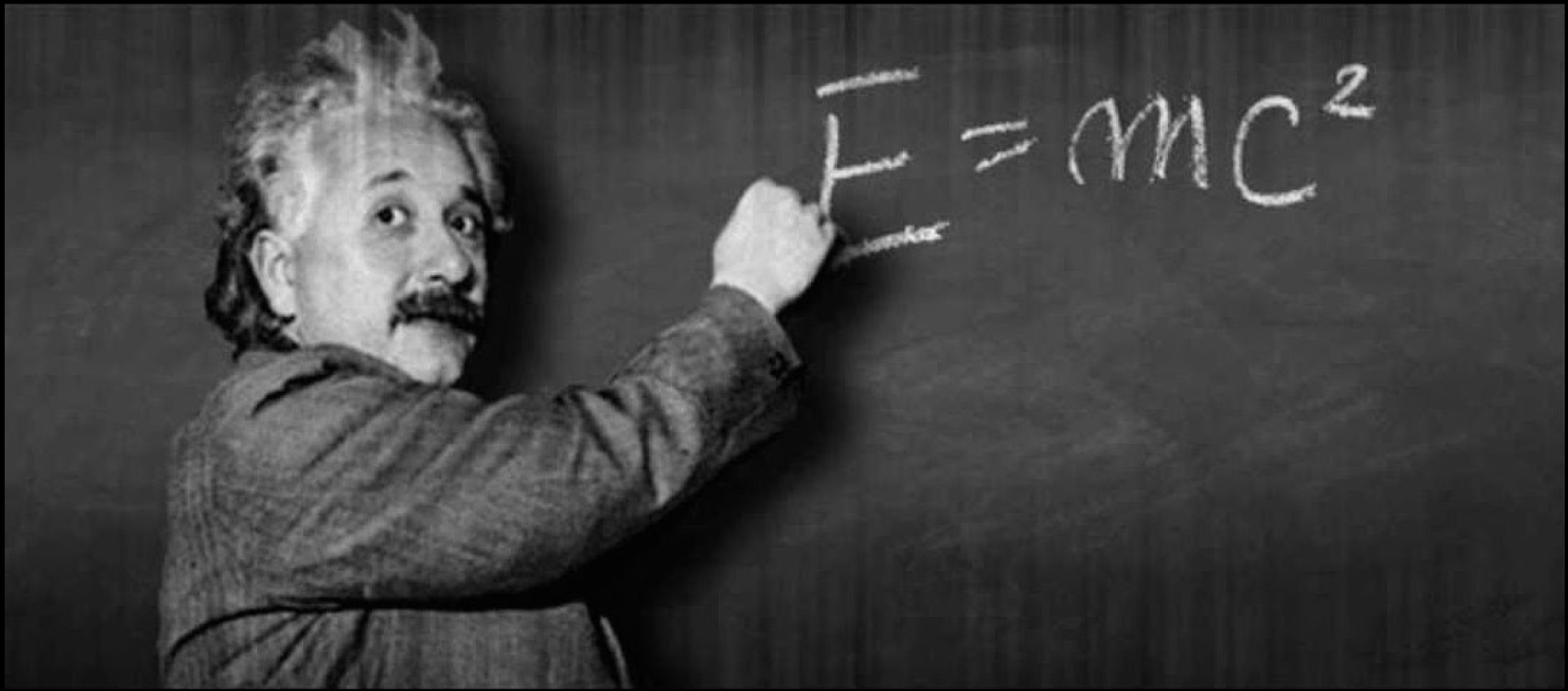
TRABAJO y ENERGÍA



- Qué significa que una fuerza efectúe trabajo sobre un cuerpo, y cómo calcular la cantidad de trabajo realizada.
- La definición de energía cinética (energía de movimiento) de un cuerpo, y lo que significa físicamente.
- Cómo el trabajo total efectuado sobre un cuerpo cambia la energía cinética del cuerpo, y cómo utilizar este principio para resolver problemas de mecánica.
- Cómo usar la relación entre trabajo total y cambio de energía cinética, cuando las fuerzas no son constantes y el cuerpo sigue una trayectoria curva, o ambas situaciones.

Guía de este capítulo de la materia

El nuevo método que vamos a presentar usa las ideas de *trabajo* y *energía*. La importancia del concepto de energía surge del *principio de conservación de la energía*: la energía es una cantidad que se puede convertir de una forma a otra, pero no puede crearse ni destruirse. En un motor de automóvil, la energía química almacenada

Usaremos el concepto de energía en el resto del libro para estudiar una amplísima gama de fenómenos físicos. La energía nos ayudará a entender por qué un abrigo nos mantiene calientes, cómo el flash de una cámara produce un destello de luz, y el significado de la famosa ecuación de Einstein $E = mc^2$.

Trabajo de una Fuerza (T o W)

T= TRABAJO

W = Work (en inglés)

$$W = \vec{F} \bullet \vec{s}$$

La unidad de trabajo en el SI es el **joule** (que se abrevia J y se pronuncia "yul", nombrada así en honor del físico inglés del siglo XIX James Prescott Joule). Por la ecuación (6.1), vemos que, en cualquier sistema de unidades, la unidad de trabajo es la unidad de fuerza multiplicada por la unidad de distancia. En el SI la unidad de fuerza es el newton y la unidad de distancia es el metro, así que 1 joule equivale a un *newton-metro* $(\mathrm{N} \cdot \mathrm{m})$:

$$1 \text{ joule} = (1 \text{ newton})(1 \text{ metro}) \quad \text{o bien} \quad 1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

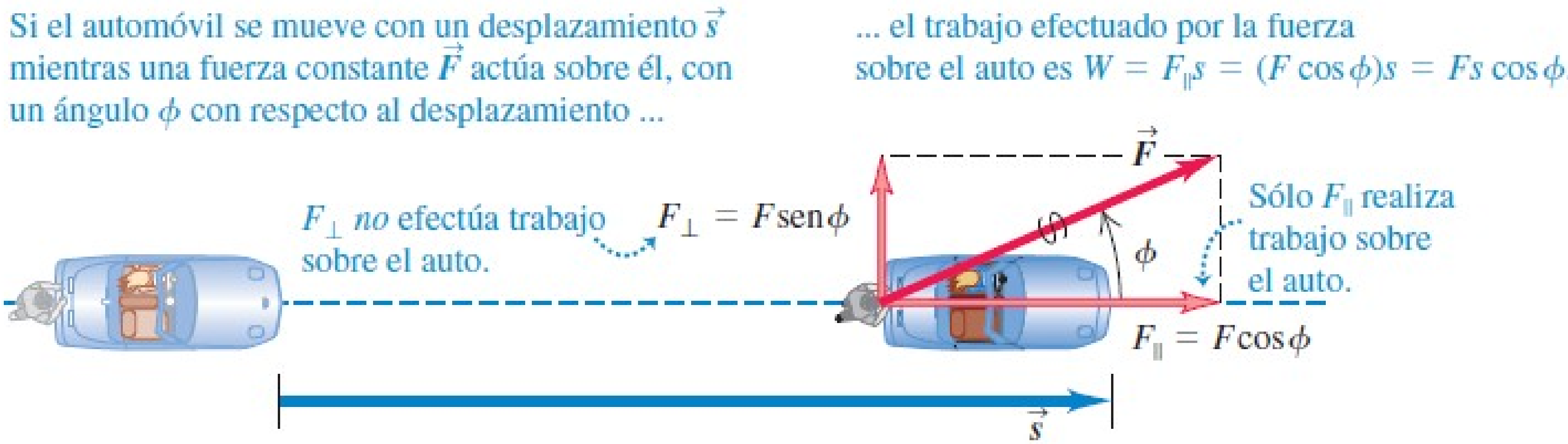
$$\boxed{W = \vec{F} \bullet \vec{s}}$$

Cómo hago esta cuenta?

Recordamos el concepto de producto escalar

$$\vec{A} \bullet \vec{B} = AB\cos\theta_{AB}$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z.$$



Ejemplo 6.1 Trabajo efectuado por una fuerza constante

a) Esteban ejerce una fuerza constante de magnitud 210 N (aproximadamente 47 lb) sobre el automóvil averiado de la figura 6.3, mientras lo empuja una distancia de 18 m. Además, un neumático se desinfló, así que, para lograr que el auto avance al frente, Esteban debe empujarlo con un ángulo de 30° con respecto a la dirección del movimiento. ¿Cuánto trabajo efectúa Esteban? *b*) Con ánimo de ayudar, Esteban empuja un segundo automóvil averiado con una fuerza constante $\vec{F} = (160\ \text{N})\hat{\imath} - (40\ \text{N})\hat{\jmath}$. El desplazamiento del automóvil es $\vec{s} = (14\ \text{m})\hat{\imath} + (11\ \text{m})\hat{\jmath}$. ¿Cuánto trabajo efectúa Esteban en este caso?

SOLUCIÓN

IDENTIFICAR: En ambos incisos, *a*) y *b*), la incógnita es el trabajo W efectuado por Esteban. En ambos casos, la fuerza es constante y el desplazamiento es rectilíneo, así que podemos usar la ecuación (6.2) o la ecuación (6.3).

PLANTEAR: El ángulo entre $\vec{F}$ y $\vec{s}$ se da explícitamente en el inciso *a*), de manera que podemos aplicar directamente la ecuación (6.2). En

$$W = Fs\cos\phi \qquad \text{(fuerza constante, desplazamiento rectilíneo)} \qquad (6.2)$$

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} \qquad \text{(fuerza constante, desplazamiento rectilíneo)} \qquad (6.3)$$

el inciso *b*), no se da el ángulo, así que nos conviene más calcular el producto escalar de la ecuación (6.3), a partir de las componentes de $\vec{F}$ y $\vec{s}$, como en la ecuación (1.21): $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z$.

EJECUTAR: *a*) Por la ecuación (6.2),

$$W = Fs\cos\phi = (210\text{ N})(18\text{ m})\cos 30° = 3.3 \times 10^3\text{ J}$$

b) Las componentes de $\vec{F}$ son $F_x = 160$ N y $F_y = -40$ N, en tanto que las componentes de $\vec{s}$ son $x = 14$ m y $y = 11$ m. (No hay componentes z para ningún vector.) Así, utilizando las ecuaciones (1.21) y (6.3),

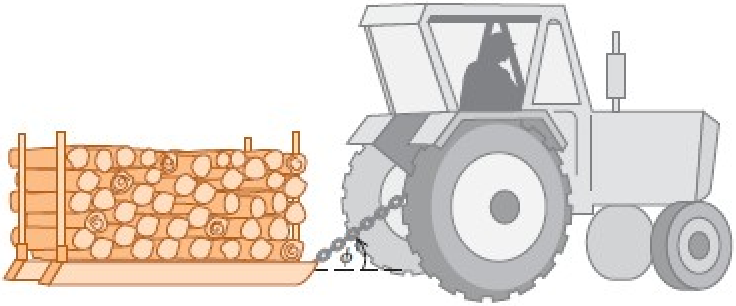
$$\begin{aligned} W &= \vec{F} \cdot \vec{s} = F_x x + F_y y \\ &= (160\text{ N})(14\text{ m}) + (-40\text{ N})(11\text{ m}) \\ &= 1.8 \times 10^3\text{ J} \end{aligned}$$

Ejemplo 6.2 Trabajo realizado por varias fuerzas

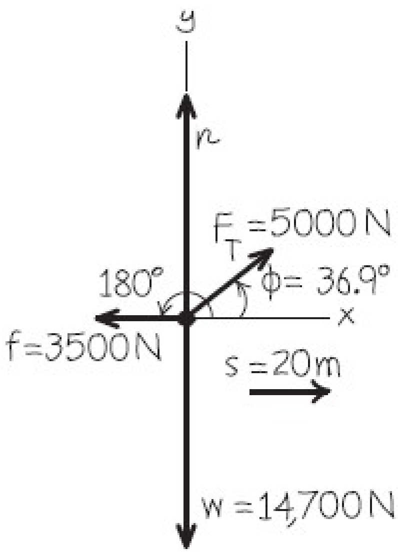
Un granjero engancha su tractor a un trineo cargado con leña y lo arrastra 20 m sobre el suelo horizontal (figura 6.7a). El peso total del trineo y la carga es de 14,700 N. El tractor ejerce una fuerza constante de 5000 N a 36.9° sobre la horizontal, como se indica en la figura 6.7b. Una fuerza de fricción de 3500 N se opone al movimiento del trineo. Calcule el trabajo realizado por cada fuerza que actúa sobre el trineo y el trabajo total de todas las fuerzas.

SOLUCIÓN

IDENTIFICAR: Todas las fuerzas son constantes y el desplazamiento es rectilíneo, de manera que podemos calcular el trabajo empleando los conceptos usados en esta sección. Obtendremos el trabajo total de dos maneras: 1. sumando los trabajos efectuados por cada fuerza sobre el trineo, y 2. calculando el trabajo efectuado por la fuerza neta que actúa sobre el trineo.



b) Diagrama de cuerpo libre para el trineo



continúa

realizado por la fuerza normal es cero. Entonces, $W_w = W_n = 0$. (Por cierto, la magnitud de la fuerza normal es menor que el peso; véase el ejemplo 5.15 de la sección 5.3, donde el diagrama de cuerpo libre es muy similar.)

Nos queda la fuerza F_T ejercida por el tractor y la fuerza de fricción f. Por la ecuación (6.2), el trabajo W_T efectuado por el tractor es

$$W_T = F_T s \cos\phi = (5000\ \text{N})(20\ \text{m})(0.800) = 80{,}000\ \text{N} \cdot \text{m}$$
$$= 80\ \text{kJ}$$

La fuerza de fricción $\vec{f}$ es opuesta al desplazamiento, así que $\phi = 180°$ y $\cos\phi = -1$. El trabajo W_f realizado por la fuerza de fricción es

$$W_f = fs\cos 180° = (3500\ \text{N})(20\ \text{m})(-1) = -70{,}000\ \text{N} \cdot \text{m}$$
$$= -70\ \text{kJ}$$

El trabajo total W_{tot} realizado por todas las fuerzas sobre el trineo es la suma *algebraica* del trabajo realizado por cada fuerza individual:

$$W_{tot} = W_w + W_n + W_T + W_f = 0 + 0 + 80\ \text{kJ} + (-70\ \text{kJ})$$
$$= 10\ \text{kJ}$$

Usando la otra estrategia, primero obtenemos la suma *vectorial* de todas las fuerzas (la fuerza neta) y la usamos para calcular el trabajo total. La mejor forma de hacerlo es usando componentes. De la figura 6.7b,

$$\sum F_x = F_T\cos\phi + (-f) = (5000\ \text{N})\cos 36.9° - 3500\ \text{N}$$
$$= 500\ \text{N}$$
$$\sum F_y = F_T\,\text{sen}\,\phi + n + (-w)$$
$$= (5000\ \text{N})\,\text{sen}\,36.9° + n - 14{,}700\ \text{N}$$

No necesitamos la segunda ecuación; sabemos que la componente y de fuerza es perpendicular al desplazamiento, así que no realiza trabajo. Además, no hay componente y de aceleración, así que de cualquier forma $\sum F_y$ debe ser cero. Por lo tanto, el trabajo total es el realizado por la componente x total:

$$W_{tot} = \left(\sum \vec{F}\right) \cdot \vec{s} = \left(\sum F_x\right)s = (500\ \text{N})(20\ \text{m}) = 10{,}000\ \text{J}$$
$$= 10\ \text{kJ}$$

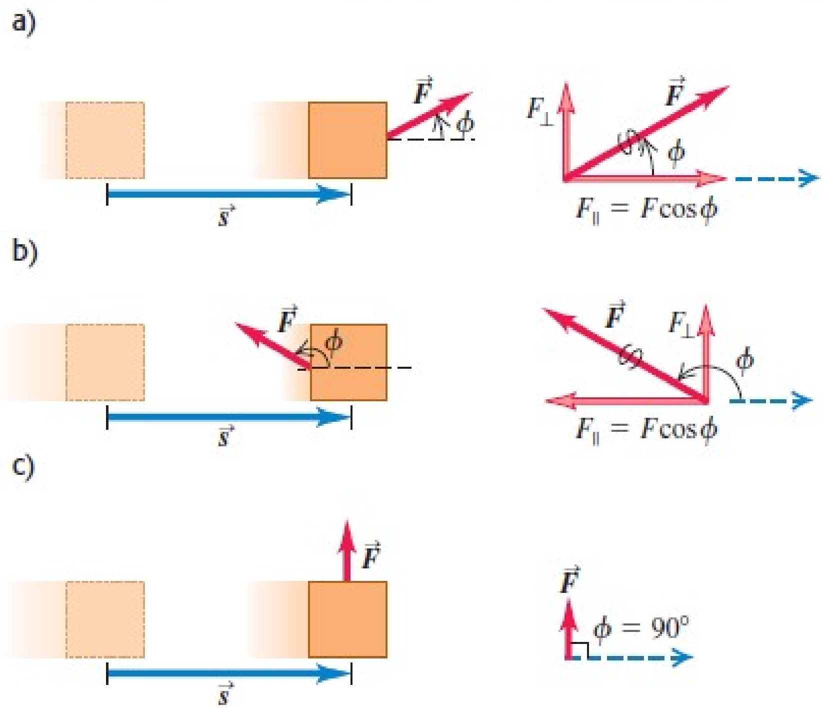
EVALUAR: Obtenemos el mismo valor de W_{tot} con los dos métodos, como debería ser.

Observe que la fuerza neta en la dirección x *no* es cero, así que el trineo se está acelerando. En la sección 6.2 volveremos a este ejemplo y veremos cómo usar el concepto de trabajo para explorar el movimiento del trineo.

Trabajo: Positivo, negativo o cero

En el ejemplo 6.1, el trabajo efectuado al empujar los autos fue positivo. No obstante, es importante entender que el trabajo también puede ser negativo o cero. Ésta es la diferencia esencial entre la definición de trabajo en física y la definición "cotidiana" del mismo.

6.4 Una fuerza constante $\vec{F}$ puede efectuar trabajo positivo, negativo o cero, dependiendo del ángulo entre $\vec{F}$ y el desplazamiento $\vec{s}$.



a) **La fuerza tiene una componente en la dirección del desplazamiento:**
- El trabajo sobre el objeto es positivo.
- $W = F_\parallel s = (F\cos\phi)s$

b) **La fuerza tiene una componente opuesta a la dirección del desplazamiento:**
- El trabajo sobre el objeto es negativo.
- $W = F_\parallel s = (F\cos\phi)s$
- Matemáticamente, $W < 0$ porque $F\cos\phi$ es negativo para $90° < \phi < 270°$.

c) **La fuerza es perpendicular a la dirección del desplazamiento:**
- La fuerza *no* realiza trabajo sobre el objeto.
- De forma más general, cuando una fuerza que actúa sobre un objeto tiene una componente $F_\perp$ perpendicular al desplazamiento del objeto, dicha componente no efectúa trabajo sobre el objeto.

CUIDADO **Tenga presente quién hace el trabajo** Siempre hablamos de trabajo realizado *sobre* un cuerpo específico *por* una fuerza determinada. Nunca olvide especificar exactamente qué fuerza realiza el trabajo en cuestión. Si levantamos un libro, ejercemos una fuerza hacia arriba sobre el libro y el desplazamiento de éste es hacia arriba, así que el trabajo realizado por la fuerza de levantamiento sobre el libro es positivo. En cambio, el trabajo realizado por la fuerza *gravitacional* (peso) sobre el libro que se levanta es *negativo*, porque tal fuerza es opuesta al desplazamiento hacia arriba.