

En unidades didácticas anteriores has podido comprobar cómo el movimiento y las fuerzas están profundamente relacionados. El enfoque tomado fue estudiar la evolución de los sistemas dinámicos en función del tiempo; sin embargo, esta no es siempre la manera más útil y sencilla de enfrentarse a un problema mecánico.

Muchas veces resulta más conveniente estudiar la relación entre las fuerzas que actúan sobre el sistema y los cambios producidos en él por las mismas. Esta aproximación exige la definición de una nueva magnitud, que llamaremos **energía**, relacionada con la capacidad que tienen los sistemas mecánicos para producir cambios en otros sistemas con los que interaccionan.

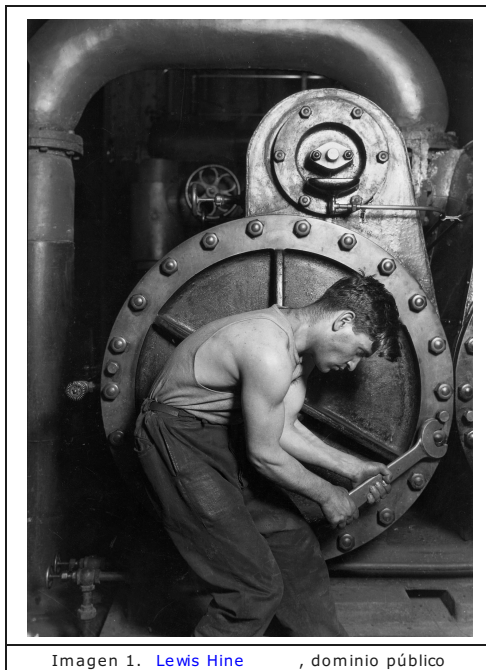


Imagen 1. [Lewis Hine](#), dominio público

Este tema introducirá el concepto de trabajo de una fuerza, que se identificará como energía "en tránsito", relacionándolo con conceptos como la potencia y el rendimiento de las máquinas que lo realizan.

Finalmente estudiarás qué se entiende por energía mecánica, su ley de conservación y cuándo puede aplicarse y cuándo no.

Todo ello te permitirá resolver, a partir del estudio de las transferencias de energía producidas, problemas que no podrían ser resueltos de forma sencilla mediante las leyes de la mecánica.

## 1. Trabajo y energía



En casos simples como los vistos en la Unidad Didáctica 2, en la que estudiaste la dinámica, resultaba sencillo predecir el comportamiento del sistema a partir de sus ecuaciones de movimiento y las leyes de Newton. Desgraciadamente, las fuerzas que gobiernan nuestro Universo no son siempre tan sencillas, ya que se trata generalmente de fuerzas cuyo valor depende de la posición; además, los sistemas dinámicos reales están formados por numerosos componentes a los que habría que aplicar este tratamiento, complicando extraordinariamente su resolución.



Imagen 2. [Rick Dikeman](#), Creative commons

Para salvar estas dificultades se introduce el concepto de energía, que está relacionada con la capacidad de un sistema dinámico para producir transformaciones en otros cuerpos. Esta energía puede transmitirse entre los sistemas de dos formas:

- Mediante la realización de trabajo, que estudiarás en este primer tema.
- Mediante el intercambio de energía calorífica (calor), que verás en el segundo tema.

Al buscar en el diccionario, impreso o en un sitio web, la palabra trabajo obtendrás distintas acepciones, tales como "*acción y efecto de trabajar*", "*esfuerzo humano aplicado a la producción de riqueza*" o "*dificultad, impedimento*". El concepto físico de trabajo, aunque parecido, no se corresponde exactamente con esta definición, ya que en el lenguaje suele confundirse el hecho de realizar un esfuerzo con hacer un trabajo.

De hecho, para que una fuerza realice un trabajo es necesario que produzca algún tipo de transformación mecánica, y ésta siempre lleva asociada un desplazamiento. Por lo tanto, es necesario que exista un desplazamiento efectivo para poder hablar

de trabajo.

## Reflexiona

Cita algún ejemplo en el que la realización de un esfuerzo no lleve asociado la realización de trabajo físico.

**Pulse aquí**

## 1.1 Trabajo mecánico



Como has visto en el apartado anterior, para que se produzca trabajo es necesario que exista una fuerza que provoque un desplazamiento a un sistema o parte del mismo.

Por lo tanto, para definir matemáticamente el trabajo se necesita una fuerza  $F$  que actúe sobre un cuerpo produciendo un desplazamiento de su punto de aplicación  $\Delta r$  sobre una superficie horizontal, de forma que el desplazamiento sea rectilíneo. En el caso general de que la dirección de la fuerza forme un ángulo  $\alpha$  respecto a la dirección de desplazamiento, el esquema de la situación será tal y como se representa en la siguiente figura:

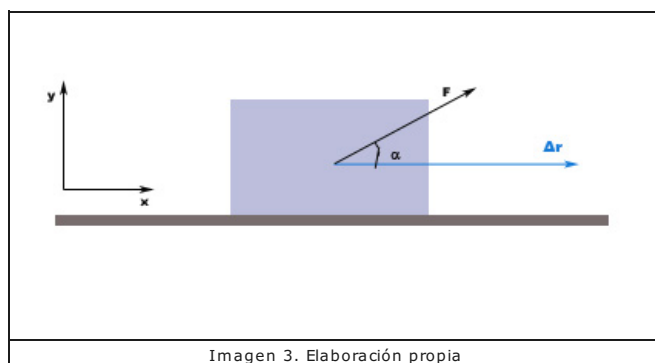


Imagen 3. Elaboración propia

Debido a que únicamente la componente de la fuerza que provoca movimiento realiza trabajo, en este caso la componente sobre el eje  $x$ , el trabajo mecánico realizado dependerá sólo de ella y podremos enunciar la definición de trabajo mecánico:

### Importante

Se denomina **trabajo mecánico ( $W$ )** realizado por una fuerza  $F$  que actúa sobre un cuerpo, al producto escalar de la fuerza ( $F$ ) por el desplazamiento ( $\Delta r$ ) experimentado.

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

La unidad de trabajo en el Sistema Internacional es el **Julio (J)**, definida como el trabajo realizado por una fuerza de 1 N cuando su punto de aplicación se desplaza 1 m en la misma dirección y sentido que la propia fuerza ( $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ )

De la definición anterior puede deducirse que:

- Cuando la fuerza aplicada tiene la misma dirección y sentido que el desplazamiento, ayuda al movimiento (acelera) y el ángulo entre ambas es menor que  $90^\circ$ ; por lo tanto  $\cos \alpha > 0$  y el trabajo es positivo ( $W > 0$ )
- Si la fuerza aplicada tiene igual dirección pero sentido contrario al desplazamiento, se opone al movimiento (frena) y el ángulo entre ambas es mayor que  $90^\circ$ ; por lo tanto  $\cos \alpha < 0$  y el trabajo es negativo ( $W < 0$ )
- Cuando la fuerza es perpendicular al desplazamiento  $\alpha = 90^\circ$ , entonces  $\cos \alpha = 0$  y  $W = 0$ .

Por lo tanto, **una fuerza perpendicular al movimiento no realiza trabajo**.

Sobre un objeto de masa 5 kg que está en reposo y situado en una superficie horizontal sin rozamiento se aplica una fuerza de 25 N que forma un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. Bajo la acción de esta fuerza el objeto se desplaza 10 m en la dirección de la fuerza.

El diagrama de fuerzas que actúan lo tienes representado en la imagen.

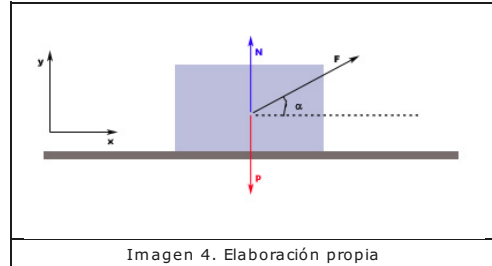


Imagen 4. Elaboración propia

a) Determina el trabajo realizado por cada una de las fuerzas.

**Mostrar retroalimentación**

b) Si se cambia la superficie por otra de coeficiente dinámico de rozamiento  $\mu_{di} = 0.3$ , ¿cuál será el trabajo realizado por cada una de las fuerzas? ¿Y el trabajo total realizado sobre el objeto?

**Mostrar retroalimentación**

## Actividad

Cuando sobre un cuerpo actúa más de una fuerza de forma simultánea, el trabajo realizado por la fuerza resultante, suma vectorial de todas ellas, es igual a la suma de los trabajos realizados por cada una de ellas por separado.

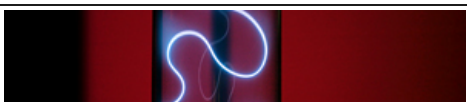
Comprueba la afirmación anterior con los datos del apartado b) del ejercicio anterior.

**Mostrar retroalimentación**

Imagina que quieres desplazar 2 metros un objeto tirando de él y realizando la mínima fuerza posible. Con qué ángulo lo harías?

**Pulse aquí**

## 1.2 Concepto de energía



Todos hemos oído hablar de la energía: ésta puede suministrarse, perderse, transformarse e incluso agotarse. Ahora bien, si pedimos una definición de la misma, es difícil que se dé una definición clara; el concepto físico de energía es relativamente moderno y complejo.

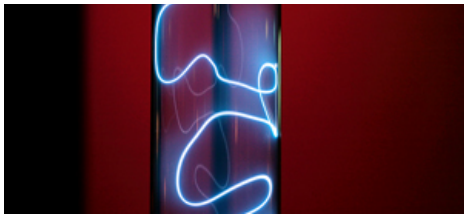


Imagen 5. Kurt Salzmann , Creative Commons

Históricamente, se comienza a hablar de energía por parte del físico inglés T. Young a principios del s. XIX como la capacidad de un sistema para realizar un trabajo. Esta definición se realiza a partir de los experimentos de este científico que demostraron que, cuando se realizaba un trabajo mecánico sobre un sistema, la energía del mismo aumentaba.

Así, cuando un objeto era capaz de realizar trabajo, contenía energía. Esta relación entre trabajo y energía implicaba que se trataba de la misma magnitud, y que por tanto debía medirse en las mismas unidades. Pero pronto se comprobó que un sistema no ganaba ni perdía energía únicamente mediante la realización de un trabajo mecánico, sino que también podía hacerlo a través de intercambios de calor con el entorno, por lo que unas décadas después el alemán H. Helmholtz definió la energía como "Una

propiedad que se manifiesta en las transformaciones que ocurren en la naturaleza".

Actualmente se acepta la definición de energía como:

## Actividad

**Energía** es la capacidad de un sistema o cuerpo para producir transformaciones en otros cuerpos o sobre sí mismo.

La energía se mide en Julios, igual que el trabajo.

Existen distintos tipos de energía, pero todas ellas verifican una serie de características comunes:

- **La energía se transfiere** . La energía se presenta en formas diversas, y en un proceso de cambio puede transformarse de una forma a otra y entre los cuerpos intervinientes.
- **La energía se conserva en todos los procesos** . Aun cuando la energía se transfiera en un proceso, la cantidad total existente es siempre constante. En otras palabras: "La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma".
- **La energía se degrada** . No toda la energía es igualmente aprovechable: mientras que podemos utilizar prácticamente toda la energía almacenada en una batería para hacer funcionar nuestro teléfono móvil, al quemar unas ramas de madera únicamente una pequeña fracción puede aprovecharse de forma útil. Mientras que muchas formas de energía pueden transformarse íntegramente en energía térmica, la energía térmica no puede transformarse sino en pequeños porcentajes en otros tipos de energía. Por ello se puede decir que la energía térmica es un tipo de energía degradada. El estado de degradación de una energía a nivel microscópico tiene que ver con el movimiento ordenado o no de las partículas que componen el sistema: cuanto más ordenado sea, más sencillo será convertir dicha energía en algún tipo útil.

Por tanto, la calidad de una forma de energía puede evaluarse como la capacidad que presenta para realizar trabajo.

## Curiosidad

La física moderna ha demostrado que energía y materia están íntimamente relacionadas; de hecho, ambas son distintas manifestaciones de un mismo concepto, pudiéndose convertir materia en energía y viceversa.

Fue Albert Einstein quien estableció la famosa ecuación que las relaciona:

$$E = m \cdot c^2$$

en la cual E es la energía, m la masa y c la velocidad de la luz en el vacío, que es constante e igual a 300000 km/s ( $3 \cdot 10^8$  m/s).

Una consecuencia de esta relación es la posibilidad de obtener grandes cantidades de energía a partir de los procesos nucleares, como las reacciones de fisión (centrales nucleares) y de fusión (estrellas, bombas nucleares), en las que existe una pérdida de masa que se transforma en energía.

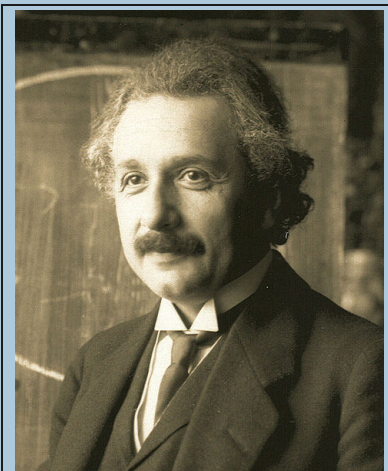


Imagen 6. Smutzer , dominio público

Si dejamos botar una pelota de baloncesto ¿por qué alcanza menos altura en cada uno de los botes?

**Pulse aquí**

## 2. Potencia y rendimiento



En un mundo tecnológico como en el que vivimos, las máquinas realizan fácilmente cualquier trabajo, incluidos algunos que serían imposibles de realizar por seres humanos.

Además, estas máquinas son tanto más **potentes** cuanto menor sea el tiempo que emplean en realizar un mismo trabajo.



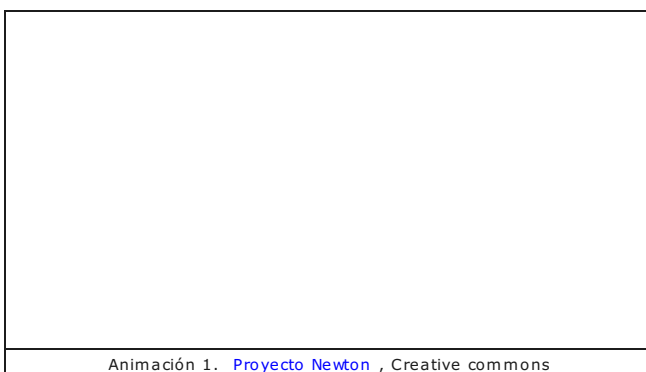
Imagen 7. NASA , dominio público

Imagina el caso del lanzamiento de un cohete espacial: el trabajo necesario para vencer la fuerza de la gravedad y conseguir escapar del campo gravitatorio terrestre es muy grande, ya que se trata de mecanismos de muchísimas toneladas de masa. El lugar del lanzamiento y la "ventana" horaria para hacerlo son estudiados cuidadosamente para minimizar los tiempos de viaje y el consumo de combustible.

Llevando estos parámetros al estudio energético que afrontamos en este tema, son dos conceptos físicos involucrados:

1) La **potencia** : relaciona el trabajo con el tiempo necesario para realizarlo. En este caso, cuanto menos tarde el cohete en cumplir su misión, menos riesgos existen de que algo salga mal y antes se pone en valor su misión. Además, los motores que lo propulsan deben tener la suficiente potencia como para permitir su despegue.

2) El **rendimiento** : que relaciona el trabajo realizado con el máximo teórico que, en términos energéticos, podría obtenerse. Como cualquier motor, los cohetes necesitan combustible. Cuanto más trabajo por unidad del mismo puedan obtener, menor cantidad de combustible será necesaria, con lo que se consigue un triple objetivo: es necesario elevar menos peso, ya que los depósitos no deben ser tan grandes, ahorro económico y, finalmente y no por ello menos importante, reducir las emisiones nocivas al medio ambiente.



Animación 1. Proyecto Newton , Creative commons

### 2.1 Potencia



Cuando nos planteamos la compra de un automóvil, uno de los factores que se tienen en cuenta para su elección es la potencia de su motor, que condiciona tanto su uso (arrastre de remolques, facilidad en los adelantamientos, etc...) como su coste (los impuestos varían en función de la potencia fiscal, directamente relacionada con ésta). En las competiciones del motor, la mayor parte de las veces las diferencias de potencia entre los vehículos participantes marcan la diferencia en el resultado de la carrera. Pero, ¿qué entendemos por potencia?

Ya se ha indicado que para cualquier máquina en general no sólo es importante que pueda realizar un determinado trabajo sino que además éste debería poder realizarse en el mínimo tiempo posible. En otras palabras, resulta más importante conocer la rapidez con la que se transfiere la energía que la magnitud de ésta.

La potencia se introduce para poder comparar la rapidez con la que las máquinas realizan un mismo trabajo; así, un motor más potente será capaz de acelerar más rápidamente un vehículo que otro menos potente y será por tanto considerado más eficaz.



Imagen 8. Mepsyd , uso educativo

## Actividad

La magnitud que mide la rapidez con que se transfiere la energía se denomina **Potencia ( P )**.

La potencia se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo:

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

La unidad de potencia en el Sistema Internacional es el **vatio ( W )**, correspondiente a la realización del trabajo de 1 Julio en 1 segundo.

Dado que el vatio es una unidad demasiado pequeña como para resultar útil para expresar potencias habituales, se utilizan múltiplos de la misma, como el kilovatio (1 kW = 1000 W) o el megavatio (1 MW = 10<sup>6</sup> W).

Otra unidad de uso habitual en motores es el caballo de vapor (CV), siendo la equivalencia 1 CV = 735 W.

## Para saber más

El consumo eléctrico, mostrado en la factura que nos envía la compañía eléctrica todos los meses, se indica en kilovatios-hora (kW·h).

Un error que se comete habitualmente es referirse a este dato como la potencia consumida, cuando realmente se trata de una medida de la energía consumida.

El kilovatio-hora es una unidad de trabajo, cuya equivalencia en julios puede calcularse fácilmente:

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{s} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Existe una forma alternativa de escribir la potencia en función de la velocidad. Para calcularla, basta recordar cómo se definieron las magnitudes trabajo ( $W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r}$ ) y velocidad ( $\vec{v} = \Delta \vec{r} / \Delta t$ ) y operar sobre la definición de potencia como sigue:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\vec{F} \cdot \Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{F} \cdot \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Esta relación es válida para cualquier objeto en movimiento.

Un ascensor eleva verticalmente objetos en un edificio a una altura de 20 m.

a) Calcula la potencia desarrollada por el ascensor al subir una persona de 75 kg en 10 s.

**Mostrar retroalimentación**

b) Con el valor de potencia del apartado anterior, ¿cuánto tardaría el ascensor en subir una masa de 300 kg?

**Mostrar retroalimentación**

c) ¿Qué potencia sería necesaria para elevar esos 300 kg en 15 s?

**Mostrar retroalimentación**



Imagen 9. [Peregrine981](#), Creative commons



## Reflexiona



Imagen 10. Hawk, dominio público

Una motocicleta circula a 90 km/h por una carretera llana. Si la fuerza realizada por el motor es de 750 N, ¿cuál es la potencia desarrollada por el motor?

**Pulse aquí**

## 2.2 Rendimiento de una máquina



Hasta ahora se han tratado casos ideales, en los cuales no se producían pérdidas de energía. En las máquinas reales la transformación de la energía consumida no se realiza de forma íntegra en trabajo útil. Esto se debe, sobre todo, a la existencia de fuerzas de rozamiento, ya sea entre las partes constituyentes de la máquina o con el ambiente que la rodea.

Dado que se trata de pérdidas energéticas, se verificará siempre que el trabajo útil será menor que la energía suministrada, y esta energía disipada lo hará en forma de calor no aprovechable, como verás en el tema 2 de esta unidad.

El rendimiento de una máquina se define como:

### Importante

Se denomina **rendimiento** ( $\eta$ ) de una máquina al cociente entre el trabajo útil que proporciona y la energía que se le ha suministrado. Este rendimiento suele expresarse en tanto por ciento:

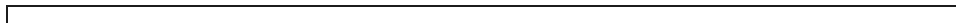
$$\eta = \frac{\text{trabajo-útil}}{\text{energía-suministrada}} \cdot 100$$

Análogamente es posible expresarlo como la relación entre la potencia útil y la potencia teórica de la máquina:

$$\eta = \frac{\text{potencia-útil}}{\text{potencia-teórica}} \cdot 100$$

Dado que, como se ha señalado la energía suministrada siempre será mayor que el trabajo útil obtenido, el rendimiento siempre será menor del 100% y su valor estará comprendido entre 0% (cuando toda la energía sea **disipada** y no se obtenga ningún trabajo) y 100% (si la conversión es total y toda la energía se transforma en trabajo). En la vida real una máquina que realice trabajo con un rendimiento del 100% no es posible, pues siempre se producen pérdidas por disipación de calor.

Observa la siguiente animación en la que se explica el rendimiento en un proceso simple: elevar un cubo de agua de un pozo:



Animación 2. [Proyecto Newton](#) , Creative commons

En ella se explica detalladamente las variables asociadas al rendimiento del proceso.



Imagen 11. [Mepsyd](#) , uso educativo



Imagen 12. [Mepsyd](#) , uso educativo

Los valores del rendimiento de los distintos tipos de máquinas son muy variables, dependiendo fundamentalmente del tipo de máquina que consideremos. Por ejemplo:

- Un motor eléctrico: 75%
- Un motor de gasolina: 27%
- Una máquina de vapor: 5%
- Una bombilla incandescente: 5%
- Un fluorescente: 20%
- Una pila alcalina: 90%

Un depósito elevado de capacidad  $1000 \text{ m}^3$  se llena con agua de un canal situado 20 m por debajo de la boca de entrada del agua del depósito.

a) Calcula la potencia de la bomba necesaria para llenar el depósito en 15 horas.

**Mostrar retroalimentación**

b) Si en las especificaciones de la bomba escogida se indica que tiene un rendimiento del 75%, ¿qué potencia real deberá tener





para que cumpla su función?

**Mostrar retroalimentación**



Imagen 13. William Grimes, dominio público

El motor de una grúa eleva con velocidad constante bloques de piedra de 200 kg a una altura de 15 m en 10 s.

Determina el rendimiento del motor si el catálogo indica que su potencia es de 6 CV.

**Pulse aquí**

### 3. Energía mecánica



No hace falta explicar que existen distintas fuentes de energía; en nuestro planeta la mayor parte de ellas provienen del sol de una u otra manera, como puedes comprobar en el siguiente esquema:

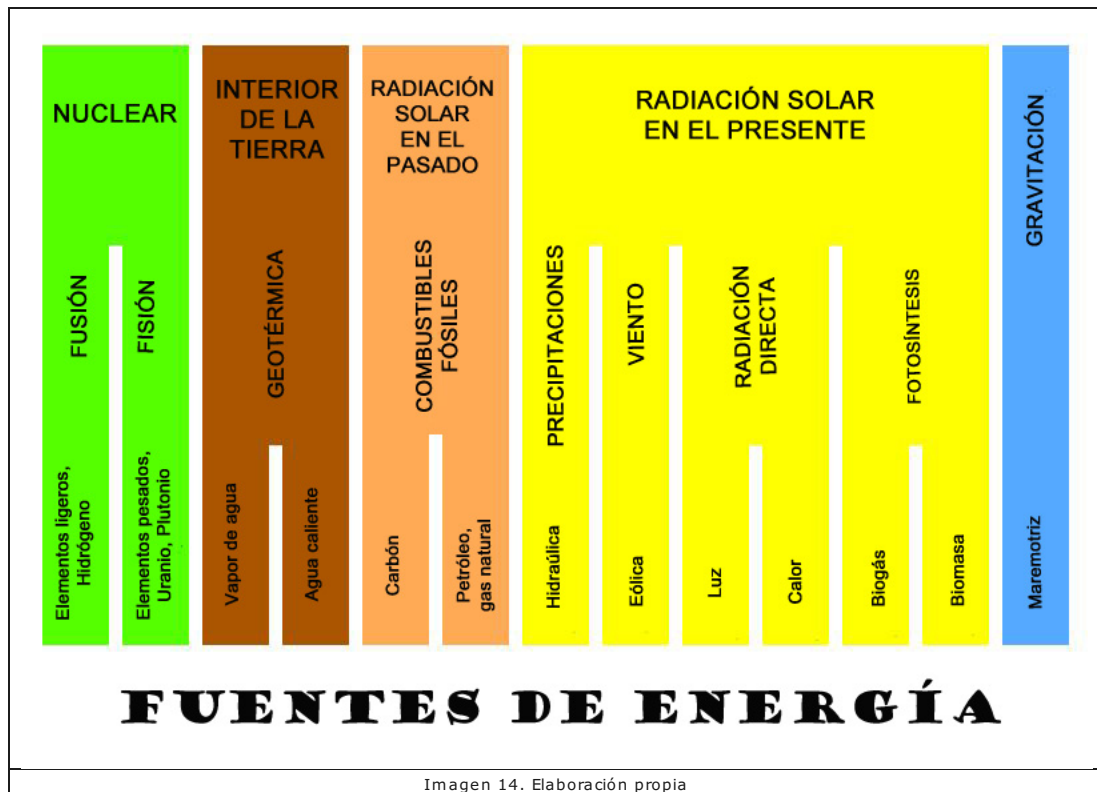


Imagen 14. Elaboración propia

La energía es un concepto unitario, pero puede presentarse de diversas formas, lo que da lugar a los distintos tipos de energía a los que nos referimos en nuestra vida cotidiana, de entre las que podemos destacar:

- Energía cinética, asociada al movimiento.
- Energía potencial, asociada a la posición.
- Energía química, almacenada en los enlaces que mantienen unidos los átomos y moléculas.
- Energía eléctrica, resultado de la interacción electromagnética.
- Energía nuclear, obtenida de la ruptura (o formación) de núcleos atómicos.

En este apartado estudiarás los dos primeros tipos de energía, que se engloban dentro de un tipo más general, la energía mecánica.

## Importante

Se define **energía mecánica** de un sistema como la suma de las energías cinética y potencial de las partículas que lo componen.

La introducción del concepto de energía mecánica se debe a un doble motivo: en primer lugar, bajo ciertas condiciones que se verán en el último capítulo de esta tema, puede enunciarse un principio de conservación de la energía mecánica y, en segundo lugar, gran parte de los movimientos de los cuerpos en nuestro planeta pueden explicarse y calcularse de una forma sencilla a partir su estudio.

### 3.1 Energía cinética



Un cohete despegando, un automóvil moviéndose, una bala recién disparada o una manzana cayendo tienen energía cinética. Y, naturalmente, también las vagonetas de las montañas rusas!

La energía cinética es la forma de energía asociada a la velocidad de un cuerpo. Según esto, **todo cuerpo en movimiento posee energía cinética**, y esta energía puede ser transferida, tal y como se manifiesta cuando se produce algún cambio en el estado de movimiento del sistema que la posee. Al interaccionar con otro cuerpo, el sistema en movimiento pierde velocidad pudiendo o bien transferir movimiento al otro cuerpo o bien producir transformaciones en él.



Imagen 15. Mepsyd, Uso educativo

Como el trabajo realizado sobre un cuerpo modifica su velocidad, es posible relacionar trabajo y energía cinética: dado un cuerpo de masa **m** que se desplaza por una superficie horizontal sin rozamiento, sobre el que se aplica una fuerza constante **F** en el mismo sentido de desplazamiento, tenemos que:

● Según la ecuación del trabajo:  $W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = F \cdot \Delta r$  (1)

● Según la segunda ley de Newton:  $F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m}$  (2)

● Según se obtuvo en el tema de cinemática, la ecuación del movimiento independiente del tiempo para un MRUA:  $v_f^2 - v_i^2 = 2 \cdot a \cdot \Delta r$  (3)

Despejando la aceleración expresada en la ecuación (2) en la última ecuación (3) obtenemos:

$$v_f^2 - v_i^2 = 2 \cdot \frac{F}{m} \cdot \Delta r \Rightarrow F \cdot \Delta r = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_i^2$$

y sustituyendo el trabajo por su expresión (1), se obtiene:

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_i^2$$

## Importante

Puede calcularse la energía cinética de un cuerpo como

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

donde  $m$  es la masa del cuerpo y  $v$  la velocidad a la que se mueve

Puede observarse que la energía cinética depende del valor de la masa y, sobre todo, del cuadrado del valor de su velocidad. Esto tiene importantes consecuencias, y explica por qué la gravedad de los accidentes de tráfico aumenta rápidamente con la velocidad.

### Comprueba lo aprendido

¿Cuál de los siguientes choques contra una pared producirá peores efectos?

- ☐ a) Un automóvil de 1000 kg a 72 km/h.
- ☐ b) Un camión de 15000 kg a 45 km/h
- ☐ c) Una camioneta de 10000 kg a 60 km/h
- ☐ d) Una moto de 200 kg a 120 km/h

**Mostrar retroalimentación**

Según la definición dada para la energía cinética y la relación obtenida con el trabajo, puede escribirse:

$$W = E_{cf} - E_{ci}$$

Es posible generalizar la expresión obtenida para cualquier conjunto de fuerzas que actúan sobre un cuerpo, obteniendo lo que se conoce como **Teorema de las fuerzas vivas o de la energía cinética**, y que se enuncia:

### Importante

El trabajo realizado por las fuerzas que actúan sobre un sistema es igual a la variación experimentada por su energía cinética.

$$W_{tot} = \Delta E_c = E_{c\text{final}} - E_{c\text{inicial}}$$

Cabe destacar dos posibles casos:

- Si se realiza trabajo sobre el cuerpo,  $W > 0$ , la variación de energía cinética experimentada es positiva y el cuerpo aumenta su energía cinética.
- Si el cuerpo realiza trabajo sobre su entorno,  $W < 0$ , la variación de energía cinética experimentada es negativa y el cuerpo disminuye su energía cinética.

### Comprueba lo aprendido

Un automóvil de 1000 kg circula a 120 km/h por una autovía y, a la vista de una señal de limitación de velocidad, reduce progresivamente su velocidad hasta 80 km/h, recorriendo en el proceso 50 m. ¿Cuál será el trabajo realizado en el proceso de frenado? ¿Y la fuerza de frenado que ha actuado?



- ☐ 308580.25 J y 6171.6 N respectivamente
- ☐ -308580.25 J y -6171.6 N respectivamente
- ☐ 308580.25 J y -6171.6 N respectivamente
- ☐ -308580.25 J y 6171.6 N respectivamente

## 3.2 Energía potencial



Aparte de la energía asociada al movimiento, los sistemas también pueden tener energía en función de su posición o al cambio de la misma. Esta forma de energía se denomina **energía potencial**. Las vagonetas de nuestra historia inicial tiene más o menos energía potencial según dónde están situadas a lo largo de su recorrido.

Para que un cuerpo adquiriera energía potencial es necesario suministrarle energía para que pase de una posición a otra de mayor energía y, análogamente, cederá energía al pasar de una posición a otra de menor energía. Sin embargo, siempre se cumple que:

### *Importante*

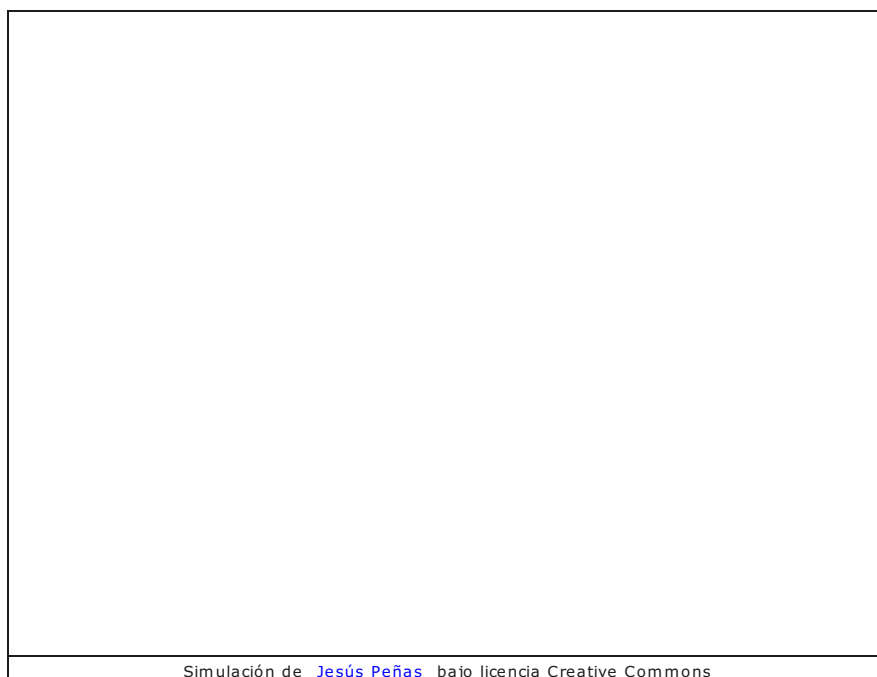
Cuando un sistema se encuentra aislado, tiende siempre de forma espontánea a ocupar la posición de mínima energía potencial posible.

A diferencia de la energía cinética, que era de un único tipo, existen distintos tipos de energía potencial, destacando dos de ellas:

- Energía potencial gravitatoria, que es la que tiene un cuerpo por encontrarse bajo la influencia de un campo gravitatorio (en nuestro caso el terrestre), siendo la fuerza de la gravedad la que realiza un trabajo sobre el cuerpo.
- Energía potencial elástica, asociada a la fuerza recuperadora de un muelle o dispositivo similar al deformarse.

### **Energía potencial gravitatoria**

Su valor viene dado por el trabajo necesario para elevar un cuerpo a una cierta altura venciendo su peso.



Simulación de [Jesús Peñas](#) bajo licencia Creative Commons

Para elevar un cuerpo es necesario realizar una fuerza  $F$  de igual dirección y sentido contrario al peso ( $p=m \cdot g$ ). Si dicha fuerza eleva el cuerpo una altura  $h$ , el trabajo realizado por dicha fuerza será:

$$W = F \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

y de aquí la definición de energía potencial:

## Importante

La energía potencial gravitatoria de un cuerpo viene dada por la expresión

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

donde  $m$  es la masa del cuerpo,  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) y  $h$  la altura a la que se encuentra el cuerpo.

Resulta importante señalar que, al igual que ocurría en el caso de la energía cinética, es posible encontrar una relación entre el trabajo realizado por una fuerza y la variación en la energía potencial. Si suponemos el caso particular de la elevación de un objeto, dado que al aumentar la altura, aumenta la energía potencial, puede escribirse:

$$W = F \cdot (h_f - h_i) = m \cdot g \cdot (h_f - h_i) = m \cdot g \cdot h_f - m \cdot g \cdot h_i = E_{pf} - E_{pi} = \Delta E_p$$

Se observa que el trabajo realizado por una fuerza es igual a la variación de la energía potencial gravitatoria del cuerpo en su desplazamiento.

Por último, cabe destacar que como el trabajo viene dado por la diferencia de posiciones (alturas), es posible escoger arbitrariamente un nivel de referencia a partir del que calcular las alturas. Generalmente se toma el nivel del suelo como referencia, pero puede tomarse cualquier otro sin ningún problema si así conviene por las condiciones de la situación que se está analizando.

## Reflexiona

Al dejar caer una bola de golf de 50 g desde una determinada altura  $h$  sobre un lecho de arena, observamos que la bola penetra hasta una profundidad de 3 cm. Si la fuerza de resistencia ofrecida por la arena resulta ser de 50 N, calcula la altura desde la que se dejó caer la bola de golf.

**Pulse aquí**

## Energía potencial elástica

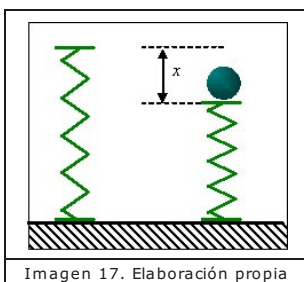


Imagen 17. Elaboración propia

Al comprimir o alargar un muelle se realiza trabajo, que queda almacenado en el mismo en forma de energía potencial elástica.

Al igual que ocurría con la energía potencial gravitatoria, el trabajo coincide con el trabajo mecánico necesario para deformar el muelle de la posición inicial a la final, lo que se conoce como elongación del muelle.

Para deformar el muelle es necesario realizar una fuerza  $F$  de igual dirección y sentido contrario a la fuerza de restitución del mismo peso (que viene dada por la ley de Hooke que ya estudiaste  $F=k \cdot x$ ). El valor de la energía potencial elástica resulta ser:

## Importante

La energía potencial elástica almacenada en un muelle o resorte toma un valor:

$$E_{pe} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

donde  $k$  es la constante elástica del muelle y  $x$  la elongación (deformación) del mismo.

Antes de la irrupción de las balanzas electrónicas, los tenderos utilizaban balanzas como las mostradas en la imagen, cuyo funcionamiento está basado en la deformación de un muelle interno a partir del que es posible calcular el peso colgado.

a) Al instalar una báscula de masa 10 kg el tendero debe colgarla a una altura de 2 metros sobre el suelo, donde se encuentra apoyada. ¿Qué variación ha sufrido la energía potencial gravitatoria del objeto al colocarlo en su nueva posición? ¿Qué trabajo ha debido realizar el tendero para colocarla ahí?

**Mostrar retroalimentación**

b) Si la constante elástica del muelle es de 2000 N/m y la deformación producida al colgar un objeto es de 15 cm, ¿qué energía potencial elástica habrá almacenado el muelle?

**Mostrar retroalimentación**

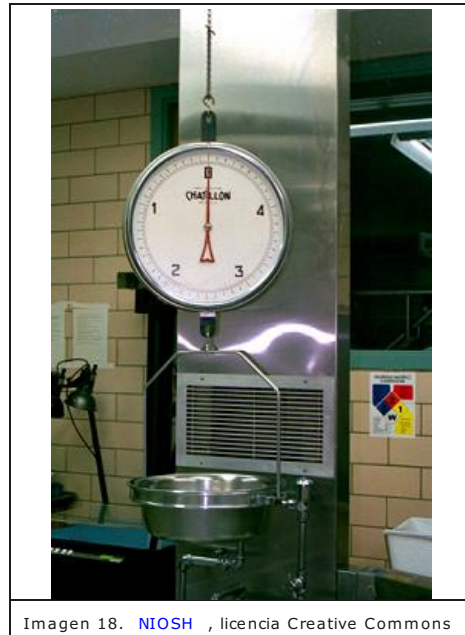


Imagen 18. NIOSH , licencia Creative Commons

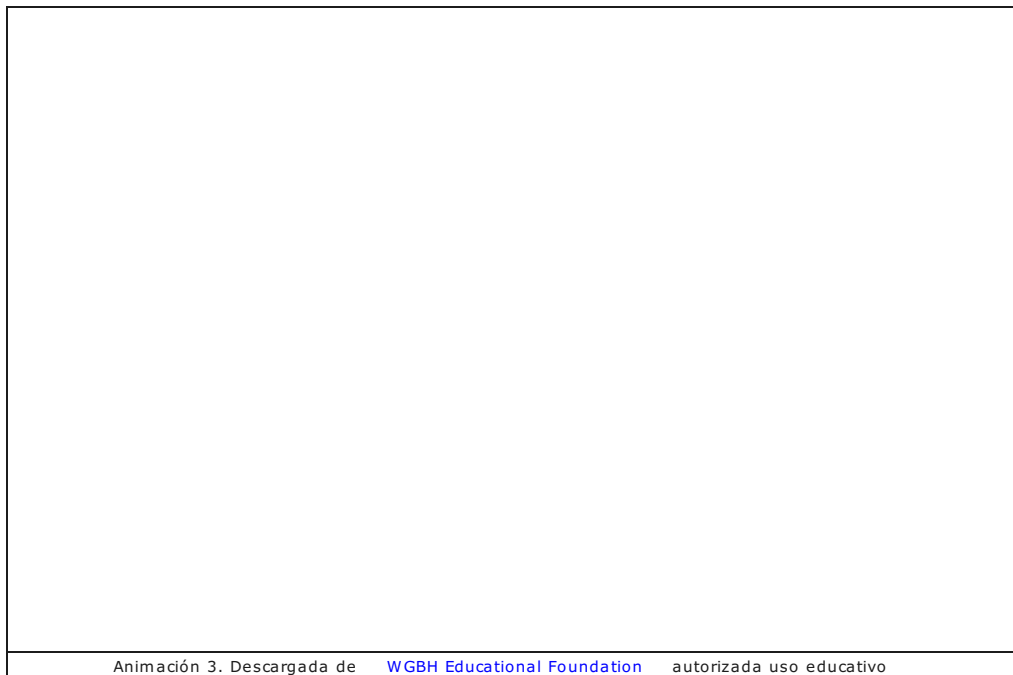
### 3.3 Conservación de la energía mecánica



Tal y como se definió la energía mecánica, podemos dar ahora su expresión desarrollada:

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$$

Observa la siguiente animación, que reproduce el movimiento de una vagoneta en una montaña rusa; puedes realizar el trayecto completo con el botón *play* o bien paso a paso con el botón *step* :



Animación 3. Descargada de WGBH Educational Foundation autorizada uso educativo

Puedes ver cómo la energía aumenta en el primer trayecto de subida (etapa 1) y desde allí permanece constante, cambiando, eso sí, de tipo, entre el máximo de energía potencial (1) y el máximo de cinética (2), y con puntos intermedios (3), (4), (5) y (6) en los que coexisten ambos tipos de energía, siendo su suma constante e igual a la energía mecánica total del sistema.

En una montaña rusa típica como la descrita, la vagoneta en la que viajamos asciende mediante una cremallera hasta el punto de máxima elevación y, a partir de allí, se deja que describa el circuito sin necesidad de aplicar ningún trabajo sobre ella. En el transcurso de su viaje, puede observarse cómo la velocidad aumenta al descender, disminuyendo al ascender, de forma que la máxima velocidad se presenta en el punto de menor altitud.

Este comportamiento puede explicarse en términos energéticos como una conversión entre las dos componentes de la energía mecánica: cinética y potencial. Así, en el punto más alto de la trayectoria, su energía cinética es cero y toda la energía está



almacenada en forma de energía potencial. Conforme desciende, disminuye la energía potencial y aumenta la energía cinética, al ir adquiriendo progresivamente velocidad. En el punto más bajo de la trayectoria, toda su energía está almacenada como energía cinética.

Si no existieran rozamientos, la vagoneta continuaría indefinidamente su movimiento, ya que no existirían pérdidas energéticas. En la vida cotidiana esto no es cierto, pero como situación idealizada nos permite solucionar problemas complejos con una tasa de error aceptable.

Cuando una magnitud permanece constante, se dice que dicha magnitud **se conserva**. Este es el caso de la energía mecánica.

Para comprobarlo, estudiemos el caso de un cuerpo en caída libre desde la posición 1 a la posición 2. En este caso, si despreciamos el rozamiento con el aire, la única fuerza que actúa sobre el sistema es su peso, y según se ha visto en el apartado 3.2 correspondiente a la energía potencial, podemos escribir:

$$W_{1-2} = F \cdot (h_1 - h_2) = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 = E_{p1} - E_{p2} = -(E_{p2} - E_{p1}) = -\Delta E_p$$

Cabe observar que el signo negativo proviene de que el trabajo realizado por la interacción gravitatoria se utiliza en disminuir su energía potencial.

Por otra parte, según el teorema de las fuerzas vivas, podemos afirmar que  $W_{1-2} = \Delta E_c$ . Igualando ambas expresiones, se llega a que:

$$\Delta E_c = -\Delta E_p \Rightarrow E_{c2} - E_{c1} = -(E_{p2} - E_{p1}) \Rightarrow E_{c2} + E_{p2} = E_{c1} + E_{p1} \Rightarrow E_{m2} = E_{m1}$$

Dicho en otras palabras, la energía mecánica permanece constante, permitiendo expresar el **principio de conservación de la energía mecánica**:

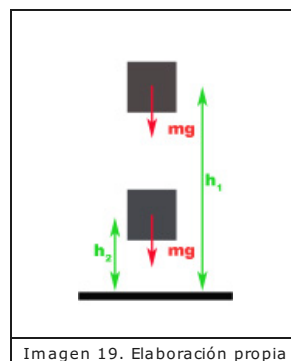


Imagen 19. Elaboración propia

## Importante

La energía mecánica de un sistema aislado permanece constante si no existen rozamientos.

$$\Delta E_m = 0 \Rightarrow E_m = cte$$

Cuando el trabajo de una fuerza sobre un sistema mantiene constante su energía mecánica, indica que dicha fuerza es **conservativa**.

## Ejercicio resuelto

Desde una altura de 5 m se deja caer una pelota de 500 g de masa. Suponiendo que no existen rozamientos:

a) ¿Con qué energía cinética llegará al suelo?

**Mostrar retroalimentación**

b) ¿Con qué velocidad lo hará?

**Mostrar retroalimentación**

c) Si en vez de la pelota, dejamos caer una piedra de 10 kg, ¿con qué velocidad llegará al suelo?

**Mostrar retroalimentación**

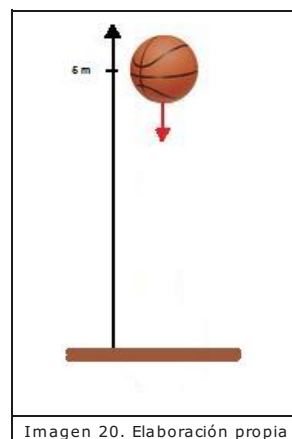


Imagen 20. Elaboración propia

## Comprueba lo aprendido

En una montaña rusa de 25 m de altura máxima, una vagoneta de masa 300 kg se mueve con una velocidad

de 10 m/s al pasar por un punto situado a 20 m de altura.

Suponiendo que no existe rozamiento, indica cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas:

a) La energía mecánica de la vagoneta es de 73800 J.

Verdadero ☐ Falso ☐

b) La velocidad a nivel del suelo será de 20 m/s.

Verdadero ☐ Falso ☐ ☒

c) En esta situación, la velocidad con la que ha pasado por el punto más alto era de 1.4 m/s

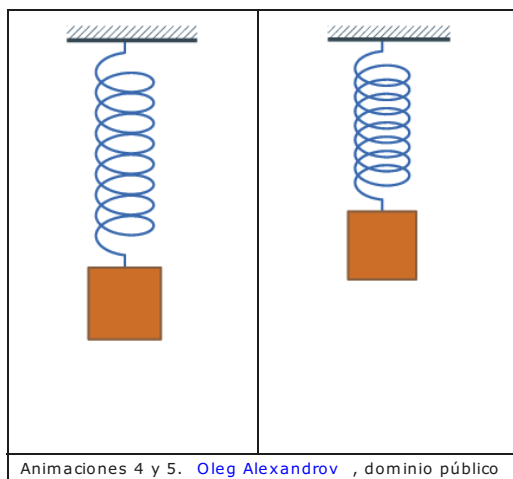
Verdadero ☐ Falso ☐

### 3.4 Fuerzas no conservativas: disipación de la energía



Desde los albores de la historia se ha buscado lo que se conoce como "*móvil perpetuo*", una máquina o dispositivo que permanezca indefinidamente en su estado de movimiento sin necesidad de un aporte externo de energía. Su descubrimiento supondría la esperanza de obtener una fuente inagotable de energía. Desgraciadamente, hoy en día sabemos que la existencia de este tipo de dispositivos es imposible, pues en el mundo real existen fuerzas, denominadas **disipativas** o **no conservativas**, cuyo trabajo transforma la energía mecánica en otros tipos de energías más degradadas y por tanto menos útiles, provocando que la energía mecánica del sistema vaya disminuyendo y finalmente se agote.

Puedes observar el efecto de una fuerza disipativa en la oscilación de un muelle:



Fíjate en que mientras las oscilaciones del muelle de la izquierda son constantes, el de la derecha va amortiguándose. El primero corresponde a un movimiento ideal sin rozamiento, en el que se conserva la energía mecánica, mientras que en el caso del segundo actúa una fuerza no conservativa que provoca que su energía mecánica vaya disminuyendo.

Las fuerzas de rozamiento son un ejemplo de fuerzas no conservativas, y son las que provocan que, por ejemplo, la vagoneta desplazándose en la montaña rusa no siga moviéndose indefinidamente y sea necesario el trabajo de un motor para devolverla a su posición inicial. El trabajo realizado por estas fuerzas (negativo siempre por oponerse estas al movimiento) hace disminuir la energía mecánica, que se transforma en energía térmica y otros modos de energía no recuperables.

En este punto cabe recordar que, aunque la energía mecánica no se conserve, sí lo hace la energía total del sistema, ya que, según vimos a principio del tema, la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma.

Es posible obtener una expresión matemática para el principio de conservación de la energía como extensión del de la energía mecánica, teniendo en cuenta que podemos agrupar todas las fuerzas en uno de las dos categorías: conservativas y no conservativas. Con un planteamiento análogo al realizado anteriormente:

#### Importante

Cuando sobre un sistema aislado actúan tanto fuerzas conservativas como no conservativas, se verifica que la variación de la energía mecánica es igual al trabajo realizado sobre el mismo por las fuerzas no conservativas.

$$\Delta E_m = W_{nc}$$

En el caso de fuerzas de rozamiento, como estas se oponen al rozamiento, el trabajo será negativo y se producirá una

disminución de la energía mecánica.

Asimismo, si no existen fuerzas no conservativas, su trabajo será nulo y el incremento de la energía mecánica valdrá cero, lo que muestra que esta expresión es una generalización del principio de conservación de la energía mecánica.

## Ejercicio resuelto

Dejamos caer una pelota de baloncesto desde una altura de 3 m. Cada vez que golpea con el suelo, su velocidad disminuye un 25%. Calcula:



Imagen 21. [Michael Maggs](#) , licencia Creative Commons

a) La pérdida de energía que se produce en cada rebote

**Mostrar retroalimentación**

b) La altura máxima alcanzada por la pelota después de producirse el primer rebote

**Mostrar retroalimentación**

## Comprueba lo aprendido

Una vagoneta se desplaza horizontalmente sobre una superficie horizontal con una velocidad de 15 m/s. ¿Cuántos metros recorrerá antes de detenerse si el coeficiente de rozamiento entre las ruedas y los raíles es de 0.35?

☐ 23,8 m

☐ 30,2 m

☐ 32.8 m

☐ 34.6 m

**Mostrar retroalimentación**