alumnos: la de que hay cosas inmutables.

Se podría pensar que estamos dando excesiva importancia a la idea de cambio, de transformación. Conviene, pues, que nos planteemos la siguiente actividad:

### A.2. Propongan ejemplos de cosas que se podrían considerar inmutables, es decir, que permanezcan siempre iguales.

**Comentarios A.2.** Como es lógico, esta actividad pretende cuestionar la idea misma de objeto inmutable, reforzando así aún más la importancia del estudio de los cambios. Cabe mencionar la creencia habitual en el carácter inmutable de los cielos, que puede cuestionarse con referencias a la “historia” del universo, marcada por transformaciones muy profundas, como el “big bang”, el nacimiento y muerte de las estrellas, etc., sin olvidar algunas tan próximas y de efectos tan notables sobre la vida en la Tierra como el choque de meteoritos o las tormentas solares.

En ocasiones, los estudiantes se refieren también a las rocas como objetos inmutables. Interesa, entonces, discutir lo que representa la erosión y referirse a cómo el agua, el viento o las raíces de las plantas reducen esas rocas a polvo.

Menos frecuentes, pero aún más interesantes, son las referencias al hecho de que los animales “sean siempre iguales”, es decir, que “los perros siempre engendran perros y los caballos, caballos”. Ya sabemos que esta idea de la inmutabilidad de las especies ha sido una creencia común, apoyada por las apariencias, hasta el punto de que los trabajos de Darwin sobre la evolución de las especies fueron rechazados por la Iglesia e incluidos en el *Índex Librorum Prohibitorum*. La discusión de hechos

como éstos puede ser una magnífica ocasión, tanto para reforzar la importancia de la idea de cambio como para insistir en la complejidad de las relaciones CTSA y en la importancia de la libertad para el desarrollo científico.

- A.3. Diseñen una exposición para poner de relieve las ventajas e inconvenientes de algunos de los cambios que tienen lugar en la naturaleza y, en particular, los que provocamos las personas (utilizando todo aquello que consideren conveniente preparar o recoger: carteles, fotos, maquetas, recortes de prensa, objetos ilustrativos...). Dicha exposición podrá ser visitada por estudiantes y profesores de otros cursos y centros.**

**Comentarios A.3.** La idea de una exposición *pública* introduce una fuerte motivación, puesto que la actividad deja de ser un simple ejercicio escolar para convertirse en la elaboración de un *producto*, destinado al consumo real de otras personas (visitantes de la exposición). Naturalmente, no se puede abusar de actividades como ésta, que exige bastante trabajo. Pero es importante recurrir en alguna ocasión a las mismas y esta introducción al estudio de los cambios puede ser una excelente oportunidad, al igual que al finalizar el tema a modo de recapitulación.

Es importante que esta exposición contribuya a hacer comprender que nuestras acciones –y, muy en particular, las de la ciencia y la tecnología– tienen efectos que deben ser sopesados y sometidos responsablemente al “principio de prudencia”. Es preciso a este respecto evitar cualquier reduccionismo acerca del papel de la tecnociencia, y no dejarle caer en su exaltación acrítica como factor absoluto de progreso, ni en hacerle responsable casi en exclusiva de la degradación de las condiciones de vida en el planeta. Nos remitimos a este respecto a lo discutido en los tres primeros capítulos, acerca del tratamiento superficial de las relaciones CTSA

Una vez los alumnos han discutido la importancia del estudio de los cambios están preparados para abordar dicho estudio, apoyándose en sus vivencias y concepciones, que es preciso hacer aflorar y valorar como útil (e inevitable) punto de partida si se contemplan como conjeturas destinadas a ser puestas a prueba (y a modificar en caso necesario) y no como “verdades” a defender, lo que las convertiría en obstáculo a la construcción de nuevos conocimientos.

A continuación, conviene que exponamos nuestras ideas y suposiciones acerca de cómo ocurren los cambios, sobre todo los que provocamos las personas. No debe preocuparnos que esas ideas sean inicialmente confusas y poco seguras (de hecho, esto es algo que les suele ocurrir también a los propios científicos al inicio de cualquier tarea), ya que su discusión constituirá un valioso punto de partida para el estudio que ahora comenzamos.

- A.4. ¿Qué suponen hace falta para conseguir que un objeto experimente algún cambio?**

**Comentarios A.4.** Una actividad como ésta conduce a un confuso manejo de las ideas comunes de trabajo, calor, esfuerzo, cansancio, consumo de energía... Esta confusión no debe extrañarnos ni ser rechazada: hemos de tener en cuenta que conceptos como los de trabajo o energía, que se encuentran entre los más fecundos de la física, hasta hace apenas un siglo aún no se habían formulado de manera precisa. Debemos valorar, pues, estas confusas referencias y tomarlas *explícitamente* como punto de partida para el desarrollo del tema.

Se puede indicar a los alumnos que vamos a profundizar en las ideas a las que han hecho referencia, comenzando por las de trabajo y de energía, y que abordaremos en el siguiente tema el estudio de los fenómenos caloríficos. Esto nos permitirá, como podrán ver, construir conocimientos que serán muy útiles para la comprensión y el control de las transformaciones.

De acuerdo con lo discutido, el estudio de esta problemática se desarrollará en cuatro unidades. La primera de ellas, que abordamos en el presente capítulo, estará destinada a la **introducción de los conceptos de trabajo y energía** y tendrá el siguiente contenido:

- Una primera concepción cualitativa del trabajo y de la energía.
- Operativización de los conceptos de trabajo y energía para el estudio de las transformaciones más sencillas: los movimientos mecánicos.
- Recapitulación y perspectivas: ¿qué ocurre con la energía cuando un sistema experimenta cambios?

En la segunda nos ocuparemos del **estudio de los fenómenos caloríficos**, cuya relación con la producción de cambios se conoce desde los orígenes de la humanidad. Ello permitirá, como veremos, profundizar en el conocimiento de la energía y mostrar cómo los estudios sobre el calor, el trabajo y la energía se potenciaron mutuamente y abrieron perspectivas tecnológicas de enorme trascendencia.

En la tercera se estudia el **papel de la energía en nuestras vidas**, viendo los usos de la misma a lo largo de la historia, desde las primeras formas de producir cambios hasta las tecnologías actuales.

Por último, incluiremos una unidad destinada a **las fuentes de energía** y a los problemas asociados a su obtención y uso.

De estas cuatro unidades únicamente incluiremos en este libro, por razones de espacio, la primera, como ilustración de nuestra propuesta, muy particularmente de la introducción de conceptos (a la que destinamos este capítulo 10), y la última, sobre fuentes de energía, que aborda aspectos apenas tratados habitualmente, pero que consideramos fundamentales para la formación de ciudadanas y ciudadanos capaces de participar en la toma fundamentada de decisiones en las que se juega el futuro de la humanidad.

## 1. UNA PRIMERA CONCEPCIÓN CUALITATIVA DEL TRABAJO Y DE LA ENERGÍA

Dedicaremos este apartado a *construir el significado científico* de algunos conceptos que acabamos de mencionar, como trabajo y energía, que *intuimos* pueden constituir un buen punto de partida para profundizar en el estudio de los cambios.

**A.5. Entre las ideas propuestas con relación al origen de los cambios está la de realización de trabajo. Indiquen diversos ejemplos de lo que entienden por trabajo en la vida cotidiana y propongan una idea cualitativa de trabajo que funcione en estas situaciones.**

**Comentarios A.5.** Digamos de entrada que esta actividad permite superar las habituales introducciones puramente operativas, carentes del significado físico que proporciona, precisamente, la discusión cualitativa. Como en tantos otros casos, esta

discusión permite conectar con las ideas que los alumnos ya tienen, apoyarse en algunas de ellas y cuestionar otras, siempre tratando de superar la ambigüedad con que solemos manejar los conceptos de trabajo y energía en el lenguaje corriente. En este caso aparecen nuevamente las ideas de cambio (“se trabaja para lograr algo, para conseguir una transformación...”) y de fuerza (“el trabajo exige esfuerzo, es preciso hacer fuerza...”). Tras la puesta en común se puede llegar así al concepto cualitativo de trabajo como “la transformación de la materia por la acción de fuerzas” o cualquier expresión semejante que expresa con bastante propiedad una primera idea cualitativa de trabajo, tal como fue enunciada por el mismo Maxwell en su libro *Matter and Motion* (Maxwell, 1877).

Para profundizar en esta concepción cualitativa de trabajo abordaremos una situación particularmente interesante.

#### **A.6. ¿Hace trabajo una persona que está empujando una pared (sin llegar a derrumbarla)?**

**Comentarios A.6.** Resulta obvio que el muro no sufre transformaciones apreciables cuando una persona lo empuja, por lo que puede concluirse que, pese al indudable esfuerzo que realiza quien empuja la pared, no se efectúa trabajo. Ello permite insistir en las diferencias entre esfuerzo y trabajo. Sin embargo, es necesario matizar esta conclusión, porque la impresión de estar realizando trabajo que los alumnos tienen cuando empujan una pared o sostienen un objeto pesado no es totalmente errada: el propio sujeto que soporta al objeto experimenta transformaciones (su corazón va más aprisa, transpira, “se queda sin energía”...). Así pues, no se realiza trabajo sobre la pared, pero sí lo realizan unas partes del cuerpo sobre otras.

Se entiende así que la comprensión del concepto no puede lograrse sin profundizar más en el mismo y sin tener en cuenta sus relaciones con el concepto asociado de energía, al que se refieren también los alumnos desde el primer momento. De hecho, existe una polémica sobre la conveniencia de comenzar introduciendo el concepto de trabajo antes del de energía o viceversa (Sexl, 1981; Duit, 1986; Warren, 1982). En nuestra opinión, es preferible una introducción prácticamente simultánea, puesto que se trata de dos conceptos estrechamente relacionados. Consideramos conveniente, pues, introducir ahora el concepto cualitativo de energía antes de pasar al tratamiento cuantitativo de la magnitud trabajo.

#### **A.7. Expongan las ideas cualitativas que posean acerca del concepto de energía.**

**Comentarios A.7.** La idea de energía como “capacidad de un sistema para realizar trabajo” (o para transformar la materia, producir cambios, etc.) surge en la mayoría de los equipos. Si bien, como sabemos, esta idea de energía presenta serios problemas –como se ha señalado reiteradamente en la literatura (Duit, 1986; Pintó, 1991)–, hemos de ser conscientes de que nuestro objetivo no es establecer, desde un primer momento, las concepciones definitivas, o mejor dicho, las actualmente aceptadas como válidas por la comunidad científica; antes al contrario, pretendemos mostrar la evolución de las concepciones utilizadas conforme se han ido abordando situaciones más complejas. Pensamos que esta introducción de los conceptos hace más justicia a la manera como se construyen los conocimientos científicos y favorece que los estudiantes adquieran una visión dinámica del trabajo científico.

**A.8. Con el propósito de constatar el significado que le damos habitualmente al término energía, consideren transformaciones familiares como, por ejemplo, un automóvil que se pone en movimiento, el calentamiento de una habitación por medio de una estufa eléctrica, etc., e interprétenlas utilizando la idea de energía.**

**Comentarios A.8.** Se trata de una actividad que consideramos necesaria para comenzar a habituar a los estudiantes a utilizar la idea de energía para interpretar los cambios que tienen lugar a nuestro alrededor. De este modo, al considerar el ejemplo de un automóvil que se pone en marcha, los alumnos interpretan que ello se logra “gracias a la energía proporcionada por la gasolina”. Y en el ejemplo de la habitación caldeada por una estufa hacen referencia a la “energía eléctrica”. Surge así la conveniencia de abordar la cuestión de las diferentes formas de energía.

**A.9. Elaboren una relación tan completa como les sea posible de formas distintas de energía que conozcan.**

**A.10. Indiquen, para cada una de las formas de energía consideradas, en qué puede estar basada su capacidad de transformar la materia.**

**Comentarios A.9. y A.10.** Los alumnos enumeran toda una serie de supuestas formas de energía, mezcla de denominaciones usadas habitualmente y presentes en libros, prensa, etc., que en muchos casos corresponden a distintas *fuentes* de energía: hidráulica, eólica, química, nuclear, eléctrica, mecánica, calorífica, cinética, potencial, térmica, elástica, atómica, maremótica (o mareomotriz)... Resalta el desorden de esta enumeración, que la reflexión acerca de “en qué puede estar basada su capacidad para transformar la materia” debe contribuir a superar, haciendo ver el carácter cinético de algunas denominaciones (energía eólica, maremótica...) o el carácter potencial de otras (¡no sólo la potencial gravitatoria!). Así, cuando consideran la “energía del viento”, su capacidad para, por ejemplo, moler grano, se refieren a que el aire “golpea a las aspas del molino haciéndolas girar, etc.”. Esa energía está asociada, pues, a la interacción que puede producirse por el hecho de que una parte del sistema (el aire) se mueve con respecto a otra (las aspas del molino). Se habla por ello de *energía cinética*. En el caso de un muelle comprimido o en el de una piedra sostenida a cierta altura, cabe pensar que se trata de una energía almacenada, una energía que se encuentra en potencia. Ésta es la razón que nos lleva a hablar, en estos casos, de energía potencial: elástica, eléctrica y gravitatoria.

Por lo que se refiere a la llamada energía térmica o calorífica, conviene posponer su consideración al estudio de los fenómenos caloríficos y a la clarificación de la naturaleza del calor, que se realiza, como ya hemos indicado, en la siguiente unidad. Conviene insistir aquí en que todo ello resulta absolutamente imprescindible para la plena comprensión de los procesos energéticos y resaltar, asimismo, la importancia de abordar con detenimiento los problemas asociados a la obtención y uso de la energía que utilizamos (a lo que destinaremos toda una unidad).

Señalemos, por último, que hablar de distintas formas de energía puede reforzar su concepción sustancial, “como algo material que cambia de forma”, lo que, como han señalado diversos autores (Ogborn, 1986; Trumper y Gorsky, 1993), constituye una concepción errónea muy extendida.

**A.11. Algunas personas creen que la energía es una especie de sustancia, de combustible, que poseen los objetos y gracias a la cual pueden producir cambios. Expresen su opinión al respecto, considerando algún ejemplo concreto, como el de la energía eólica o el de un muelle comprimido.**

**Comentarios A.11.** Los ejemplos propuestos permiten a los estudiantes empezar a cuestionar la idea sustancial de energía. Así, en el caso del viento, la capacidad de transformar la materia aparece asociada al hecho de que el aire golpea las aspas del molino haciéndolas girar. Es preciso insistir en que se deben asociar las distintas formas de energía (cinética, potencial gravitatoria, etc.) a diferentes configuraciones de los sistemas y a distintas formas de interactuar de la materia. Con otras palabras, la diversidad de calificativos con que solemos acompañar al término energía nos indica la propiedad (o propiedades) del sistema que intervendrá (o puede intervenir) en un proceso determinado, o el tipo de proceso en que participará el sistema (Pintó, 1991; Resnick, Halliday y Krane, 1993; Kaper y Goedhart, 2002). Así, por mencionar otro ejemplo, decimos que una batería tiene energía eléctrica porque la separación de cargas de distinto signo en los polos dota al sistema de la capacidad de producir transformaciones cuando se habilita la posibilidad de circulación de cargas.

Los conceptos de energía y de trabajo que utilizamos para estudiar las transformaciones están muy relacionados entre sí, y pueden confundirse fácilmente si no hacemos un esfuerzo de clarificación.

**A.12. A partir de las ideas cualitativas que sobre la energía y el trabajo hemos construido, sugieran la relación que cabe esperar entre el trabajo realizado por un sistema y la energía de que éste dispone.**

**Comentarios A.12.** Esta actividad conduce a expresar la idea de que, al realizar trabajo, el sistema “consume energía” o, mejor, experimenta una variación de energía. Por supuesto, esta idea (que puede concretarse en una hipotética relación entre el trabajo  $W$  y las variaciones de energía  $\Delta E$ :  $W = \Delta E$ ) es aún muy imprecisa y habrá de ser profundizada y, en su momento, corregida. Pero de entrada permite expresar la estrecha relación entre ambas magnitudes concibiendo el trabajo como una forma de intercambio de energía sin caer, como de entrada hacen algunos estudiantes, en la mera identificación ( $E = W$ ).

Conviene detenerse en clarificar la idea de variación evitando su asimilación a consumo.

**A.13. A menudo se oye decir que la realización de trabajo supone consumo de energía, de manera que siempre que se realiza un trabajo hay una disminución de energía. Busquen algún contraejemplo que muestre cómo la realización de trabajo puede traducirse tanto en aumento como en disminución de energía, por lo que es mejor hablar, en general, de variación de energía.**

**Comentarios A.13.** Cualquier ejemplo considerado por los estudiantes permite ver que cuando un sistema, o parte de un sistema, hace trabajo sobre otro, la energía de uno disminuye, pero la del otro aumenta. Así, al dispararse un muelle y hacer trabajo sobre un cuerpo, la energía “elástica” del muelle disminuye, pero el objeto adquiere energía cinética. En otros casos, como cuando cae una piedra, la energía

potencial gravitatoria disminuye, pero aumenta la cinética. Se comprende así la conveniencia de hablar, en general, de *variaciones* de energía, así como la necesidad de definir con precisión el sistema cuya variación de energía se contempla. Por otra parte, es necesario también evitar interpretaciones erróneas de expresiones como “conversión de energía potencial en cinética”.

**A.14. Indiquen qué hemos de entender al oír expresiones como “cuando soltamos un objeto desde una cierta altura, la energía potencial se convierte en cinética”.**

**Comentarios A.14.** Se trata de evitar interpretaciones sustanciales de la expresión “transformación de una forma de energía en otra”. Ha de quedar claro que lo que tiene lugar es una modificación de la configuración del sistema: el objeto que cae se aproxima a la tierra, disminuyendo, por ello, la energía potencial gravitatoria del sistema, y lo hace acelerándose, lo que aumenta la energía cinética del sistema.

Esta referencia a la configuración del sistema y a las interacciones que pueden producirse es absolutamente necesaria, insistimos, para comprender *físicamente* lo que significa la energía, lejos de cualquier interpretación de la misma como una especie de combustible.

Es importante, además, dejar claro que la energía es una propiedad *del sistema*, no de objetos aislados. Cuando hablamos, por ejemplo, de la energía potencial gravitatoria de una piedra sabemos que es debida a la interacción entre la piedra y la tierra y, por tanto, pertenece al conjunto formado por los dos, y no sólo a la piedra. En el caso de un objeto aislado en el espacio, lejos de cualquier otro con el que poder interaccionar gravitatoriamente de manera apreciable, es obvio que no tiene sentido hablar de energía potencial gravitatoria. Como Mallinckrodt y Leff (1993) afirman, “la energía potencial surge siempre en el contexto de un par (o conjunto) de objetos que interaccionan, y, por tanto, no tiene ningún fundamento asignarla completamente a cualquiera de estos objetos”.

Hay que insistir en este carácter sistémico *también* de la energía cinética, porque es algo a lo que no se hace referencia en la literatura (ni en los textos de física, ni en los trabajos de investigación) y que provoca, incluso, cierto rechazo inicial cuando se plantea la cuestión a los profesores. Es obvio, sin embargo, que sólo podemos hablar de la energía cinética de un objeto en la medida en que existen otros cuerpos con los cuales puede chocar. En efecto, la energía cinética expresa la capacidad del conjunto de objetos para que se produzcan cambios a causa, precisamente, de que unos se desplazan a una velocidad determinada respecto a otros. Se trata, en definitiva, de una *propiedad del sistema* constituido por ese conjunto de objetos.

Una vez elaborada una primera idea cualitativa sobre los conceptos de trabajo y de energía, y antes de continuar con nuestro estudio de los cambios, conviene hacer una recapitulación del trabajo realizado.

**A.15. Sinteticen, a grandes rasgos, lo que hemos realizado hasta aquí, incluyendo un esquema en el que aparezcan los términos: objetos, cambios, trabajo, energía, fuerzas y sistemas.**

**Comentarios A.15.** Con esta actividad pretendemos favorecer una recapitulación del trabajo realizado y evitar que los estudiantes se pierdan en un “bosque de actividades”.



Se pueden retomar así las cuestiones iniciales, ver qué hemos avanzado, sacar a la luz y discutir las posibles confusiones que persistan con relación a las ideas introducidas, plantear cómo proseguir, etc.

Tras esta recapitulación del estudio cualitativo realizado hasta aquí, pasaremos a operativizar los conceptos de trabajo y energía.

## 2. OPERATIVIZACIÓN DE LOS CONCEPTOS DE TRABAJO Y ENERGÍA

Para que los conceptos de trabajo y de energía lleguen a ser plenamente útiles en el propósito de mejorar la comprensión de los cambios y hacer así posible su control, es necesario operativizarlos. En otras palabras, hemos de introducir expresiones que nos permitan hacer predicciones cuantitativas acerca de los cambios y proceder a su puesta a prueba. Empezaremos con la idea de trabajo.

### 2.1. Profundización en el concepto de trabajo. Invención de una expresión para su medida

Según la concepción cualitativa elaborada en el apartado anterior, podemos considerar que trabajo es la transformación de la materia mediante fuerzas. Con el propósito de intentar operativizar esta idea, nos centraremos inicialmente en los cambios más sencillos que tienen lugar en la naturaleza: aquellos en que los cuerpos simplemente se desplazan.

**A.16. Limitándonos al dominio de las transformaciones mecánicas que venimos estudiando, propongan una definición operativa de trabajo basada en el concepto cualitativo que hemos establecido.**

**Comentarios A.16.** La definición operativa  $W = F/d$  que los alumnos proponen (y que conviene aceptar inicialmente, pese a sus 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  $d$ , que mide el cambio producido). Pero la idea de una proporcionalidad directa reflejada en dicha expresión es una simple hipótesis de trabajo que debe ser profundizada, evitando así respuestas memorísticas (bastantes alumnos conocen sin duda la definición operativa, aunque probablemente nunca la hayan razonado); esto es lo que se persigue con la actividad A.17.

**A.17. Analicen las expresiones siguientes y razonen en qué medida pueden ser consideradas definiciones operativas válidas de la magnitud trabajo:**

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

**Comentarios A.17.** Esta actividad obliga a centrarse significativamente en la forma en que  $F$  y  $d$  influyen. Así, los alumnos rechazan fácilmente la definición a) (que supondría realizar más trabajo cuanto menor fuera el desplazamiento) y la b) (tanto por lo absurdo de sumar magnitudes no homogéneas como porque según dicha expresión podría haber trabajo en ausencia de fuerza o de desplazamiento). Mayor dificultad presenta la c), pero los alumnos llegan a ver que según la misma, por

ejemplo, un labrador que trazara cuatro surcos habría trabajado 16 veces más que el que trazó un solo surco, lo que no responde, al menos intuitivamente, a lo que cabe suponer. Naturalmente, estas reflexiones cualitativas no “demuestran” la validez de una definición, aunque ayuden a concretar las hipótesis. Este carácter hipotético de las definiciones operativas debe ser resaltado: las definiciones no son ni arbitrarias ni constituyen el “descubrimiento” de algo presente en la naturaleza. Y, por supuesto, sólo la coherencia del cuerpo de conocimientos obtenido permite validarlas. Puede resultar interesante recordar aquí la definición clásica de fuerza como causa de la aceleración y proporcional a la misma ( $F = ka$ ) que ha quedado refrendada por todos los resultados de la dinámica, mientras la definición “de sentido común” ( $F = kv$ ) conduce a resultados absurdos.

A continuación proponemos una serie de actividades elementales para profundizar en la definición operativa introducida (haciéndola aplicable a las situaciones en que la dirección de la fuerza no coincide con la del desplazamiento) y a familiarizarse con la misma.

**A.18. A partir de la definición operativa propuesta para el trabajo, definan su unidad en el SI. Propongan seguidamente ejemplos de situaciones en las que se realice trabajo (como subir una escalera, arrastrar una mesa, elevar a un compañero, etc.) y den una estimación de su valor en unidades internacionales.**

**Comentarios A.18.** Hay que insistir aquí en la necesidad de evitar definiciones del Joule del tipo “1 N x 1 m”, carentes de todo significado. Al insistir, los alumnos llegan a proponer una definición más física como “1 Joule es el trabajo efectuado cuando actúa una fuerza de 1 N sobre un cuerpo que se desplaza 1 m en la dirección y sentido de dicha fuerza”.

Reiteramos, por otra parte, que la consideración de ejemplos concretos es muy conveniente para familiarizar a los alumnos con estimaciones reales. Determinar el trabajo en las situaciones propuestas o en otras cotidianas, como elevar una maleta a una altura dada o un ascensor a un piso determinado, podrán contribuir también a entender más adelante la relación del trabajo con la energía potencial.

Una vez disponemos, aunque a título de hipótesis, de una definición operativa para la magnitud trabajo, pasaremos a utilizarla en algunas situaciones concretas, a fin de profundizar en su significado y en su validez.

**A.19. En numerosas ocasiones, la fuerza que actúa sobre un cuerpo no lleva la dirección del desplazamiento. Consideren algunos ejemplos en que ello ocurra y discutan si la definición operativa de trabajo introducida es válida en esos casos o debe ser modificada.**

**Comentarios A.19.** Con esta actividad se trata de favorecer la generalización del concepto de trabajo. Particular atención hay que prestar a la confusión relativamente frecuente consistente en suponer que una fuerza “hace más trabajo” si no lleva la dirección del desplazamiento.

Conviene, además, utilizar distintas formas para expresar el trabajo (fundamentalmente en función de las fuerzas tangenciales  $F_t$  o haciendo aparecer el coseno), lo que ayudará, sin duda, a profundizar en el significado de este concepto. Y puede

ser conveniente contemplar las situaciones en que la fuerza varía (al menos, para fijar el campo de validez de las expresiones introducidas).

- A.20.** Calculen el trabajo hecho por la fuerza  $F$  sobre los objetos representados en la figura, teniendo en cuenta que la magnitud de la fuerza es de 10 N y el desplazamiento de 2 m. Interpreten los resultados.



**Comentarios A.20.** Esta actividad produce algunas discusiones interesantes en torno a cuestiones como “¿tiene sentido un trabajo negativo?”, o “¿cómo puede ir el cuerpo hacia adelante si la fuerza actúa hacia atrás?”, que revelan el peso de las preconcepciones que asocian fuerza y movimiento.

- A.21.** Una niña arrastra un trineo mediante una cuerda que forma un ángulo de  $30^\circ$  con la vertical. Si la tensión de la cuerda es de 50 N, ¿cuánto trabajo hará cuando lo desplace 8 m?

**Comentarios A.21.** Con el fin de seguir profundizando en el concepto de trabajo, puede ser interesante la realización de una actividad como la que se propone. En este caso, es necesario conocer, a partir del ángulo que forma la cuerda, el valor de la componente de la fuerza en la dirección del movimiento del trineo para poder calcular el trabajo realizado. A la vez, si el profesor lo considera adecuado, puede permitir discutir el valor de la fuerza de fricción y también de la fuerza normal que ejerce el suelo sobre el objeto, que en este caso no es equivalente al peso debido a que existe una componente de la tensión de la cuerda en la dirección vertical que, junto con la normal, equilibran el peso del trineo. Se contribuye así a salir al paso de la fijación funcional que conduce a asignar sistemáticamente a la fuerza normal el valor del peso del objeto.

Cuando se habla de trabajo no podemos ignorar que su realización está asociada, en demasiadas ocasiones, a situaciones de explotación que atentan a derechos fundamentales. Ése es el caso, por ejemplo, del trabajo infantil. Merece la pena, pues, incluir alguna actividad que pueda dar pie a debatir esta cuestión.

- A.22.** En algunos países, los niños y las niñas continúan siendo utilizados como mano de obra barata para trabajos que exigen una escasa cualificación como, por ejemplo, poner a secar baldosas. Supongan que en esta tarea los niños han de levantar baldosas de 3 kg y colocarlas en plataformas situadas a 60 cm de altura. ¿Cuánto trabajo realizará al día un niño que levanta una media de 5 baldosas por minuto durante 14 horas? Comenten los resultados.

**Comentarios A.22.** El comentario que interesa no está relacionado, por supuesto, con la cantidad de Joules que proporcionen los cálculos. En realidad, esta actividad está planteada para llamar la atención sobre el hecho real de que en numerosos países se esté utilizando a niñas y niños como mano de obra barata, casi en condiciones

de esclavitud (se puede utilizar información de UNICEF al respecto). Se trata de un tema relevante que permite abordar la cuestión del *derecho* de todos los niños y niñas a una educación adecuada. Esto es algo a lo que ya nos referimos en el capítulo 1 de este libro y que merece la pena discutir con los estudiantes, que no suelen ser conscientes de que hoy en día millones de niños y niñas siguen sin escolarizar, obligados a realizar trabajos de este tipo o a prostituirse y meterse en el mundo de la droga, etc. Conviene igualmente recordar que bastaría, según datos de Naciones Unidas, un porcentaje inferior al 3% de lo que se gasta al año mundialmente en armamento para resolver el problema (Vilches y Gil-Pérez, 2003).

**A.23.** Lanzamos un objeto de 2 kg hacia arriba, sube 5 m y después cae. Calculen el trabajo realizado por la fuerza de la gravedad sobre el objeto en la subida, en la bajada y en el trayecto total.

Arrastramos ahora el mismo cuerpo, venciendo una fuerza de fricción de 2 N, desplazándolo 5 m con velocidad constante y regresando al punto de origen. Calculen, como en el caso anterior, el trabajo realizado por la fuerza de fricción en el viaje de ida, en el de vuelta y en el trayecto total.

Interpreten los resultados obtenidos en ambas situaciones.

**Comentarios A.23.** Esta actividad permite referirse a la idea de *fuerzas conservativas* (aquellas que, como ocurre en el caso de la gravedad, el trabajo total que realizan sobre un cuerpo, en una trayectoria cerrada, es nulo e *independiente del camino seguido*) y no conservativas (como la fricción). Se trata de conceptos que serán de gran utilidad para abordar posteriormente las relaciones trabajo/energía.

Hasta aquí hemos determinado el trabajo realizado sobre un sistema por una única fuerza. Vamos, seguidamente, a enfrentarnos a situaciones en las cuales interesa calcular el trabajo realizado por cada una de las fuerzas que actúan, así como el debido a la fuerza resultante.

**A.24.** Dos personas tiran de un objeto con fuerzas de 350 N y 200 N en la misma dirección, pero en sentidos opuestos. Calculen el trabajo realizado sobre el objeto por cada una de ellas, así como el total, cuando se haya desplazado 5 m en el sentido de la fuerza de 350 N.

**A.25.** Elevamos a 20 m un objeto de 15 kg mediante una fuerza vertical igual a su peso. Calculen el trabajo realizado sobre el objeto: a) por la fuerza de gravedad (fuerza conservativa, interior del sistema formado por el objeto y la tierra); b) por la persona (fuerza exterior al sistema); c) el trabajo total. Interpreten los resultados.

**Comentarios A.24 y A.25.** La primera actividad permite constatar que el trabajo total, cuando actúan varias fuerzas sobre un objeto, es la suma de los trabajos realizados por cada fuerza por separado, aunque también lo podemos calcular a partir de la fuerza resultante. La segunda permite introducir y diferenciar los conceptos de trabajo interior,  $W_{\text{int}}$  (trabajo de las fuerzas interiores del sistema), trabajo exterior,  $W_{\text{ext}}$  (trabajo de las fuerzas exteriores) y trabajo resultante  $W_{\text{res}}$ . Se trata de una distinción absolutamente necesaria, como se ve más adelante, para la correcta comprensión de las relaciones entre el trabajo y la energía.

**A.26. Se ha de subir un tonel a un camión desde el suelo. Consideren cualitativamente cuándo se realiza más trabajo: al elevar directamente el tonel o al utilizar una rampa.**

**Comentarios A.26.** En esta 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 (¿caso 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 (el desplazamiento ha sido mayor). Resulta sencillo calcular el trabajo realizado por ambos caminos ( $mgh$  en los dos casos), lo que permite de nuevo confirmar que el trabajo realizado, cuando se trata de fuerzas conservativas, es independiente del camino o trayectoria seguida y sólo depende de las posiciones inicial y final.

**A.27. Realicen las consideraciones cualitativas pertinentes acerca del trabajo realizado durante el giro de la Luna alrededor de la Tierra.**

**Comentarios A.27.** Esta actividad está introducida para, una vez más, afianzar la relación cualitativa entre trabajo y energía (que por supuesto no varía durante el giro de la Luna) y, al propio tiempo, insistir en que si las fuerzas son perpendiculares a la trayectoria no realizan trabajo.

En muchas ocasiones de la vida cotidiana no interesa tanto el trabajo como la rapidez con que éste se realiza. Abordaremos esta cuestión en las siguientes actividades:

**A.28. Propongan una definición operativa de una magnitud que mida la mayor o menor rapidez con que se realiza el trabajo.**

**Comentarios A.28.** La mayoría de los grupos parte de la idea de que, por ejemplo, una máquina eficaz es la que realiza mucho trabajo en poco tiempo, lo que conduce directamente a introducir de una manera significativa la relación  $W/\Delta t$ , es decir, la rapidez en la realización de trabajo, como medida de la *potencia*. Conviene señalar, sin embargo, que se trata de un planteamiento que deja de lado el aspecto “calidad”, es decir, se supone que el producto obtenido es el mismo, independientemente de la rapidez con que se elabora.

Por otra parte, en este caso (al igual que en algunas situaciones de las analizadas anteriormente) algunos alumnos pueden dar una respuesta directa, atendiendo a que ya tienen un conocimiento previo del tema. En esta situación, conviene proceder a un proceso de clarificación, que haga salir a la luz si lo propuesto se corresponde con una clara concepción del concepto de potencia o a la reproducción de una fórmula vacía de contenido físico.

**A.29. Definan la unidad, en el SI, de la magnitud introducida.**

**A.30. Den estimaciones aproximadas del valor de la potencia para algunas situaciones reales (motor de ascensor, persona subiendo escalera, ...).**

**A.31. A menudo, el consumo de energía eléctrica se expresa en kWh (kilovatios-hora). Den una definición de esta unidad y calculen su equivalencia con el Joule.**

**A.32. ¿Qué ventajas e inconvenientes puede presentar un automóvil de más potencia frente a otro de menos potencia?**

**A.33. Estimen el consumo energético de un mes en sus casas. Sugieran igualmente cómo se podría reducir dicho consumo.**

**Comentarios A.29 a A.33.** Con estas actividades se pretende profundizar en el concepto de potencia y su relación con el trabajo. En primer lugar, dando un sentido físico a su unidad, y habituando a los estudiantes a estimar órdenes de magnitud en el caso de la potencia de máquinas conocidas por su utilización en la vida cotidiana. A.31 trata de salir al paso del error frecuente de pensar que el kWh es una unidad de potencia, determinando a la vez su relación con el Joule. La A.32 permite un debate en torno al tema de la potencia de los vehículos que si bien presentan la ventaja de realizar la misma transformación en menos tiempo (por ejemplo, un adelantamiento, frenar ante un obstáculo o cualquier imprevisto), lo que aumenta la seguridad, tiene el inconveniente de un mayor consumo (y peligro de accidentes, si se conduce a velocidades altas). Esta discusión, junto con la que se propone en la siguiente actividad, permite abordar el tema del consumo energético, del hiperconsumo en los países desarrollados, de la contaminación ambiental que provocan, y de los problemas que su agotamiento creará a las futuras generaciones, por la imposibilidad de obtención de materias primas a partir del petróleo, así como por las desigualdades que subsisten en la distribución del consumo de energía en el mundo (Vilches y Gil-Pérez, 2003), etc. Son aspectos que se abordarán con mayor profundidad en la unidad dedicada a las fuentes de energía (que incluimos en el capítulo 11), pero que conviene que sean tratados siempre que sea posible.

## 2.2. Profundización en el concepto de energía. Invención de expresiones para su tratamiento cuantitativo

Hasta aquí hemos introducido una idea cualitativa de energía como capacidad para realizar trabajo y se ha sugerido, a modo de conjetura aún muy imprecisa, una relación entre trabajo y variación de energía,  $W = \Delta E$ . Sabemos, sin embargo (ver actividad A.25), que podemos hablar de distintos tipos de trabajo: el realizado por las fuerzas exteriores, el realizado por las fuerzas interiores y el realizado por la fuerza resultante. Por otra parte, podemos estar interesados en las variaciones de energía cinética, de energía potencial o de la energía total. La expresión  $W = \Delta E$  debe, pues, ser precisada según las situaciones abordadas. Éste es el objetivo de las actividades que siguen.

**A.34. Admitiendo que  $\Delta E$  represente la variación de energía total de un sistema físico, ¿qué significado habría que dar -siempre a título de hipótesis- a  $W$  en la relación  $W = \Delta E$ ?:**

- a) el trabajo de las fuerzas exteriores al sistema;
- b) el trabajo de las fuerzas interiores conservativas;
- c) el trabajo de la fuerza resultante.

**Razonen cualitativamente la respuesta a partir de algún ejemplo concreto (por ejemplo, el de levantar un cuerpo tirando de él hacia arriba con una fuerza igual a su peso.**

**A.35.** Consideremos algunas situaciones como las siguientes:

- levantar un objeto;
- acercar dos cuerpos electrizados con cargas del mismo signo;
- tensar un arco.

¿Cómo es la variación de energía potencial en cada uno de estos casos? (indiquen si aumenta o disminuye). ¿Y el trabajo realizado por la fuerza interior del sistema? (indiquen si es positivo o negativo).

¿Qué ocurre con la energía potencial, cuando dejamos caer el cuerpo, soltamos el arco, etc.? ¿Cómo es ahora el trabajo de las fuerzas del sistema?

Partiendo de estos ejemplos establezcan, a modo de hipótesis, la relación entre el trabajo realizado por las fuerzas interiores (gravitatorias, eléctricas o elásticas) y la variación de energía potencial asociada al sistema.

**A.36.** Recuerden qué fuerza hay que considerar para determinar los cambios de movimiento de un cuerpo. Según ello, ¿qué trabajo (interior, exterior o resultante) habrá de relacionarse con las variaciones de la energía cinética? Expresen dicha relación a modo de hipótesis.

**A.37.** Utilicen las relaciones entre el trabajo y la energía concebidas en las actividades anteriores y el hecho de que, lógicamente, el trabajo resultante ha de ser la suma del interior más el exterior para obtener la variación de la energía total en función de las variaciones de la energía potencial y de la cinética.

**Comentarios A.34 a A.37.** Las relaciones entre el trabajo y la energía no suelen presentarse con claridad ni siquiera en muchos textos universitarios. Sin embargo, las actividades propuestas permiten a los alumnos intuir, en primer lugar, que la variación de energía total que experimenta un sistema ha de relacionarse con las acciones exteriores ( $W_{\text{ext}} = \Delta E_T$ ); que, por otra parte, cuando las fuerzas conservativas de un sistema actúan “libremente” (es decir, cuando el  $W_{\text{int}}$  es positivo) se produce una disminución de la energía potencial, lo que puede expresarse  $W_{\text{int}} = -\Delta E_p$ ; por último, partiendo del hecho de que los cambios de velocidad están relacionados con la fuerza resultante, los alumnos pueden establecer, siempre a título de hipótesis, que  $W_{\text{res}} = \Delta E_c$ . Llamamos la atención sobre el hecho de que no todas las fuerzas interiores de un sistema son conservativas, pero la expresión  $W_{\text{int}} = -\Delta E_p$  corresponde únicamente, claro está, a fuerzas interiores que sean conservativas.

La actividad A.37 muestra la coherencia de las tres relaciones trabajo/energía introducidas, lo que supone un indudable apoyo a su validez (pensemos que han sido introducidas como hipótesis independientes). Pero, una vez más, hay que insistir en que sólo la coherencia de todo el edificio teórico desarrollado y su adecuación para predecir y dar cuenta de los hechos pueden validar las definiciones introducidas y las relaciones hipotetizadas.

Hasta aquí hemos introducido de manera intuitiva las relaciones entre el trabajo realizado y las variaciones de energía que tienen lugar. Seguidamente profundizaremos en estos conceptos y relaciones, pasando a un tratamiento cuantitativo y contrastando su validez en la resolución de los problemas prácticos.

**A.38. Indiquen, a título de hipótesis, de qué factores dependerá la energía cinética de un objeto que está en movimiento respecto de otros, y con los cuales puede chocar. Señalen igualmente algunos ejemplos del interés que puede tener conocer y controlar esta forma de energía.**

**A.39. Utilicen la relación  $\Delta E_c = W_{res}$  para obtener una expresión para la energía cinética de un objeto en función de los factores de los cuales se considera depende (expresando el trabajo en función de estos factores).**

**Comentarios A.38 y A.39.** En lo que se refiere al interés de conocer y controlar la energía cinética, los estudiantes hacen referencia a los molinos de viento e hidráulicos, a los arietes, etc., así como al poder destructor de los proyectiles o choques de vehículos. También les resulta fácil señalar, apoyándose en observaciones cualitativas, la influencia de la masa y de la velocidad en la energía cinética. Ello permite orientar el trabajo solicitado en A.37: se trata de utilizar la relación  $W_{res} = \Delta E_c$  desarrollando  $W_{res}$  hasta que quede en función de la masa y las velocidades inicial y final. Así, si suponemos que la fuerza resultante es constante, los estudiantes pueden realizar dicho desarrollo de forma muy elemental, escribiendo el trabajo como el producto de la fuerza por la distancia, la fuerza como el producto de la masa por la aceleración, la aceleración como  $\Delta v/\Delta t$  y tener en cuenta, finalmente, que  $d/\Delta t$  es la velocidad media  $(v_2 + v_1)/2$ . Consiguen así que todo aparezca en función de  $m$ ,  $v_2$  y  $v_1$ :

$$\Delta E_c = W_{res} = F_{res} \cdot d = m(\Delta v/\Delta t) \cdot d = m(v_2 - v_1) \cdot d/\Delta t = m(v_2 - v_1) \cdot v_m = m(v_2 - v_1) \cdot (v_2 + v_1)/2$$

lo que conduce a la conocida expresión  $\Delta E_c = 1/2mv_f^2 - 1/2mv_i^2$ . Como vemos, plantear actividades de pensamiento divergente, en las que los estudiantes deben enunciar hipótesis y someterlas a prueba, es relativamente simple y extraordinariamente útil para hacer posible un aprendizaje significativo, lo que hace aún más inexplicable su práctica ausencia de los textos usuales.

Es importante insistir en que, aunque se habla de la "energía cinética de un objeto", esta energía expresa la capacidad de un sistema de objetos para producir y experimentar cambios a causa, precisamente, de que unos se desplazan *respecto a otros* y se pueden producir choques entre ellos.

Conviene hacer notar que no es posible determinar el valor absoluto de la energía de un sistema; sólo podemos determinar sus variaciones cuando tiene lugar un determinado *proceso*, de ahí que siempre aparezcan incrementos de energía  $\Delta E$ .

**A.40. Sobre un cuerpo de 60 kg, inicialmente en reposo, actúa una fuerza de 300 N a lo largo de 10 m. ¿Qué velocidad adquirirá?**

**Comentarios A.40.** Se trata de un sencillo ejercicio que permite mostrar que la utilización de la expresión  $W_{res} = \Delta E_c$  (siendo  $\Delta E_c = 1/2mv_f^2$  si el cuerpo parte del reposo) conduce al mismo resultado (10 m/s), que se obtiene determinando la aceleración y aplicando las ecuaciones de la cinemática. Ejercicios como éste se convierten en apoyos de la validez de las relaciones trabajo/energía cinética introducidas a título de hipótesis. Dedicaremos por ello un apartado a mostrar la validez del conjunto de conocimientos introducidos, así como el interés práctico de su manejo.



**A.41. ¿Qué consecuencias puede tener, en caso de choque, que la masa de un vehículo se duplique? ¿Y que lo haga la velocidad?**

**Comentarios A.41.** Una pequeña discusión a este respecto permite comprender que las posibilidades de destrozo son dobles en el caso de duplicar la masa y cuádruples si se duplica la velocidad. Se puede dar entrada así a cuestiones de educación vial, justificando las limitaciones de velocidad o de número de viajeros que incluyen las normas regulatorias de circulación de cada país.

Intentaremos ahora obtener una expresión operativa para las variaciones de energía potencial, centrándonos aquí únicamente en la energía potencial gravitatoria del sistema constituido por la tierra y un objeto situado en sus proximidades.

**A.42. Indiquen los factores que podemos esperar que influyan en la energía potencial gravitatoria de un sistema objeto-tierra, cuando el objeto se encuentra a una cierta altura de la superficie terrestre. Señalen igualmente algunos ejemplos del interés que puede tener conocer y controlar esta forma de energía.**

**A.43. Conciban una estrategia para obtener la expresión de las variaciones de la energía potencial gravitatoria en función de las variables consideradas en la actividad anterior. Procedan a resolver el problema planteado y a analizar el resultado obtenido.**

**Comentarios A.42 y A.43.** Los ejemplos del interés de la energía potencial mencionados por los estudiantes (salto de agua, martillo levantado...) remiten, claro está, a la energía cinética, cuando intentan explicar su capacidad transformadora. Ello se puede aprovechar para insistir en que eso es lo que ocurre con toda energía potencial o "almacenada". Lo específico de esta forma de energía es, precisamente, la posibilidad de "almacenarla", como hacemos con el agua de una presa, para ponerla en movimiento cuando nos interesa, abriendo una compuerta y dejando salir el agua a gran velocidad. Se trata, como hemos visto, de aspectos que vienen asociados a la existencia de fuerzas conservativas.

En cuanto a la emisión de hipótesis, los estudiantes señalan adecuadamente, apoyándose en observaciones cualitativas, la posible influencia de la masa del cuerpo y de la altura a la que se encuentra. La intensidad del campo gravitatorio  $g$  plantea, sin embargo, algunas dificultades (entre otras razones, porque los estudiantes no tienen vivencias directas de situaciones en que esa intensidad varíe), pero una mínima reflexión permite intuir que sin gravedad el cuerpo no caería, ni se podría hablar de energía potencial, lo que conduce a la incorporación de  $g$  como otro factor del que dependería la energía potencial gravitatoria. Puede ser que los estudiantes propongan, directamente, la dependencia con el peso, si se ha estudiado la idea de fuerza conservativa, pero es conveniente realizar la separación de variables para poder analizar la influencia tanto de la masa como de la intensidad del campo gravitatorio.

La actividad A.43 pretende que los propios alumnos piensen en la relación  $W_{\text{int}} = -\Delta E_p$  como estrategia para obtener la variación de energía potencial gravitatoria (considerando, por ejemplo, la caída de un cuerpo desde una altura  $h_1$  a una altura  $h_2$  y expresando el trabajo de la fuerza gravitatoria en función de  $m$ ,  $g$  y la variación de  $h$ ). Esta actividad puede hacerse más explícita (y más sencilla), si se considera necesario, pidiendo directamente que apliquen la relación  $W_{\text{int}} = -\Delta E_p$  para obtener la variación de energía potencial gravitatoria.

**A.44.** Leemos en el enunciado de un problema que “la energía potencial gravitatoria de un objeto que se encuentra a 10 m de altura es de 100 J”. ¿Qué hemos de entender con dicha afirmación?

**Comentarios A.44.** Con esta actividad pretendemos que los estudiantes reflexionen una vez más acerca del carácter sistémico y relativo de la energía: los 100 J indican *el incremento* de energía potencial gravitatoria que experimenta *el sistema tierra-objeto* cuando elevamos 10 m dicho objeto sobre la superficie terrestre (o su disminución cuando el objeto desciende los 10 m).

El carácter relativo de los valores de la energía (*pero absoluto de las variaciones*) puede hacerse más claro mediante una actividad como la siguiente:

**A.45.** Un cuerpo de 5 kg se encuentra a 2 m del suelo de una habitación que, a su vez, está a 15 m sobre la calle. Calculen 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. Calculen la variación de energía potencial utilizando como sistemas de referencia el suelo de la habitación y la calle. Comenten los resultados.

**Comentarios A.45.** Los cálculos realizados en esta actividad permiten a los alumnos constatar el carácter relativo de las energías potenciales (respecto al nivel tomado como origen de alturas) y el carácter absoluto de las variaciones. Puede pensarse en una actividad semejante para las energías cinéticas.

### 2.3. Puesta a prueba de los conocimientos construidos

Hasta aquí nos hemos ocupado básicamente de introducir *tentativamente* los conceptos de trabajo y de energía y sus relaciones con vistas a profundizar en el estudio de las transformaciones. Pero, ¿hasta qué punto dichos conceptos y relaciones son útiles? Antes de proseguir necesitamos estar seguros de que los conocimientos construidos funcionan adecuadamente. Una forma de someterlos a prueba consiste en utilizarlos para resolver problemas que podemos solucionar también a partir de la cinemática y la dinámica y ver si proporcionan los mismos resultados. Proponemos, pues, la resolución de los problemas que siguen utilizando tanto las relaciones trabajo-energía como la estrategia cinemático-dinámica.

**A.46.** Se lanza hacia arriba un objeto, ¿hasta qué altura llegará?

**A.47.** ¿Conseguirá parar un automóvil antes de llegar al paso de peatones, al ver que el semáforo se pone rojo?

**A.48.** Desde una altura de 50 cm soltamos un objeto situado en un plano inclinado  $30^\circ$  con la horizontal. El coeficiente de rozamiento entre el objeto y la superficie es 0,2. Determinen la velocidad con que llegará al suelo.

**A.49.** Se dispara un proyectil contra un muro, ¿qué distancia penetrará?

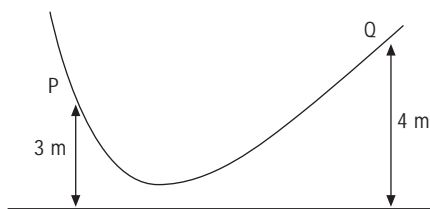
**A.50.** Con el propósito de subir un tonel de 150 kg a un camión nos ayudamos de una rampa de 3 m de longitud y 1,5 m de altura. Determinen la fuerza que hemos de aplicar.

**Comentarios A.46 a A.50.** Todos estos problemas pueden resolverse cinemático-dinámicamente, además de aplicando las relaciones trabajo-energía que se han introducido.

La identidad de los resultados obtenidos por ambos caminos se convierte así en una verificación de la validez de dichas relaciones, que posibilitan, además, estrategias más directas y cómodas para obtener algunos de los resultados buscados en estos problemas. Es algo en lo que conviene insistir porque numerosos investigadores han señalado la tendencia de los estudiantes a no hacer uso de los planteamientos energéticos y a limitarse sistemáticamente a los dinámico-cinemáticos cuando resuelven problemas de movimientos (Driver y Warrington, 1985; McDermott, 1993; Doménech et al., 2003). Por otra parte, la expresión  $\Delta E_T = W_{\text{ext}}$ , que se convierte en  $\Delta E_c + \Delta E_p = 0$ , cuando no hay acciones exteriores sobre el sistema, no sólo permite resolver con mucha facilidad situaciones como la planteada, por ejemplo, en la actividad A.44, sino que hace posible la resolución de otras situaciones más complejas, difícilmente abordables cinemático-dinámicamente como algunas de las que incluimos a continuación. Conviene por todo ello hacer reflexionar a los estudiantes acerca del interés de este doble enfoque.

Queremos enfatizar, por otra parte, que estos problemas pueden plantearse -y conviene hacerlo!- en forma abierta, sin incluir datos que inducen a tratamientos operativos desde el principio, tal como se ha propuesto en el capítulo 5 y se muestra en los enunciados de las actividades 46, 47 y 49. No obstante, los alumnos deben llegar a utilizar las estrategias de investigación propuestas en el capítulo 5, aunque el enunciado esté dado en la forma habitual, dejando de lado, inicialmente, los datos que se proporcionan.

- A.51. La figura representa un tramo de una montaña rusa. ¿Qué velocidad mínima tendrá que llevar un vagón en P para que sobrepase el punto Q? ¿Con qué velocidad llegará a Q, si en P marcha a 12 m/s? (consideraremos que la fricción del vagón con el suelo y con el aire es insignificante).



- A.52. Un péndulo simple está formado por una bolita que cuelga de una cuerda de masa despreciable de 1 m de longitud. Desplazamos lateralmente la bolita, de manera que la cuerda forma un ángulo de  $10^\circ$  con la vertical, y la lanzamos con una velocidad de 2 m/s. Determinen la altura máxima que alcanzará.
- A.53. ¿Desde qué altura de un plano inclinado  $30^\circ$  hemos de soltar un objeto si queremos que dé una vuelta a un bucle de 20 cm de radio situado al final del plano?
- A.54. Queremos elevar objetos de 140 kg hasta una altura de 15 m. Determinen la potencia del motor que tendremos que utilizar si deseamos que lo haga en 15 s.

- A.55. Los resultados obtenidos en las actividades propuestas en este apartado muestran que podemos enfrentarnos al estudio de los movimientos de dos maneras diferentes: utilizando las ecuaciones de la dinámica y de la cinemática y también utilizando los conceptos de trabajo y de energía. Expresen su opinión acerca de las posibles ventajas e inconvenientes de estos dos enfoques.**

Nos hemos referido hasta aquí a la utilidad de los nuevos conceptos de trabajo y energía y sus relaciones, en el tratamiento de una serie de situaciones, tanto numéricas (cálculo de velocidades, posiciones, etc.) como prácticas (realización de transformaciones aprovechando la energía cinética asociada al movimiento del viento o a los saltos de agua, etc.). Esta manifiesta fecundidad no excluye, sin embargo, algunos puntos oscuros, como el de qué ocurre con la energía, es decir con la capacidad de un sistema para transformar la materia, cuando dichas transformaciones tienen lugar. Nos ocuparemos seguidamente de esta cuestión capital.

### 3. RECAPITULACIÓN Y PERSPECTIVAS: ¿QUÉ OCURRE CON LA ENERGÍA CUANDO UN SISTEMA EXPERIMENTA CAMBIOS?

- A.56. Elaboren un breve informe en el que se recoja de una manera resumida lo realizado a lo largo del tema y las posibles perspectivas.**

**Comentarios A.56.** Con esta actividad de recapitulación se pretende, en primer lugar, ayudar a los estudiantes a tener una visión global del trabajo realizado. Se puede recordar así que el objetivo perseguido era profundizar en el estudio de los cambios y que, para mejor describirlos e interpretarlos, hemos introducido tentativamente los conceptos de trabajo y de energía y establecido relaciones que se han mostrado fructíferas para el estudio de los cambios mecánicos, en los que nos hemos centrado hasta aquí. Pero la actividad pretende también sacar a la luz las dificultades y aspectos que merezcan mayor clarificación. Los estudiantes pueden expresar así sus dudas acerca de qué ocurre con la energía asociada a las transformaciones, plantear la cuestión de cómo obtener la energía que se precisa, por qué no estamos haciendo referencia al calor, que aparece como un importante agente productor de cambios, etc. Todas éstas son cuestiones que conviene transformar en perspectivas.

- A.57. Expongan y debatan sus ideas, intuiciones y dudas acerca de qué ocurre con la energía de un sistema cuando dicho sistema experimenta cambios.**

**Comentarios finales.** La discusión propiciada con esta actividad lleva a referirse a las transformaciones de unas formas de energía en otras (potencial en cinética y viceversa). Unas transformaciones que en algunos casos parecen sugerir la idea de conservación (como ocurre *inicialmente* en la oscilación de un péndulo o en la vibración de un muelle), pero que aparentemente terminan con la desaparición de cualquier forma de energía (el péndulo termina parándose).

Aunque bastantes alumnos de este nivel han estudiado ya y recuerdan el “Principio de conservación de la energía”, a menudo no saben explicar qué pasó con la energía inicial del péndulo, del resorte, de una pelota que cae y rebota cada vez a una altura menor, hasta quedar en reposo en el suelo. En cualquier caso, es preciso señalar que esta intuición de que la energía *parece* conservarse en algunas situaciones,

pero acaba sistemáticamente *gastándose*, responde a un problema histórico cuya solución vendría, paradójicamente, de la aparición de otras dificultades en un campo cuya enorme utilidad para producir cambios se conoce desde los orígenes de la humanidad, el del calor, pero aparentemente inconexo con el de las fuerzas y los movimientos. Podemos terminar así este primer tema del estudio de la energía remitiendo al estudio del calor.

Como sabemos, no fue posible la plena comprensión del concepto de energía, ni el establecimiento del “Principio de conservación y transformación” (*acompañada de degradación*), hasta superar las dificultades planteadas por el estudio del calor (Doménech et al., 2003). De hecho, las profundizaciones en los conceptos de energía, trabajo y calor se potenciaron mutuamente y confluyeron con los avances de la teoría corpuscular.

El tema que finalizamos aquí conecta, pues, con el del estudio del calor y con la síntesis del mismo con la mecánica –dos campos, insistimos, que eran considerados absolutamente inconexos– dando lugar así a avances científico-tecnológicos de la mayor importancia.

No podemos incluir en este libro, por razones de espacio, los dos capítulos que se precisa dedicar, respectivamente, al desarrollo de la ciencia del calor y la síntesis termodinámica, y a los usos de la energía y su papel en nuestras vidas. Sí creemos necesario, en cambio, incluir un capítulo destinado a las fuentes de energía y a los problemas asociados a su obtención y uso, dado que, por una parte, la reestructuración del sistema energético constituye, como ha sido señalado con creciente preocupación, uno de los mayores retos tecnológicos que tiene planteado la humanidad en este siglo XXI (Vilches y Gil-Pérez, 2003), y que la atención prestada por la educación científica a esta problemática resulta, en general, absolutamente insuficiente para hacer posible la participación de la ciudadanía en la toma fundamentada de decisiones.

**NOTA:**

Este capítulo ha sido preparado a partir del siguiente trabajo:

GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori. (Anexo E: "Ejemplo de programa-guía de actividades: trabajo y energía").

**Referencias bibliográficas en este capítulo**

ALONSO, M. y FINN, E. J. (1967). *Fundamental University Physics, Volume 1: Mechanics*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

DOMÉNECH, J. L., GIL-PÉREZ, D., GRAS, A., GUIASOLA, J., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., SALINAS, J., TRUMPER, R. y VALDÉS, P. (2003). La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(4), 285-311.

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

DUIT, R. (1986). In search of an energy concept. En: *Energy matters*. Leeds: University of Leeds.

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

KAPER, W. H. y GOEDHART, M. J. (2002). "Forms of energy", an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. *International Journal of Science Education*, 24(1), 81-95.

MALLINCKRODT, A. J. y LEFF, H. S. (1993). Stopping objects with zero external work: Mechanics meets thermodynamics. *American Journal of Physics*, 61(2), 121-127.

MAXWELL, J. C. (1877). *Matter and motion*. Reedición de 1991. New York: Dover.

McDERMOTT, L. C. (1993). Cómo enseñamos y cómo aprenden los estudiantes. ¿Un desajuste? (primera parte). *Revista de Enseñanza de la Física*, 6(1), 19-32.

OGBORN, J. (1986). Energy and fuel -the meaning of "the go of things". En: *Energy matters*. Leeds: University of Leeds.

PINTÓ, R. (1991). Algunos aspectos implícitos en la primera y segunda ley de la termodinámica: una aportación al estudio de las dificultades de su aprendizaje. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

RESNICK, R., HALLIDAY, D. y KRANE, K. S. (1993). *Física*, vol. 1. México: Compañía Editorial Continental.

SEXL, R. U. (1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3(3) 285-289.

TRUMPER, R. y GORSKY, P. (1993). Learning about energy: the influence of alternative frameworks, cognitive levels, and closed-mindedness. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 637-748.

VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D. (2003) *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.

WARREN, J. W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4(3), 295-297.