



# Energía

M.Sc. Óscar Andrés Arroyo Chavarría



# Energía

- El concepto de energía es uno de los temas más importantes en ciencia e ingeniería. En la vida cotidiana se piensa en la energía en términos de combustible para transporte y calentamiento, electricidad para luz y electrodomésticos, y alimentos para el consumo. No obstante, estas ideas no definen la energía. Sólo dejan ver que los combustibles son necesarios para realizar un trabajo y que dichos combustibles proporcionan algo que se llama energía.
- La energía está presente en el Universo en diferentes formas. *Todo* proceso físico que ocurra en el Universo involucra energía y transferencias o transformaciones de energía. Por desgracia, a pesar de su extrema importancia, la energía no es fácil de definir.

# Sistemas y entornos

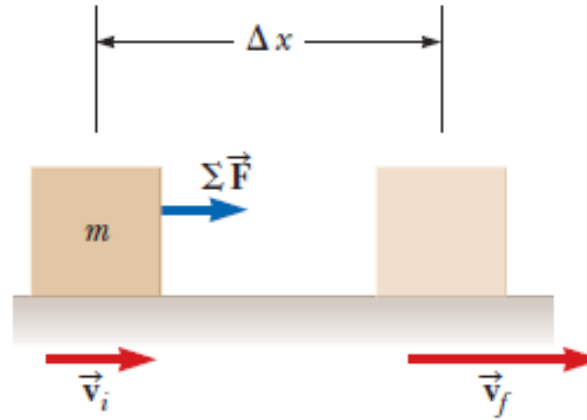
- En el modelo de sistema la atención se dirige a una porción pequeña del Universo, el **sistema**, y se ignoran detalles del resto del Universo fuera del sistema.

En particular, un sistema válido:

- puede ser un objeto simple o partícula
- puede ser un conjunto de objetos o partículas
- puede ser una región de espacio (como el interior del cilindro de combustión de un motor de automóvil)
- puede variar en tamaño y forma (como una bola de goma, que se deforma al golpear una pared)

# Energía cinética y el teorema trabajo-energía cinética

- Observe el caso mostrado en la figura:



- El trabajo total efectuado por la fuerza neta es:

$$W_{TOTAL} = \int_{x_i}^{x_f} \sum F_x dx$$

# Energía cinética y el teorema trabajo-energía cinética

- A partir de la segunda ley de Newton:

$$W_{TOTAL} = \int_{x_i}^{x_f} (ma) dx$$

$$W_{TOTAL} = \int_{x_i}^{x_f} m \frac{dv}{dt} dx$$

$$W_{TOTAL} = \int_{x_i}^{x_f} m \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} dx$$

$$W_{TOTAL} = \int_{v_i}^{v_f} m v dv$$

$$W_{TOTAL} = \frac{1}{2} m (v_f^2 - v_i^2)$$

- Donde:

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

- Por lo tanto:

$$W_{TOTAL} = \Delta K$$

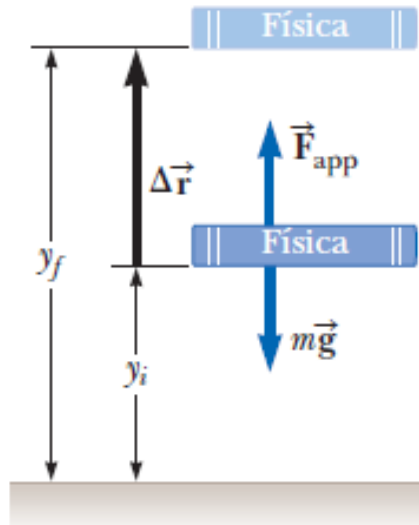
En esta ecuación,  $K$  representa la energía cinética del objeto, es decir, la energía asociada a su movimiento.

# Energía cinética y el teorema trabajo-energía cinética

- Cuando se realiza trabajo sobre un sistema y el único cambio en este es en su rapidez, el trabajo neto efectuado sobre el sistema es igual al cambio en energía cinética del sistema.
- El teorema trabajo-energía cinética indica que la rapidez de un sistema *aumenta* si el trabajo neto realizado sobre el es *positivo* porque la energía cinética final es mayor que la energía cinética inicial. La rapidez *disminuye* si el trabajo neto es *negativo*, porque la energía cinética final es menor que la energía cinética inicial. La rapidez *es constante* si el trabajo es *cero*, porque la energía cinética final es igual a la energía cinética inicial.

# Energía potencial gravitacional

- Considere un libro de Física que pasa de una posición  $y_i$  a una posición  $y_f$  tal y como se muestra en la figura.



- En este caso, la fuerza mínima (con rapidez constante) para subir el libro sería:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{app} - mg = 0$$

$$F_{app} = mg$$

# Energía potencial gravitacional

- Por lo tanto, el trabajo realizado para subir el libro sería:

$$W_{TOTAL} = F_{app} \Delta r \cos 0^\circ$$

$$W_{TOTAL} = mg(y_f - y_i)$$

- Donde:

$$U_{grav} = mgy$$

- Como se puede observar, la energía potencial gravitacional está en función de la posición vertical del objeto, por lo tanto, es muy importante definir el nivel de referencia a partir del cual se medirán las alturas (por lo general se sugiere que el nivel de referencia sea igual al nivel de altura mínimo de los objetos, pero eso puede variar en cada problema).



# Energía potencial elástica

- La energía potencial elástica de un sistema masa-resorte, se puede percibir como la energía almacenada en el resorte deformado (uno que esta comprimido o estirado desde su posición de equilibrio). La energía potencial elástica almacenada en un resorte es cero siempre que el resorte no este deformado ( $x = 0$ ). La energía se almacena en el resorte sólo cuando el resorte esta estirado o comprimido.

$$U_s = \frac{1}{2} k x^2$$

- Puesto que la energía potencial elástica es proporcional a  $x^2$ , se ve que  $U_s$  siempre es positiva en un resorte deformado.

# Fuerzas conservativas y no conservativas

- Las **fuerzas conservativas** tienen estas dos propiedades equivalentes:
  1. El trabajo realizado por una fuerza conservativa sobre una partícula moviéndose entre dos puntos cualesquiera es independiente de la trayectoria tomada por la partícula.
  2. El trabajo efectuado por una fuerza conservativa sobre una partícula moviéndose a lo largo de cualquier trayectoria cerrada es cero (una trayectoria cerrada es aquella en la que el punto de partida y el punto final son idénticos).
- Una fuerza es **no conservativa** si no satisface las propiedades 1 y 2 mencionadas. El trabajo efectuado por una fuerza no conservativa depende de la trayectoria.

# Energía mecánica de un sistema

- La energía mecánica total de un sistema se define como la suma de la energía cinética y la energía potencial:

$$E = K + U$$

- En un sistema donde sólo actúan fuerzas conservativas, el cambio de la energía es igual a cero, situación que se conoce como el **principio de conservación de la energía mecánica**.

$$\Delta E = 0$$

# Análisis de modelo: sistema no aislado (energía)

- Sobre un objeto modelado como partícula pueden actuar fuerzas diferentes, resultando en un cambio en su energía cinética de acuerdo con el teorema del trabajo-energía. Si elegimos el objeto como el sistema, esta situación muy simple es el primer ejemplo de un sistema no aislado, en el cual la energía cruza la frontera del sistema durante cierto intervalo de tiempo debido a una interacción con el medio ambiente. Este escenario es común en problemas de física. Si un sistema no interactúa con su medio ambiente, se denomina aislado.

La energía se transfiere hacia el bloque mediante *trabajo*.

© Cengage Learning/George Sample



a

La energía abandona el radio desde la bocina mediante *ondas mecánicas*.

© Cengage Learning/George Sample



b

La energía se transfiere hacia el mango de la cuchara mediante *calor*.

© Cengage Learning/George Sample



c

La energía entra al tanque de gasolina del automóvil mediante *transferencia de materia*.

Cocoon/Photodisc/Getty Images



d

La energía entra a la secadora de pelo mediante *transmisión eléctrica*.

© Cengage Learning/George Sample



e

La energía sale del foco mediante *radiación electromagnética*.

© Cengage Learning/George Sample



f

# CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

- La energía es una de las diferentes cantidades que se conservan en física. En los capítulos siguientes vamos a ver otras cantidades que se conservan. Hay muchas cantidades físicas que no obedecen un principio de conservación. Por ejemplo, no hay ningún principio de conservación de la fuerza o principio de conservación de la velocidad.

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W + Q + T_{\text{OM}} + T_{\text{TM}} + T_{\text{TE}} + T_{\text{RE}}$$

# Análisis de modelo: sistema aislado (energía)

- Es un sistema que se elige de manera tal que la energía no cruza la frontera del sistema por ningún método.
- En este particular, el cambio en la energía mecánica del sistema es cero, es decir, la energía SE CONSERVA.

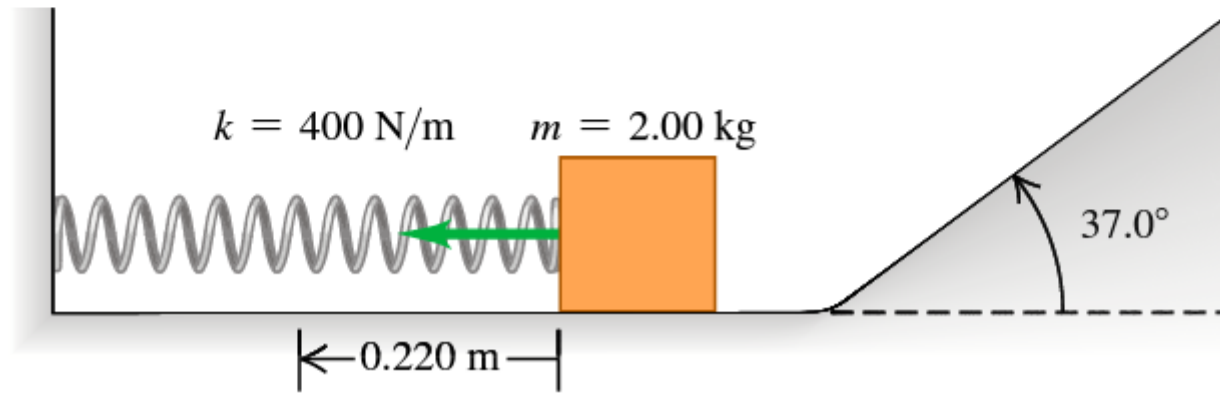
$$\Delta E_{sistema} = 0$$



# Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con Física Moderna. Pearson Educación: 14ª edición. pp. 231

**7.40** • Un bloque de 2.00 kg se empuja contra un resorte de masa despreciable y constante de fuerza  $k = 400 \text{ N/m}$ , comprimiéndolo 0.220 m. Al soltarse el bloque, se mueve por una superficie sin fricción que primero es horizontal y luego sube a  $37.0^\circ$  (**figura P7.40**). a) ¿Qué rapidez tiene el bloque al deslizarse sobre la superficie horizontal después de separarse del resorte? b) ¿Qué altura sobre el plano inclinado alcanza el bloque antes de detenerse y regresar?

Figura **P7.40**

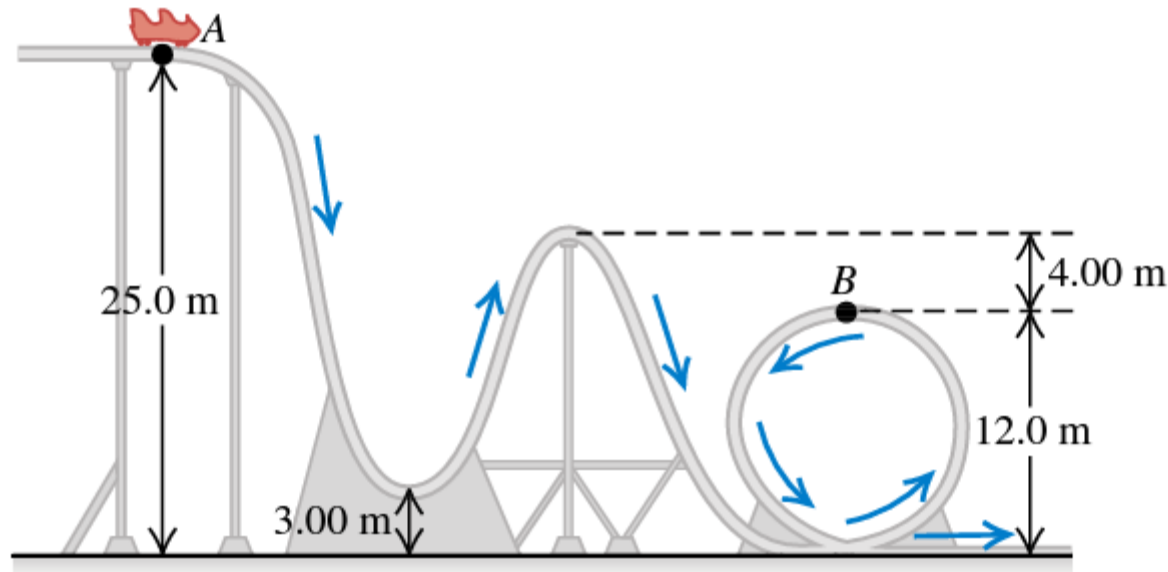




# Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con Física Moderna. Pearson Educación: 14ª edición. pp. 231

**7.41** • El carrito de 350 kg de una montaña rusa inicia su recorrido, partiendo del reposo, en el punto A y se desliza hacia un rizo vertical en una superficie sin fricción (**figura P7.41**). a) ¿Con qué rapidez se mueve el carrito en el punto B? b) ¿Con qué fuerza se presiona contra las vías en el punto B?

Figura **P7.41**



Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con Física Moderna. Pearson Educación: 14ª edición. pp. 233

**7.56** •• Se arroja una pelota hacia arriba con una velocidad inicial de 15 m/s a un ángulo de  $60.0^\circ$  arriba de la horizontal. Use la conservación de la energía para determinar la altura máxima de la pelota.

# Cambios en la energía mecánica para fuerzas no conservativas

- Si en el sistema aparecen fuerzas no conservativas (como la fuerza de fricción cinética), el cambio de energía mecánica del sistema no es cero, de esta manera:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = W_{\text{fuerza no conservativa}}$$

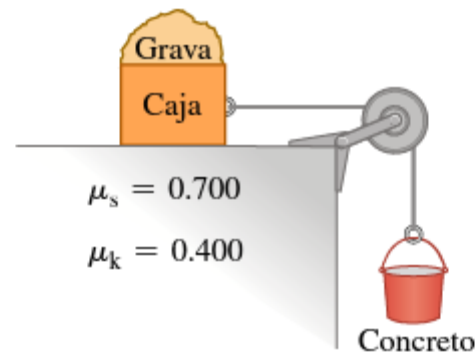
Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con Física Moderna. Pearson Educación: 14ª edición. pp. 230

**7.29** •• Una esquiadora de 62.0 kg se desplaza a 6.50 m/s en una planicie horizontal, sin fricción, cubierta por la nieve, cuando encuentra una zona áspera de 4.20 m de longitud. El coeficiente de fricción cinética entre esta zona y sus esquíes es de 0.300. Después de cruzar la zona áspera y regresar a la nieve libre de fricción, esquiadora de bajada por una colina sin fricción, cubierta de hielo de 2.50 m de altura. *a)* ¿Con qué rapidez se desplaza la esquiadora cuando llega a la parte inferior de la colina? *b)* ¿Cuánta energía interna se generó al cruzar la zona áspera?

# Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con Física Moderna. Pearson Educación: 14ª edición. pp. 231

**7.37** ... En una obra en construcción, una cubeta de 65.0 kg de concreto cuelga de un cable ligero (pero resistente), que pasa por una polea ligera sin fricción y está conectada a una caja de 80.0 kg ubicada en un techo horizontal (**figura P7.37**). El cable tira horizontalmente de la caja y una bolsa de grava de 50.0 kg descansa sobre la parte superior de la caja. Se indican los coeficientes de fricción entre la caja y el techo. *a)* Determine la fuerza de fricción sobre la bolsa de grava y sobre la caja. *b)* Repentinamente un trabajador quita la bolsa de grava. Utilice la conservación de la energía para calcular la rapidez de la cubeta, luego de que haya descendido 2.00 m partiendo del reposo (podrá verificar su respuesta resolviendo este problema utilizando las leyes de Newton).

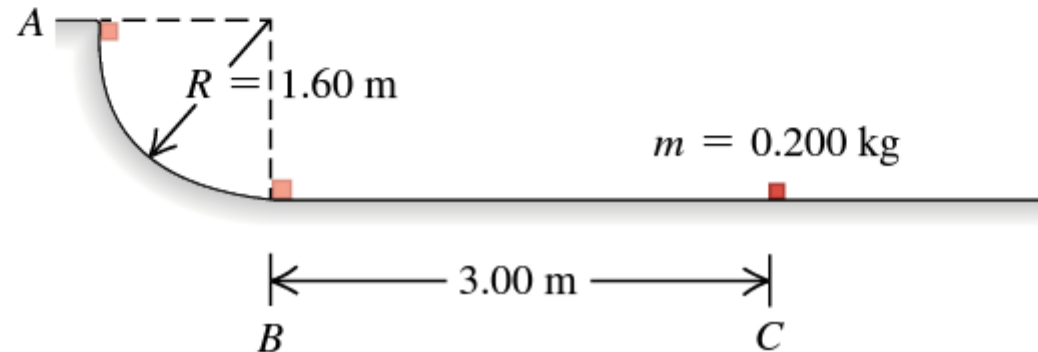
Figura **P7.37**



# Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con Física Moderna. Pearson Educación; 14ª edición. pp. 233

**7.57** •• En un puesto de carga de camiones de una oficina de correos, un paquete pequeño de  $0.200\text{ kg}$  se suelta del reposo en el punto  $A$  de una vía que forma un cuarto de círculo con radio de  $1.60\text{ m}$  (**figura P7.57**). El paquete es mucho menor que  $1.60\text{ m}$ , por lo que puede tratarse como una partícula. El paquete se desliza por la vía y llega al punto  $B$  con rapidez de  $4.80\text{ m/s}$ . A partir de aquí, el paquete se desliza  $3.00\text{ m}$  sobre una superficie horizontal hasta el punto  $C$ , donde se detiene. *a)* ¿Qué coeficiente de fricción cinética tiene la superficie horizontal? *b)* ¿Cuánto trabajo realiza la fricción sobre el paquete al deslizarse éste por el arco circular entre  $A$  y  $B$ ?

Figura **P7.57**



# Relación entre fuerzas conservativas y energía potencial

- En un sistema donde sólo actúan fuerzas conservativas, el trabajo realizado sobre un integrante no depende de la trayectoria seguida por el integrante en movimiento. El trabajo solo depende de las coordenadas inicial y final. Para tal sistema, se puede definir una **función de energía potencial  $U$**  tal que el trabajo efectuado dentro del sistema por la fuerza conservativa iguale al negativo del cambio en la energía potencial del sistema. En términos matemáticos,

$$\vec{F} = -\frac{dU}{dx}\hat{i} - \frac{dU}{dy}\hat{j} - \frac{dU}{dz}\hat{k}$$

Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con Física Moderna. Pearson Educación: 14ª edición. pp. 230

**7.31 •• CALC** Una fuerza paralela al eje  $x$  actúa sobre una partícula que se mueve sobre el eje  $x$ . La fuerza produce una energía potencial  $U(x)$  dada por  $U(x) = \alpha x^4$ , donde  $\alpha = 0.630 \text{ J/m}^4$ . ¿Cuál es la fuerza (magnitud y dirección) cuando la partícula está en  $x = -0.800 \text{ m}$ ?



## CAPÍTULO 7 RESUMEN

**SOLUCIONES A TODOS LOS EJEMPLOS**

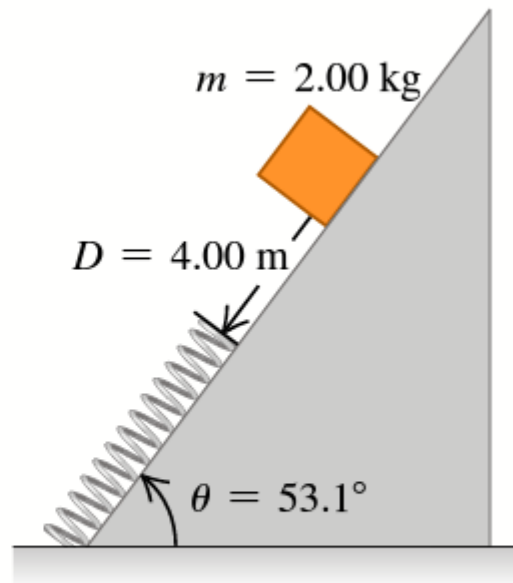


## PROBLEMA PRÁCTICO

## RESORTE Y FRICCIÓN SOBRE UN PLANO INCLINADO

Un paquete de 2.00 kg se suelta en un plano inclinado de  $53.1^\circ$ , a 4.00 m de un resorte largo, cuya constante de fuerza es de  $1.20 \times 10^2 \text{ N/m}$  y está sujeto a la base del plano inclinado (**figura 7.25**). Los coeficientes de fricción entre el paquete y el plano inclinado son  $\mu_s = 0.400$  y  $\mu_k = 0.200$ . La masa del resorte es despreciable. *a)* ¿Cuál es la compresión máxima del resorte? *b)* Al rebotar el paquete hacia arriba, ¿qué tanto se acerca a su posición inicial? *c)* ¿Cuál es el cambio en la energía interna del paquete y el plano inclinado a partir de que el paquete se libera, rebota y alcanza su altura máxima?

**7.25** Situación inicial.



**SOLUCIÓN**