TEMA 9: LA ENERGÍA Y SU TRANSFERENCIA

1 Energía: unidades y tipos.
2 Transferencias de energía: trabajo
3 Transferencias de energía: calor.
4 Conservación y degradación de la energía. Primer principio de la termodinámica.

1. Energía: Unidades y tipos.

Por energía entendemos la capacidad que posee un cuerpo para poder producir cambios en sí mismo o en otros cuerpos. Es una propiedad que asociamos a los cuerpos para poder explicar estos cambios.

Estamos acostumbrados a clasificar la energía por un criterio técnico: según la fuente de producción. Así hablamos de energía eólica, calorífica, nuclear, hidroeléctrica, solar, química...

Sin embargo, en Física es más útil establecer una clasificación en base a las causas por la que el cuerpo puede producir cambios. Tendremos entonces.

Energía cinética (Ec): Energía debida al movimiento del cuerpo. Depende de la masa y de la velocidad del cuerpo.

Se calcula con la expresión $Ec = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

Por ejemplo, un proyectil podrá realizar un mayor cambio al chocar con una pared si tiene más masa y si se mueve a mayor velocidad. Del mismo modo, conseguiremos clavar más un clavo en una tabla si la cabeza del martillo tiene más masa, o si se mueve con mayor velocidad en el golpe.

Energía potencial (Ep): Es una energía almacenada debido a la acción de ciertas fuerzas, llamadas fuerzas conservativas, que actúen sobre el cuerpo (las estudiaremos más adelante). Existen tres tipos:

<u>Energía potencial gravitatoria</u> (Epg), debida a la acción de la fuerza gravitatoria sobre el cuerpo.
Depende del peso del cuerpo, y de la posición (altura) del objeto. Si el cuerpo se mantiene cerca de la superficie del planeta (altura h pequeña comparada con el radio del planeta, y la gravedad se mantiene constante)

$$Ep_g = m \cdot g \cdot h$$

Por ejemplo, una piedra de masa m es atraída por la Tierra con una fuerza Fg = mg, es decir, su peso. Si el cuerpo se mantiene cerca de la superficie terrestre, la gravedad se mantiene prácticamente constante, y el peso de la piedra va a ser el mismo, se encuentre a la altura que se encuentre. Sin embargo, si se deja caer desde más altura, podrá realizar más cambios (alcanzará más velocidad, hará un hoyo más profundo en la arena... ya Galileo señaló en el S. XVII que una piedra dejada caer sobre una estaca, conseguirá clavarla más si se deja caer desde más altura). Es decir, la piedra posee energía por el hecho de sufrir la fuerza gravitatoria y estar a cierta altura.

Como la altura depende del sistema de referencia que hayamos escogido, el valor de la Epg también, pudiendo ser positiva, negativa, o incluso cero. De todas formas, lo relevante no es el valor de energía potencial en cada punto, sino cuánto cambia durante un desplazamiento.

<u>Energía potencial elástica (Epel)</u>: Es la que almacenan los cuerpos elásticos al ser comprimidos o estirados.
Un coche de juguete de cuerda posee en su interior un muelle comprimido. Al soltarlo, el cochecito se pone en marcha. Su energía cinética aumenta. ¿De dónde procede esa energía? De la que tenía almacenada el muelle al estar comprimido. Al estar actuando la fuerza elástica, el sistema almacena energía potencial elástica.

$$Ep_{el} = \tfrac{1}{2} K \cdot \Delta x^2$$

donde K es la constante elástica del cuerpo (cuántos N de fuerza ejerce por cada metro que se deforma).

<u>Energía potencial eléctrica (Epe)</u>: Debida a la acción de fuerzas eléctricas, entre cuerpos con carga. Depende del valor de las cargas y de la distancia entre ellas.
No la estudiaremos en este curso, pero podemos analizarla cualitativamente con un ejemplo. Dos cargas de distinto signo se atraen según la ley de Coulomb, que ya vimos en el tema anterior. Si las dejamos libres, sin rozamiento, se acercarán

una a la otra, cada vez a más velocidad. Nuevamente el aumento de energía cinética se consigue a partir de la energía eléctrica que tenían almacenadas las cargas.

Energía mecánica (E_M): Suma de las energías cinética y potencial (todas las energías potenciales) del cuerpo.

$$E_M = Ec + Ep = Ec + (Ep_g + Ep_e + Ep_{el})$$

Energía interna (U): Debida a la temperatura (movimiento interno de las partículas) del cuerpo y a su estructura atómico-molecular.

Unidades de energía: Cualquier forma de energía se mide en las mismas unidades: en el S.I es el Julio (J).

Otras unidades:	caloría (cal):	1 cal = 4,18 J	1 Kcal = 1000 cal = 4180 J
	ergio (erg):	1 erg = 10^{-7} J	kilovatio-hora (kW·h): 1 kW·h = 3,6 · 10^6 J

Transferencias de energía: calor y trabajo:

Al estudiar un sistema desde el punto de vista de la energía, podemos ver que en cualquier cambio que ocurra en el mismo tenemos una transferencia de energía entre unos cuerpos y otros (a veces en el mismo cuerpo). Así, al poner en contacto un cuerpo frío con otro caliente, el cuerpo frío aumenta su energía interna, a costa de disminuir la energía interna del cuerpo caliente, hasta llegar al equilibrio. En un cuerpo que cae en caída libre, aumenta su energía cinética a costa de la disminución de su energía potencial gravitatoria.

Estas transferencias de energía se pueden realizar de dos formas:
- Por medio de un desplazamiento, bajo la acción de una fuerza: en ese caso se produce **trabajo (W)**.
- Debido a una diferencia de temperatura: se habla entonces de que se transfiere **calor (Q)**.

El trabajo y el calor son dos formas de transferencia de energía de unos cuerpos a otros. Ni el calor ni el trabajo son formas de energía. No podemos decir que un cuerpo tiene trabajo ni calor, y sí podemos decir que tiene energía.

Cambios de energía en un cuerpo. Incremento de energía

Estamos viendo que un cuerpo puede perder energía de algún tipo al transferirla a otros cuerpos, que a su vez ganarán energía (de uno u otro tipo). Siempre que se pierda energía de algún tipo, se ganará por otra parte (ya sea el mismo u otro cuerpo).

Se entiende por incremento de energía a la diferencia de energía entre la situación final y la inicial del cuerpo

$$\Delta E = E_{final} - E_{inicial}$$

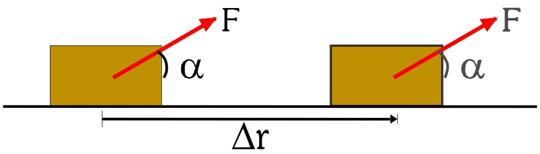
De este modo, Si $\Delta E > 0 \rightarrow E_{final} > E_{inicial}$ la energía aumenta.

Si $\Delta E < 0 \rightarrow E_{final} < E_{inicial}$ la energía disminuye

2. Transferencias de energía: Trabajo (W)

Hemos visto que el trabajo no es un tipo de energía, sino un proceso de transferencia de energía de un cuerpo a otro.

De hecho, podemos definir el **trabajo** como la *transferencia de energía de un cuerpo a otro realizada por la acción de una fuerza mediante un desplazamiento*.



Matemáticamente, incluyendo los diferentes factores de los que depende:

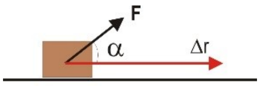
$$\boxed{W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} = F \cdot \Delta r \cdot \cos\alpha}$$

donde: F es la fuerza que actúa, Δr es el desplazamiento realizado, y α es el ángulo que forma la fuerza con el desplazamiento. Su unidad en el S.I. es el julio (J).

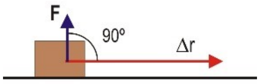
Esta expresión sólo es válida si la fuerza se mantiene constante durante todo el desplazamiento, y este es en línea recta. Si la fuerza cambia de módulo o dirección durante el desplazamiento, o si éste es una trayectoria curva, el trabajo se calcula mediante una operación matemática llamada integral, cuyo tratamiento se deja para 2º de Bachillerato. $W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$

Signo del trabajo:

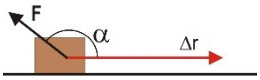
Si $0 < \alpha < 90^o$ → La fuerza (al menos una componente) va a favor del desplazamiento → $W > 0$



Si $\alpha = 90^o$ → La fuerza es perpendicular al desplazamiento → $W = 0$



Si $\alpha > 90^o$ → La fuerza (al menos una componente) va en contra del desplazamiento → $W < 0$



Trabajo total realizado sobre un cuerpo:

El trabajo total es la suma de los trabajo realizados por todas las fuerzas que actúen sobre el cuerpo ($W_{TOT} = \Sigma W$). O lo que es lo mismo, será igual al trabajo de la fuerza resultante que actúe sobre el cuerpo.

Potencia (P): Cuando calculamos el trabajo realizado por una fuerza aplicada a un cuerpo, tenemos en cuenta la fuerza y el desplazamiento, pero no el tiempo que se ha invertido en el desplazamiento. Así, una grúa, al levantar un peso de 1000 N una altura de 10 m, realiza un trabajo de 10000 J, independientemente de que tarde un minuto o tres horas en levantarlo. El gasto energético es el mismo, pero hay diferencias entre ambos casos. Esta diferencia se refleja con una magnitud denominada potencia. Indica la rapidez con la que se realiza la transferencia de energía. Una máquina que realice el mismo trabajo en menos tiempo tendrá una mayor potencia

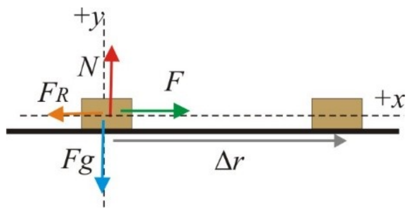
$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

Unidades en el S.I: J/s = vatio (W) kW = 10^3 W

Otras unidades: C.V (caballo de vapor) = 735 W

Ejemplos de cálculo de trabajo realizado:

A: Varias fuerzas actuando sobre un bloque en movimiento:
$m = 5\ kg,\ g = 9,8\ N/kg,\ \Delta r = 10\ m,\ F = 20\ N,\ \mu = 0,2$



$F = 20\ N$ $\qquad W_F = F \cdot \Delta r \cdot cos0^o = 200\ J$

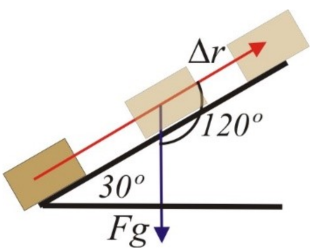
$Fg = m \cdot g = 49\ N$ $\qquad W_{Fg} = Fg \cdot \Delta r \cdot cos90^o = 0\ J$

$\Sigma Fy = 0 \rightarrow N - Fg = 0 \rightarrow N = 49\ N$ $\qquad W_N = N \cdot \Delta r \cdot cos90^o = 0\ J$

$F_R = \mu \cdot N = 9,8\ N$ $\qquad W_{FR} = F_R \cdot \Delta r \cdot cos180^o = -98\ J$

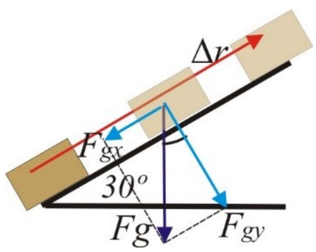
B: Trabajo de la fuerza gravitatoria: Subida y bajada por una pendiente. Dos formas posibles de cálculo.
Subida: Datos: $m = 2\ kg,\ g = 9,8\ N/kg,\ \Delta r = 3\ m$

Forma 1: Usando el ángulo entre Fg y Δr



$W_{Fg} = F_g \cdot \Delta r \cdot cos120º =$
$= m \cdot g \cdot \Delta r \cdot cos120º = -29,4\ J$

Forma 2: Descomponemos Fg



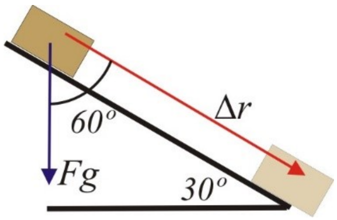
$$\begin{cases} F_{gx} = F_g \cdot sen30º = 9,8\ N \\ F_{gy} = F_g \cdot cos30º = 16,97\ N \end{cases}$$

Trabajo $\begin{cases} W_{Fgx} = F_{gx} \cdot \Delta r \cdot cos180º = -29,4\ J \\ W_{Fgy} = F_{gy} \cdot \Delta r \cdot cos90º = 0\ J \end{cases}$

$$W_{Fg} = W_{Fgx} + W_{Fgy} = -29,4\ J$$

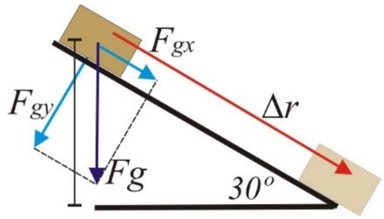
Bajada: (Los mismos datos que en el ejemplo anterior)

Forma 1: Usando el ángulo entre Fg y Δr



$W_{Fg} = F_g \cdot \Delta r \cdot cos60º =$
$= m \cdot g \cdot \Delta r \cdot cos60º = 29{,}4\ J$

Forma 2: Descomponemos Fg $\begin{cases} F_{gx} = F_g \cdot sen30º = 9{,}8\ N \\ F_{gy} = F_g \cdot cos30º = 16{,}97\ N \end{cases}$



Trabajo $\begin{cases} W_{Fgx} = F_{gx} \cdot \Delta r \cdot cos0º = 29{,}4\ J \\ W_{Fgy} = F_{gy} \cdot \Delta r \cdot cos90º = 0 \end{cases}$

$W_{Fg} = W_{Fgx} + W_{Fgy} = 29{,}4\ J$

Trabajo de todas las fuerzas: Teorema trabajo-energía cinética:

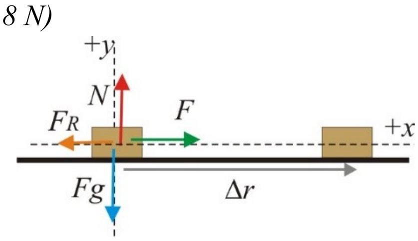
También llamado *teorema de las fuerzas vivas.*
"El trabajo total realizado sobre una partícula es igual a la variación de energía cinética que experimenta la partícula".

$$\boxed{W_{TOT} = \Delta Ec = Ec_f - Ec_i}$$

Este teorema, expuesto por primera vez por Leibniz en el s. XVII, permite estudiar el movimiento de los cuerpos desde el punto de vista de la energía, y es equivalente al segundo principio de la dinámica de Newton. El efecto de las fuerzas sobre los cuerpos es cambiar su movimiento. Pero es necesario estudiar el efecto de todas las fuerzas conjuntamente para conocer cómo cambiará el movimiento del sistema.

Vemos que Si el trabajo que realiza la fuerza es positivo → aporta energía cinética al cuerpo
Si el trabajo que realiza la fuerza es negativo → resta energía cinética al cuerpo
Si el trabajo que realiza la fuerza es cero → la fuerza no aporta ni resta energía al cuerpo

Si volvemos al ejemplo A de la página anterior: *($F = 20\ N$, $Fg = N = 49\ N$, $F_R = 9{,}8\ N$)*



$W_F = F \cdot \Delta r \cdot cos0^o = 200\ J$ · *F aporta 200 J de Ec al cuerpo*

$W_{Fg} = Fg \cdot \Delta r \cdot cos90^o = 0\ J$ · *Fg y N son perpendiculares a Δr,*

$W_N = N \cdot \Delta r \cdot cos90^o = 0\ J$ *no aportan ni restan energía.*

$W_{FR} = F_R \cdot \Delta r \cdot cos180^o = -98\ J$ · *El rozamiento resta 98 J de Ec*

En total: $W_{tot} = W_F + W_{Fg} + W_N + W_{FR} = 200\ J + 0 + 0 - 98\ J = 102\ J = \Delta Ec$ *La Ec del cuerpo aumenta en 102 J*

Trabajo de las fuerzas conservativas: variación de la energía potencial

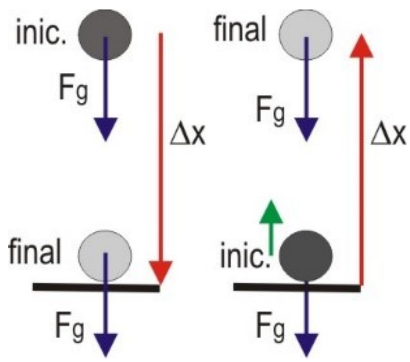
Habíamos visto anteriormente que la energía potencial (cualquiera de sus tres tipos: gravitatoria, elástica o eléctrica) era energía almacenada por el cuerpo cuando actuaba sobre él alguna fuerza conservativa (gravitatoria, elástica o eléctrica).

Una fuerza conservativa es aquella *fuerza para la que el trabajo que realiza no depende del camino seguido, sino sólo de los puntos inicial y final.*

Esto no ocurre con la mayoría de las fuerzas. cuando arrastramos una caja, por ejemplo, de una esquina a otra de la clase, el trabajo realizado (y la energía consumida) será diferente si la arrastramos en línea recta o si lo hacemos en una trayectoria curva dando vueltas por toda la clase. El rozamiento también hará un trabajo diferente.

Sin embargo, existen tres fuerzas en la Naturaleza que cumplen con esta propiedad: la fuerza gravitatoria, la fuerza elástica y la fuerza electrostática. El trabajo que realizan depende sólo de dónde empieza y dónde acaba el desplazamiento, no de lo que haya ocurrido en medio. Esto nos permite definir una energía (energía potencial) para el punto inicial y otra para el punto final.

Ahora bien. Cuando la fuerza conservativa aplicada realiza trabajo durante un desplazamiento del cuerpo, ¿cómo cambia la energía potencial almacenada? Lo veremos con algunos ejemplos:

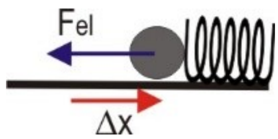


Supongamos una piedra a una cierta altura sobre el suelo. Decimos que, debido a la fuerza gravitatoria y a la altura, almacena energía potencial gravitatoria. Si se deja caer la piedra, la fuerza gravitatoria realizará un trabajo positivo (va a favor del desplazamiento) y hará aumentar la energía cinética de la piedra. ¿De dónde procede esa energía? Pues de la energía potencial almacenada. En ausencia de rozamiento, la energía potencial disminuye en la misma cantidad que aumenta la energía potencial gravitatoria. El trabajo positivo de la fuerza gravitatoria produce una disminución de la Energía potencial gravitatoria.

$W_{Fg} > 0 \rightarrow \Delta Ep_g < 0$

Si ahora lanzamos la piedra hacia arriba, una vez que la soltamos, la piedra irá cada vez más lento. La fuerza gravitatoria realiza un trabajo negativo, en contra del desplazamiento. Al subir, la energía potencial gravitatoria aumenta.

$W_{Fg} < 0 \rightarrow \Delta Ep_g > 0$



Otro ejemplo: Una bola se lanza contra un muelle horizontal, comprimiéndolo. Mientras se comprime, la fuerza elástica se opone al movimiento, realizando un trabajo negativo que resta energía cinética a la bola, hasta que se detiene. La energía elástica aumenta al comprimirse el muelle $W_{Fel} < 0 \rightarrow \Delta Ep_{el} > 0$

Posteriormente, el muelle se descomprime y la bola adquiere velocidad de nuevo. Ahora el trabajo que realiza la fuerza elástica es positivo, y la variación de energía elástica es negativa (disminuye) $W_{Fel} > 0 \rightarrow \Delta Ep_{el} < 0$

De todos estos ejemplos podemos deducir que la relación entre el trabajo realizado por una fuerza conservativa y la variación de su energía potencial asociada es la siguiente:

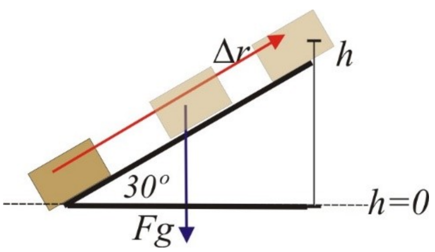
$$\boxed{W_{FC} = -\Delta Ep = Ep_i - Ep_f}$$

Ejemplos:

· Trabajo realizado por la fuerza gravitatoria usando la energía potencial. Subida y bajada por una pendiente.

Datos: $m = 2\ kg,\ g = 9{,}8\ N/kg,\ \Delta r = 3\ m,\ h = \Delta r \cdot sen30^o = 1{,}5\ m$

Subida: $h_i = 0\ m,\ h_f = h$



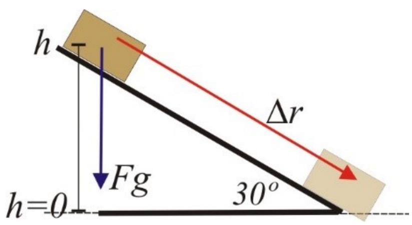
Fg es una fuerza conservativa:

$W_{Fg} = -\Delta Ep_g = Ep_{gi} - Ep_{gf} =$

$= mgh_i - mgh_f = 0 - 29{,}4 = -29{,}4\ J$

$29{,}4\ J$

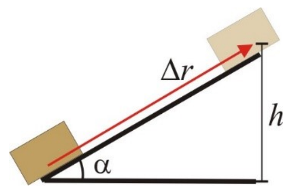
Bajada: $h_i = h,\ h_f = 0\ m$



Fg es una fuerza conservativa:

$W_{Fg} = -\Delta Ep_g = Ep_{gi} - Ep_{gf} =$

$= mgh_i - mgh_f = 29{,}4 - 0 =$

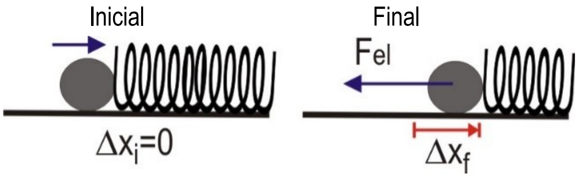


Relación entre altura y distancia recorrida por la pendiente

$h = \Delta r \cdot sen\alpha$

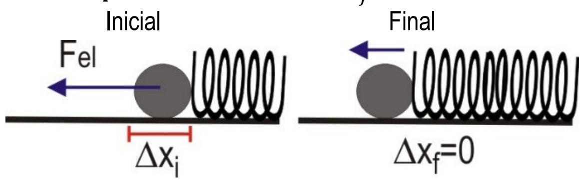
· Trabajo realizado por la fuerza elástica: compresión y descompresión de un muelle.
La fuerza elástica varía conforme se va estirando o comprimiendo el muelle. **No** podemos calcular el trabajo que realiza con la expresión $\cancel{W = F \cdot \Delta r \cdot \cos\alpha}$. Sin embargo, como es una fuerza conservativa, sí podemos aplicar $W_{Fel} = -\Delta Ep_{el}$

Compresión del muelle: $\Delta x_i = 0$



$W_{Fel} = -\Delta Ep_{el} = -(Ep_f - Ep_i) =$
$= -\left(\frac{1}{2}K\Delta x_f^2 - \frac{1}{2}K\Delta x_i^2\right) = -\frac{1}{2}K\Delta x_f^2 < 0$

Descompresión del muelle: $\Delta x_f = 0$



$W_{Fel} = -\Delta Ep_{el} = -(Ep_f - Ep_i) =$
$= -\left(\frac{1}{2}K\Delta x_f^2 - \frac{1}{2}K\Delta x_i^2\right) = \frac{1}{2}K\Delta x_i^2 > 0$

Trabajo de las fuerzas no conservativas. Conservación de la energía mecánica.

Como ya habíamos comentado, la energía mecánica de un cuerpo se definía como la suma de las energías cinética y potencial que posee dicho cuerpo.

$$E_M = Ec + Ep = Ec + (Ep_g + Ep_e + Ep_{el})$$

Cuando se produce un cambio en la energía mecánica de un cuerpo, esto será debido a que cambia alguna de las energías que la componen (energía cinética, potencial). Así: $\Delta E_M = \Delta Ec + \Delta Ep$

Pero, según hemos visto en apartados anteriores. $\Delta Ec = W_{TOT}$ $\Delta Ep = -W_{FC}$

Con lo cual, nos queda $\Delta E_M = W_{TOT} - W_{FC} = W_{FNC}$

Es decir*, son las fuerzas no conservativas aplicadas al cuerpo las que hacen que cambie su energía mecánica*.

$$\boxed{\Delta E_M = W_{FNC}}$$

Dicho de otra forma: *Si sobre un cuerpo actúan fuerzas no conservativas y éstas realizan trabajo, la energía mecánica del cuerpo variará*. Esas fuerzas no conservativas pueden hacer que la E_M aumente o disminuya. En ese último caso se dice que la fuerza es *disipativa* (p.e. el rozamiento)

Principio de conservación de la energía mecánica:

De lo anterior podemos extraer una nueva lectura, que se conoce como "principio de conservación de la energía mecánica".
Si sobre un cuerpo no actúan fuerzas no conservativas, o éstas no realizan trabajo, la energía mecánica del cuerpo se mantendrá constante $si \quad W_{FNC} = 0 \;\rightarrow\; \Delta E_M = 0 \;\rightarrow\; E_M = cte$.

Ejemplos de fuerza no conservativas:

En general, es no conservativa, lógicamente, cualquier fuerza que no sea conservativa (gravitatoria, elástica, eléctrica).
- Fuerzas aplicadas: Empujar, sostener, tirar de una cuerda (tensión)…
  · Aportan energía mecánica si van a favor del desplazamiento ($W > 0$)
  · Restan energía mecánica si van en contra del desplazamiento ($W < 0$)
  · No influyen en la E_M (ni aportan ni restan) si son perpendiculares al desplazamiento ($W = 0$)
- Normal: En un deslizamiento sobre una superficie, la normal es perpendicular al desplazamiento, por lo que el trabajo que realiza es nulo. Sí realizará trabajo en algunos casos concretos, como en un ascensor (la fuerza que sostiene e impulsa a las personas dentro del ascensor es la normal con el suelo del mismo)

Un caso especial: La Fuerza de rozamiento:
La fuerza de rozamiento es no conservativa. El trabajo que realiza en un desplazamiento entre dos puntos sí depende del camino seguido, en especial de la distancia recorrida. No hay, por tanto, una energía potencial asociada al rozamiento.

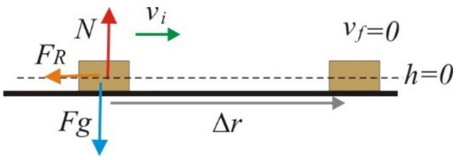
Cuando se produce un deslizamiento, el rozamiento se opone (va en sentido contrario, formando 180º con el desplazamiento), realizando un trabajo negativo ($W_{Froz} < 0$). Como consecuencia:

- El rozamiento contribuye a disminuir la energía cinética del cuerpo (resta Ec) $W_{tot} = \Delta Ec$

- Al ser una fuerza no conservativa, también resta energía mecánica al cuerpo ($W_{FNC} = \Delta E_M$), hace que la energía total del cuerpo disminuya. Disipa energía, que se va mediante calor al medio que le rodea, aumentando su energía térmica. Esto se conoce como degradación de la energía, ya que esa energía térmica es difícilmente aprovechable.

Se dice que el rozamiento es una fuerza *disipativa*. La energía disipada: $E_{disipada} = W_{FR}$

Ejemplo: Energía disipada por rozamiento al frenar un objeto.



Datos: *m = 5 kg, g = 9,8 N/kg, μ = 0,25, v_i = 10 m/s. v_f = 0 m/s*
Recorre Δr = 20,41 m hasta que se para (puede calcularse por cinemática).
Fuerza de rozamiento: $F_R = \mu \cdot N = \mu \cdot m \cdot g = 12{,}25\ N$
Trabajo de la fuerza de rozamiento: $W_{FR} = F_R \cdot \Delta r \cdot cos180º = -250\ J$

Esa es la energía disipada en forma de calor al medio. Vamos a ver que coincide con la pérdida de energía cinética.
$\Delta Ec = Ec_f - Ec_i = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = 0 - \frac{1}{2}mv_i^2 = -250\ J$
(Se cumple el teorema W-Ec ($W_{tot} = \Delta Ec$) ya que tanto la normal como el peso no realizan trabajo, al ser perpendiculares al desplazamiento)

También coindice con la pérdida de energía mecánica.
$E_{Mi} = Ec_i + Ep_{gi} = \frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i = 250\ J + 0 = 250\ J$
$E_{Mf} = Ec_f + Ep_{gf} = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f = 0 + 0 = 0\ J$
La variación de energía mecánica: $\Delta E_M = E_{Mf} - E_{Mi} = -250\ J$
(Se cumple la relación $W_{FNC} = \Delta E_M$

3. Transferencias de energía: Calor (Q).

Del calor sabemos hasta ahora que es una transferencia de energía, pero **no** es un tipo de energía. Los cuerpos **no** tienen calor (ni frío).

Cuando ponemos en contacto dos cuerpos que están a diferente temperatura, sabemos que el cuerpo a más temperatura se enfría y el cuerpo a menos temperatura se calienta, hasta que las temperaturas se igualan. Se llega entonces a lo que se conoce como equilibrio térmico. ¿Qué ha ocurrido con la energía? Se ha producido una transferencia desde el cuerpo a mayor temperatura (pierde energía) hasta el cuerpo a menor temperatura (gana energía). Se dice que se ha transferido calor desde el primer cuerpo hasta el segundo. La cantidad de energía intercambiada es el calor transferido.

Debe quedarnos claro que sólo podremos hablar de calor mientras se esté produciendo el intercambio de energía. Los cuerpos no tenían calor antes ni tendrán calor después.

Signo de Q:
- Cuando un cuerpo gana energía por intercambio de calor, se dice que el calor es absorbido, y su signo es positivo (Q> 0).
- Cuando un cuerpo pierde energía por intercambio de calor, se dice que el calor es desprendido, y su signo es negativo (Q< 0).

CALOR ESPECÍFICO	cal/g·ºC	J/kg·K
Agua (líquida)	1,00	4180
Agua (hielo)	0,5	2090
Acero inoxidable	0,12	510
Aceite de oliva	0,47	2000
Aire	0,24	1010
Aluminio	0,22	900
Alcohol etílico	0,59	2450
Cobre	0,09	376
Granito	0,19	800
Hierro	0,12	450
Madera	0,42	1760
Oro	0,03	130
Plata	0,06	240

Unidades de calor: al ser una transferencia de energía, sus unidades son las mismas que las de cualquier energía (J, cal...)

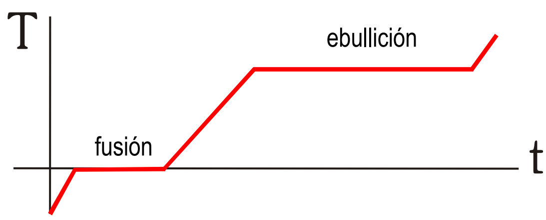
Relación calor- incremento de temperatura:
Al aportar calor a un cuerpo o extraer calor de este, su temperatura cambia. El hecho de que cambie más o menos depende de varios factores:

- Calor aportado o extraído: Q
- Cantidad de sustancia (masa del cuerpo): m

- Tipo de sustancia: esta influencia viene reflejada mediante una constante, llamada calor específico de la sustancia (c_e). Se define como la *cantidad de energía que hay que aportar a 1 g de sustancia para que su temperatura aumente en 1 ºC*. Se medirá en $\frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{g}\cdot{}^{o}\mathrm{C}}$, o ($\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K}}$ en el S.I.).

La expresión resultante, y que usaremos, es $Q = m \cdot c_e \cdot \Delta T \rightarrow Q = m \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)$

Cambios de estado: calor latente



Supongamos un trozo de hielo que está, por ejemplo, a –10ºC. Lo vamos calentando uniformemente. Lógicamente, la temperatura del hielo comenzará a subir, hasta llegar a 0ºC. ¿Qué ocurre entonces?

A la presión atmosférica normal (1 atm), el hielo comenzará a fundirse al llegar a 0ºC. Sin embargo, mientras cambia de estado, la temperatura no sigue subiendo, permanece constante en 0ºC. Una vez que toda la sustancia se ha vuelto líquida, la temperatura volverá a subir de 0ºC.

Analizando este proceso de fusión, vemos que hemos estado aportando energía al hielo sin que aumente su temperatura ¿En qué se invierte esta energía? Pues precisamente en el cambio de estado. Las moléculas del hielo están fuertemente unidas, y hay que aportar energía para romper estas uniones y dar libertad de movimiento a las moléculas, con lo que obtendríamos un líquido.

Cuando el líquido llega a su temperatura de ebullición, el proceso es similar. Hay que suministrar energía a las partículas del líquido para que rompan totalmente sus uniones y escapen a la atmósfera. Durante este proceso, la temperatura también se mantiene constante.

Calor latente de fusión (L_f):

La cantidad de energía (el calor) que hay que aportar a la unidad de masa de una sustancia para que cambie de estado, habiendo alcanzado su T.F, se denomina **calor latente de fusión (L_f)**. Sus unidades serán $\frac{J}{kg}$ o $\frac{cal}{g}$. Cada sustancia tiene su propio L_f.

(Naturalmente, aportando energía, calentando, conseguiremos que pase de sólido a líquido. Para el proceso inverso, de líquido a sólido, la cantidad de energía es la misma, pero el calor debe ser extraído, y tendrá signo negativo).

Así, el calor intercambiado en el proceso de fusión será $Q = m \cdot L_f$ de sólido a líquido

$Q = -m \cdot L_f$ de líquido a sólido

Calor latente de ebullición (vaporización) (L_v):

El concepto es el mismo que hemos visto para la fusión, pero referido a la ebullición. Se representa por L_v, se mide en las mismas unidades que L_f, y es propio de cada sustancia (para una misma sustancia L_f y L_v no coinciden)

Así, el calor intercambiado en el proceso de ebullición será $Q = m \cdot L_v$ de líquido a gas

$Q = -m \cdot L_v$ de gas a líquido

Para el agua: $L_f = 3{,}36 \cdot 10^5$ J/kg $L_v = 2{,}26 \cdot 10^6$ J/kg

4. Conservación y degradación de la energía. Primer principio de la termodinámica:

Hemos estudiado que en cualquier transformación, un cuerpo pierde energía de algún tipo, y otro (o el mismo cuerpo) gana energía. En total, si tenemos en cuenta todas las transformaciones, la energía total permanece constante (se conserva).

Por ejemplo, un vaso de agua caliente que se deja al aire, con el tiempo, acabará enfriándose, y quedándose con la misma temperatura que el ambiente. El agua ha perdido energía interna, y el aire del exterior ha ganado la misma cantidad de energía.

Otro ejemplo, un automóvil frena hasta detenerse. Pierde la energía cinética que tenía cuando estaba en movimiento. ¿Qué cuerpos han ganado energía? Pues los discos de freno, el suelo y el aire han ganado energía interna debido al rozamiento. Se dice que han disipado energía.

Otro. Una linterna encendida. Inicialmente la pila almacena energía eléctrica, que se transforma en energía cinética de los electrones que se desplazan por el circuito, y que en la bombilla se transforma en energía luminosa, y, la mayor parte, en energía interna del filamento y del ambiente. En total, la energía no ha desaparecido.

Degradación de la energía:

Podríamos poner muchos más ejemplos con diferentes fuentes de energía. Siempre tendremos que la energía total se conserva (no aparece ni desaparece). Ahora bien, todos los procesos anteriores tienen algo en común. Finalmente, la energía acaba pasando al medio ambiente, calentándolo (aumenta su energía interna). En esa forma, ya no es aprovechable (la energía eléctrica almacenada puede aprovecharse en múltiples usos, la energía interna de un combustible también, incluso la energía potencial gravitatoria o la energía cinética). Se dice que la energía ha "perdido calidad", se ha degradado. La cantidad es la misma, pero no nos es útil. Esta degradación de la energía es un hecho inevitable, y constituye uno de los principios fundamentales de la Física.

Primer principio de la termodinámica

Estamos viendo constantemente a lo largo del tema que siempre que en un sistema aumenta un tipo de energía, es porque por otra parte disminuye otro tipo de energía (o del mismo tipo en otro cuerpo). En toda transformación, la cantidad total de energía va a ser constante.

Esto es un principio general de la física. No se deduce de otras leyes, pero lo comprobamos permanentemente.

Si aplicamos este principio a los intercambios de energía que puede realizar un sistema, vemos que dicho sistema puede intercambiar energía con el medio, tanto en forma de calor (Q) como en forma de trabajo (W), realizado por las diferentes fuerzas que actúen sobre él. Estos intercambios hacen que varíe la energía interna (U) del sistema. De este modo

$$\Delta U = Q + W$$ (esta expresión se debe a Rudolf Clausius, en 1850)

$Q > 0$ El sistema gana energía en forma de calor.
$Q < 0$ El sistema pierde energía en forma de calor.

$W > 0$ Trabajo de compresión (aporta energía al sistema)
$W < 0$ Trabajo de expansión (extrae energía del sistema)

- Un **sistema abierto** es aquel que puede intercambiar tanto materia como energía con el medio. (Un gas en un recipiente abierto).
- Un **sistema cerrado** es aquel que no intercambia materia con el medio, pero sí puede intercambiar energía. Por ejemplo, un gas en un recipiente flexible cerrado.
- Un **sistema aislado** es aquel que no intercambia materia ni energía con el medio (un gas en un recipiente rígido térmicamente aislado). Podemos considerar el Universo como un sistema perfectamente aislado, ya que no tiene un entorno con el que intercambiar materia ni energía.

Una de las conclusiones más importantes que podemos sacar del primer principio, es que la energía interna de un sistema aislado no cambia, es decir, permanece constante (se conserva). Un sistema aislado es el que no permite el cambio de energía ni de materia, lo importante es que al no cambiar energía el calor y el trabajo son cero y por tanto:

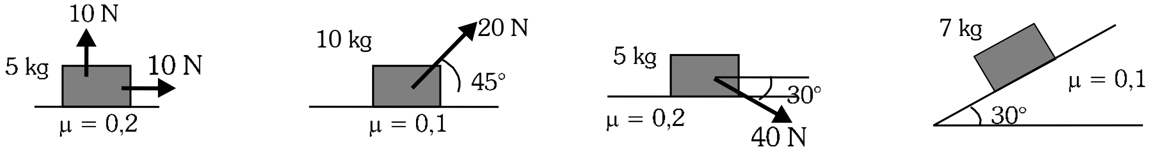
$$\mathbf{\Delta U = Q + W = 0 \Rightarrow U \equiv constante}$$

Cuestiones numéricas: (en todas las cuestiones en que sea necesaria, considere g = 9,8 N/kg)

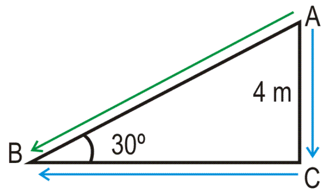
Trabajo:

1. Empujamos horizontalmente una caja de 20 kg, arrastrándola 10 m por el suelo. Teniendo en cuenta que la fuerza aplicada es de 51 N, y que el coeficiente de rozamiento es de 0,25, calcule razonadamente:
a) El trabajo realizado por cada una de las fuerzas que actúan sobre la caja.
b) La velocidad que adquiere la caja.

2. Calcule razonadamente el trabajo realizado por cada una de las fuerzas que actúan sobre los diferentes cuerpos, el trabajo total realizado sobre cada cuerpo, y la velocidad que adquiere cada uno, cuando recorren una distancia sobre la superficie de 0,5 m.



3. Bajamos una caja de 10 kg desde un piso (A) hasta el punto B en el suelo de dos formas diferentes: 1) Descolgándola con una cuerda hasta el suelo (C) y luego arrastrándola horizontalmente. 2) Deslizando la caja por una rampa inclinada 30º. Calcular el trabajo realizado por la fuerza peso por cada uno de los caminos seguidos. ¿Es lógico el resultado obtenido? Razonar.



4. Dejamos caer en caída libre una piedra de 2 kg, desde una altura de 20 m. Despreciamos el rozamiento con el aire. Calcule razonadamente:
a) Trabajo realizado por la fuerza gravitatoria.
b) Variaciones de Ep_g y Ec.
c) Velocidad con la que llega la piedra al suelo.

5. Un bloque de 4 kg desliza 10 m cuesta arriba por una pendiente inclinada 20º, y luego vuelve a deslizar pendiente abajo. Calcule razonadamente el trabajo que realiza la fuerza gravitatoria en la subida y en la bajada de tres formas distintas.

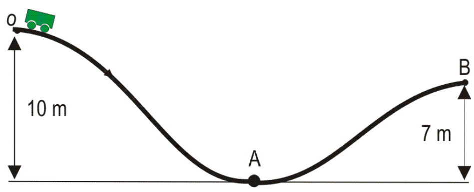
6. Lanzamos un objeto de 2 kg, de forma que asciende deslizando por una pendiente inclinada 15º, recorriendo 5 m por la misma. El coeficiente de rozamiento del cuerpo con la pendiente es de 0,3. Calcule razonadamente:
a) Trabajo realizado por las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.
b) Altura que alcanza el objeto, medida desde el inicio de la pendiente.
c) Velocidad con la que se lanzó el objeto inicialmente.

7. Un bloque de 5 kg desliza con velocidad constante por una superficie horizontal mientras se le aplica una fuerza de 10 N, paralela a la superficie.
a) Calcule la fuerza de rozamiento y el coeficiente de rozamiento con la superficie.
b) Razone cómo varían las energías cinética, potencial gravitatoria y mecánica durante el desplazamiento.

8. Un trineo de 100 kg parte del reposo y desliza hacia abajo por la ladera de una colina de 30º de inclinación respecto a la horizontal. considerando que no existe rozamiento, calcule razonadamente, para un desplazamiento de 20 m, la variación de sus energías cinética, potencial y mecánica, así como el trabajo realizado por la fuerza gravitatoria

9. Se lanza un bloque con una velocidad de 5 m s^{-1} deslizando hacia arriba por una pendiente inclinada 30º, y con un coeficiente de rozamiento de 0,25. Calcule razonadamente, usando conceptos energéticos, la altura máxima que alcanza el objeto.

10. ¿Qué velocidad tendrá un vagón de una montaña rusa sin rozamiento en los puntos A y B de la figura, si el carrito parte de O con v_0 = 0 m/s?



11. Se lanza un cuerpo por un plano horizontal con una velocidad de 6 m s^{-1}. Si μ = 0,3 ¿Qué distancia recorrerá el cuerpo hasta que se pare? Resolver la cuestión al menos de dos formas diferentes

12. Un bloque de 5 kg se desliza por una superficie horizontal lisa con una velocidad de 4 m/s y choca con un resorte de masa despreciable y K = 800 N/m, en equilibrio y con el otro extremo fijo. Calcule razonadamente cuánto se comprime el resorte.

13. Un muelle de constante elástica 250 N m^{-1}, horizontal y con un extremo fijo, está comprimido 10 cm. Un cuerpo de 0,5 kg, situado en contacto con su extremo libre, sale despedido al liberarse el muelle. Sabiendo que el coeficiente de rozamiento del cuerpo con el suelo es de 0,2, calcule razonadamente la distancia que recorre el cuerpo hasta que se para.

Calor:

14. Disponemos de 1000 g de cobre a 25 ºC.
a) ¿Cuánto calor habrá que comunicar para pasarlos a 200ºC?
b) ¿Cuánto calor se desprenderá si, desde esa temperatura se enfrían hasta 75ºC?

15. Mezclamos 300 g de agua a 20ºC con medio litro de agua a 60ºC. ¿Cuál será la temperatura final de la mezcla?

16. Mezclamos medio kg de hierro a 550ºC con un litro de agua a 20 ºC. ¿Cuál será la temperatura final de la mezcla?

17. a) Calcula el calor necesario para fundir un bloque de hielo de 500 g y que se encuentra a 0ºC.
b) Al enfriar el vapor de agua contenido en un recipiente se obtienen 100 g de agua líquida ¿ha ganado o desprendido energía? ¿Qué cantidad? Razonar.

18. Calcula el calor necesario para convertir en vapor de agua a 100ºC una masa de hielo a 200 g que se encuentra a una temperatura de -15ºC.

Soluciones a las cuestiones numéricas:

1. a) W_F = 510 J ; W_{Fg} = W_N = 0 J; W_{FR} = -490 J ; b) 1,41 m s^{-1}
2. a) W_{F1} = 5 J ; W_{F2} =W_{Fg} = W_N = 0 J; W_{FR} = - 3,9 J ; v = 0,66 m s^{-1}
   b) W_F = 7,07 J ; W_{Fg} = W_N = 0 J; W_{FR} = - 4,2 J ; v = 0,76 m s^{-1}
   c) W_F = 17,32 J ; W_{Fg} = W_N = 0 J; W_{FR} = - 6,9 J ; v = 2,04 m s^{-1}
   d) W_{Fg} = 17,15 J ; W_N = 0 J; W_{FR} = - 2,97 J ; v = 2,01 m s^{-1}
3. 392 J por ambos caminos
4. a) W_{Fg} = 392 J ; b) ΔEp_g = -392 J ; ΔEc = 392 J ; c) 19,8 ms^{-1}
5. Subida: -13,41 J; bajada: 13,41 J
6. a) W_{Fg} = - 25,36 J ; W_N = 0 J; W_{FR} = -28,4 J ; b) 1,29 m ; c) 7,33 ms^{-1}
7. a) F_R = 10 N ; μ = 0,204 ; b) Todas las energías se mantienen constantes.
8. ΔEc = 10000 J , ΔEp_g = - 10000 J ΔE_M = 0 J , W_{Fg} = 10000 J
9. 0,89 m
10. v_A= 14,14 m/s ; v_C = 7,74 m/s
11. 6 m
12. 0,31 m
13. 1,28 m
14. a) 15750 cal = 65835 J ; b) - 11250 cal = - 47025 J
15. 45ºC
16. 50 ºC
17. a) 168 kJ ; b) 2,26 $\cdot 10^5$ J
18. 519,22 kJ