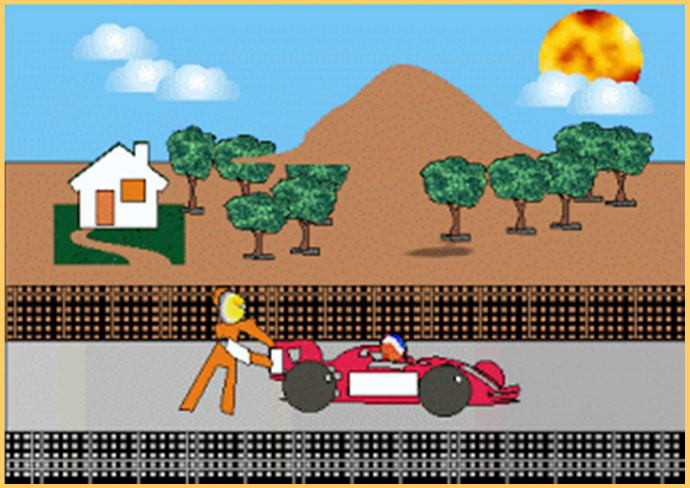
BACHILLERATO

FÍSICA Y QUÍMICA

XIV. TRABAJO Y ENERGÍA MECÁNICA



I.E.S. Padre Manjón
Granada

R. Artacho

Dpto. de Física y Química

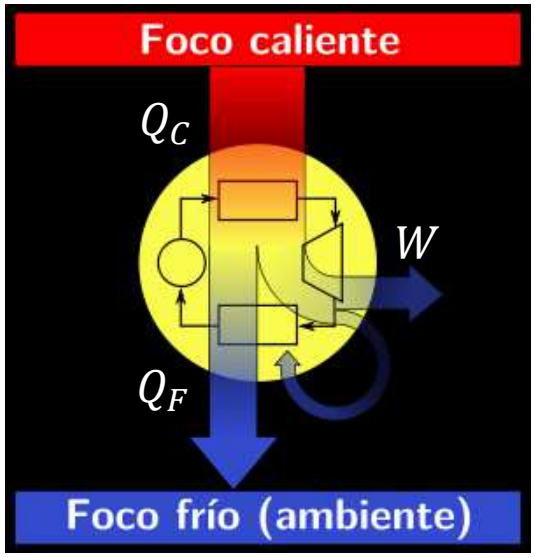
Índice

1. Introducción a los conceptos
2. Trabajo mecánico
3. La potencia
4. La energía
5. Fuerzas conservativas. Conservación de la energía
6. Masa y energía en la física moderna

1 Introducción a los conceptos

- Cuando un ciclista conduce su bicicleta por la carretera, el ciclista está desarrollando **trabajo**.
- Diremos que se desarrolla **trabajo** cuando **bajo la acción de una fuerza se produce un desplazamiento**.
- La **energía resulta ser como la capacidad para realizar un trabajo**.

1.1. Historia de los conceptos

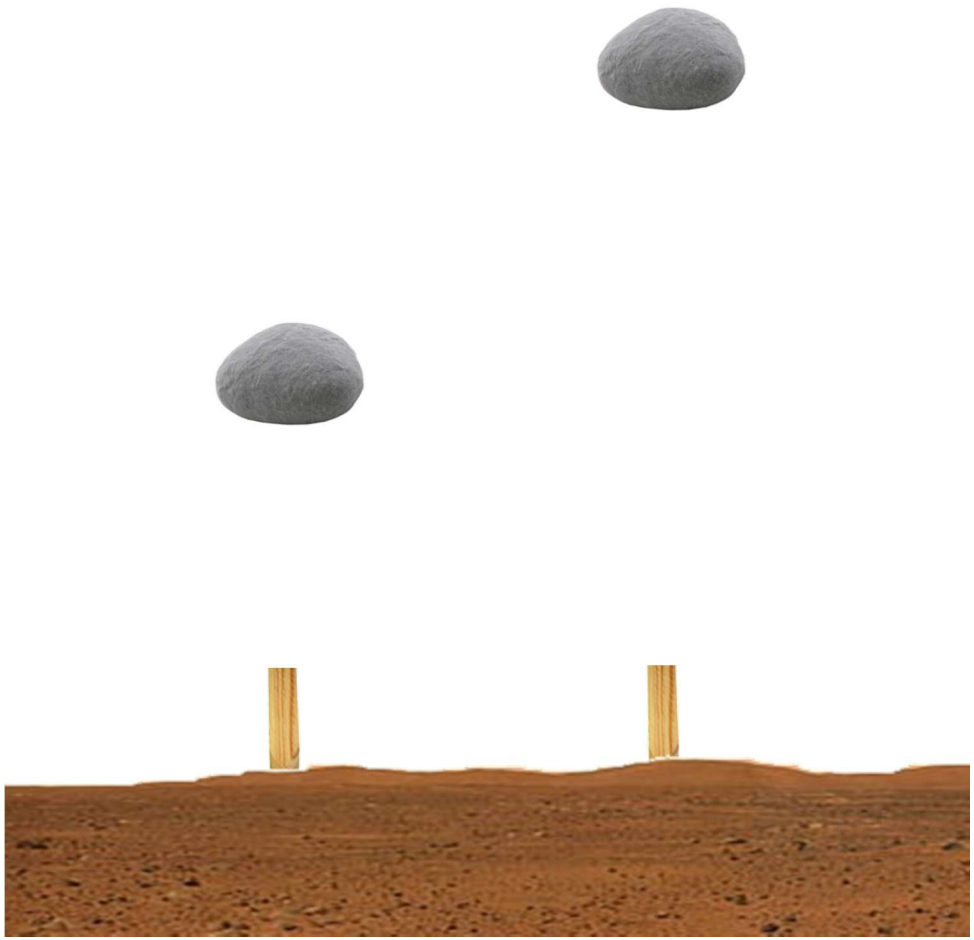


- El **trabajo mecánico** aparece en los estudios sobre la palanca llevados a cabo por **Aquímedes** y **Aristóteles**.
- En ellos se deduce la ley de la palanca.

$$Fs_1 = Ps_2$$

- Desde los tiempos de Galileo, Huygens y Leibnitz, se hacía uso del concepto de "**fuerza viva**" en referencia a lo que hoy conocemos como **energía cinética**.
- La **energía** hace su aparición de forma clara e inequívoca a finales del siglo XVIII y principios del XIX como consecuencia del desarrollo de la **termodinámica**.

1.1. Historia de los conceptos



- El peso del bloque es siempre el mismo.
- Desde una altura mayor, la estaca se clavará más en el suelo que desde una altura menor.
- La combinación peso-altura es la responsable de que la estaca se clave más o menos.
- Esta es la relación entre trabajo y **energía potencial**.

1.1. Historia de los conceptos

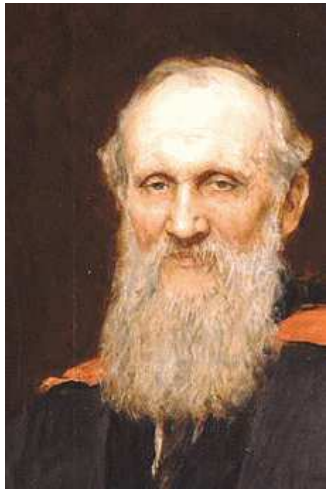
Del concepto de "*fuerza viva*" a la energía cinética

Huygens propone que en una colisión elástica, además de conservarse el momento lineal, se conserva la cantidad mv^2 (denominada *fuerza viva*)

Leibniz consideró que la "*fuerza viva*" era la magnitud que definía el estado de movimiento de los cuerpos y no la "*cantidad de movimiento*"

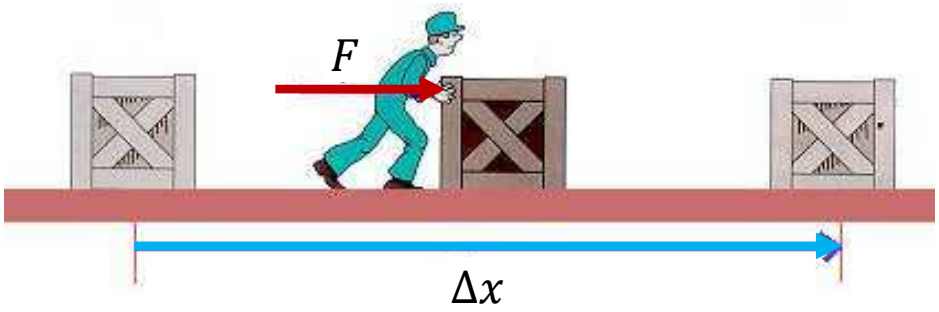
D'Alembert propone que a *mv* se le denominara con el nombre de *momentum*

Young define a mv^2 con el término de "*energía*" en lugar de "*fuerza*"



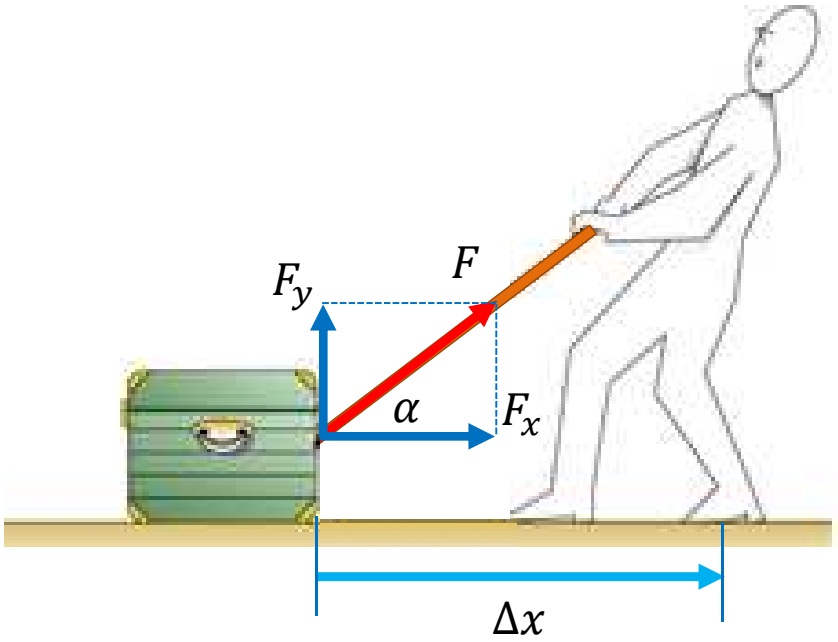
Thomson bautiza a mv^2 con el nombre de "*energía cinética*"

2 Trabajo mecánico



Definición conceptual de trabajo

El **trabajo** representa una medida de la **energía mecánica transferida** de un sistema a otro por la acción de una fuerza que produce un desplazamiento.



Definición operacional de trabajo

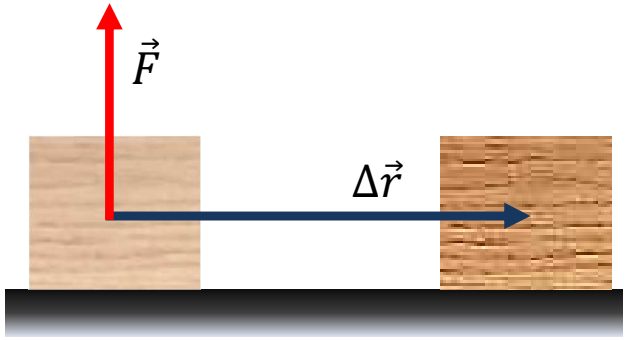
- El **trabajo mecánico** realizado por una fuerza, $\vec{F}$, que actúa sobre un cuerpo que experimenta un desplazamiento, $\Delta\vec{r}$, es igual al:

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

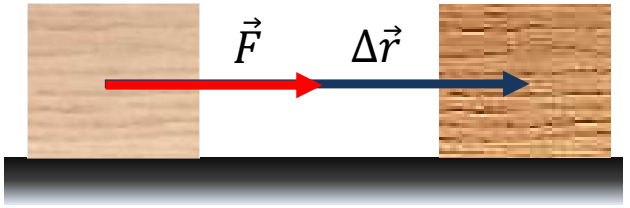
- La **unidad** en el SI es el julio (J):

$$1\,J = 1N \cdot 1m$$

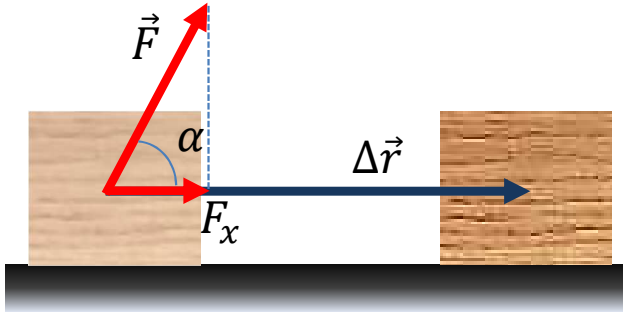
Consecuencias de la definición de trabajo



$$W = 0$$



$$W_{máximo} = F\Delta r$$



$$W = F\Delta r cos\alpha = F_x\Delta r$$

$$W_{máximo} = -F\Delta r$$

EJERCICIO 1

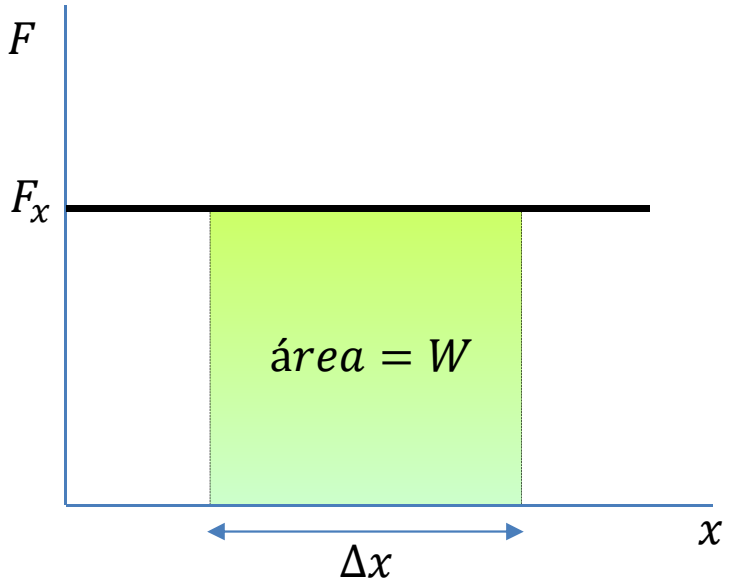
Un cuerpo se desplaza horizontalmente 50 m bajo la acción de una fuerza de 100 N. Determina el trabajo de dicha fuerza si:

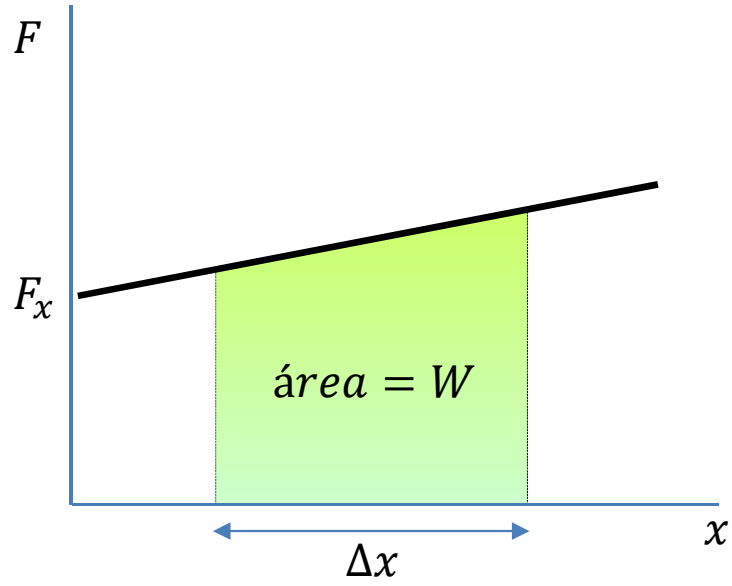
a) Actúa horizontalmente en el sentido del movimiento.
b) Forma un ángulo de 60º con la horizontal.
c) Actúa perpendicularmente.
d) Forma una ángulo de 150º con la dirección del desplazamiento.

EJERCICIO 2

Si se deja caer libremente una bola de petanca de acero de 2 kg desde una altura de 3 m, ¿hay alguna fuerza que realice trabajo? Si es así, calcúlalo.

Representación gráfica del trabajo





- Una fuerza constante F_x actúa en la dirección del eje X sobre un cuerpo y lo desplaza en esa misma dirección: $\Delta x = x - x_0$.

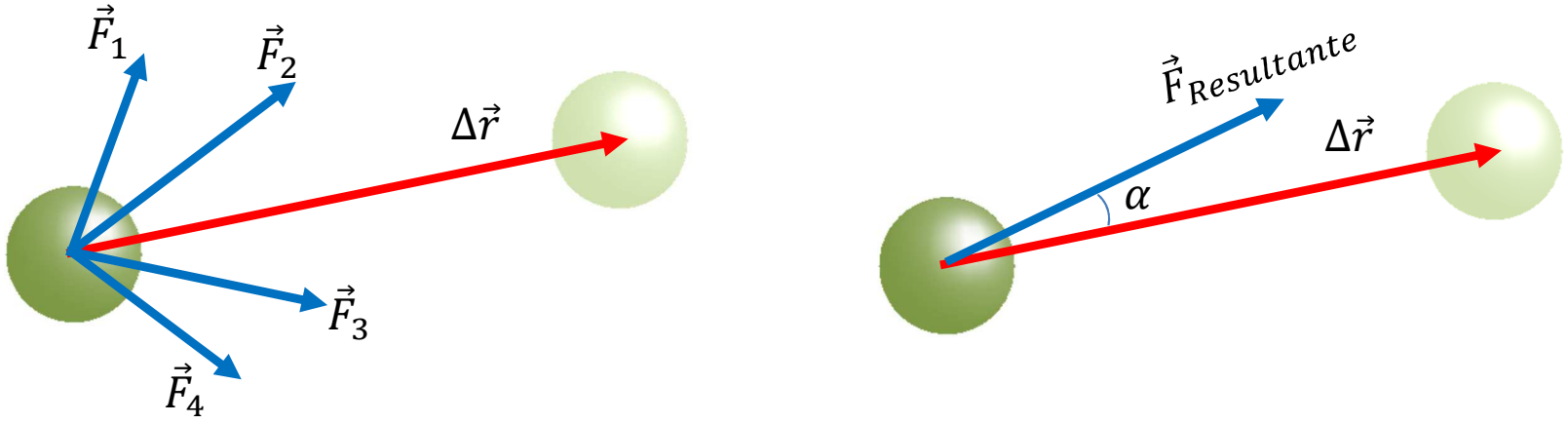
- Al representar F_x en función de Δx, el **área** comprendida será $F_x \Delta x$, que coincide numéricamente con el trabajo realizado por la fuerza.

Este resultado es válido aunque la fuerza no sea constante

EJERCICIO 3

Determina gráficamente una expresión para el trabajo realizado cuando estiramos un muelle de constante recuperadora k desde su posición de equilibrio (x = 0) hasta una posición . Resuélvela para k = 200 N/m y x = 5 m.

2.1. Trabajo realizado por varias fuerzas



Cuando sobre un cuerpo actúan varias fuerzas, el trabajo realizado por dichas fuerzas al desplazar el cuerpo es el mismo que el que realiza la resultante de todas ellas.

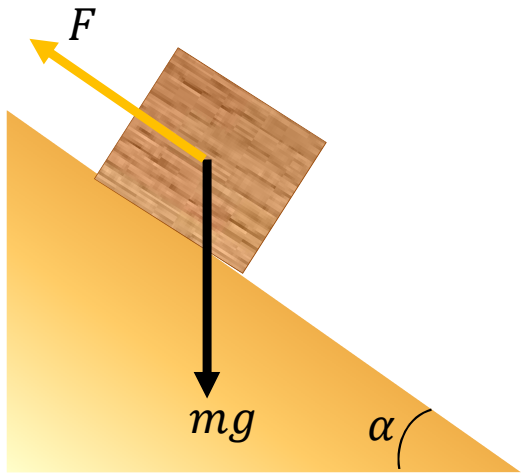
$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = \vec{F}_1 \cdot \Delta\vec{r} + \vec{F}_2 \cdot \Delta\vec{r} + \vec{F}_3 \cdot \Delta\vec{r} + \vec{F}_4 \cdot \Delta\vec{r}$$

$$W = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4) \cdot \Delta\vec{r} = \vec{F}_{Resultante} \cdot \Delta\vec{r}$$

$$W = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \cdot \Delta\vec{r} = \vec{F}_{Res} \cdot \Delta\vec{r}$$

EJERCICIO 4

Un cuerpo de 2 kg recorre un espacio s = 10 m en ascenso por un plano inclinado 30º sobre la horizontal, obligado por una fuerza de 15 N paralela al plano. Si el coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y el plano tiene un valor de 0,2, calcula el trabajo realizado por las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

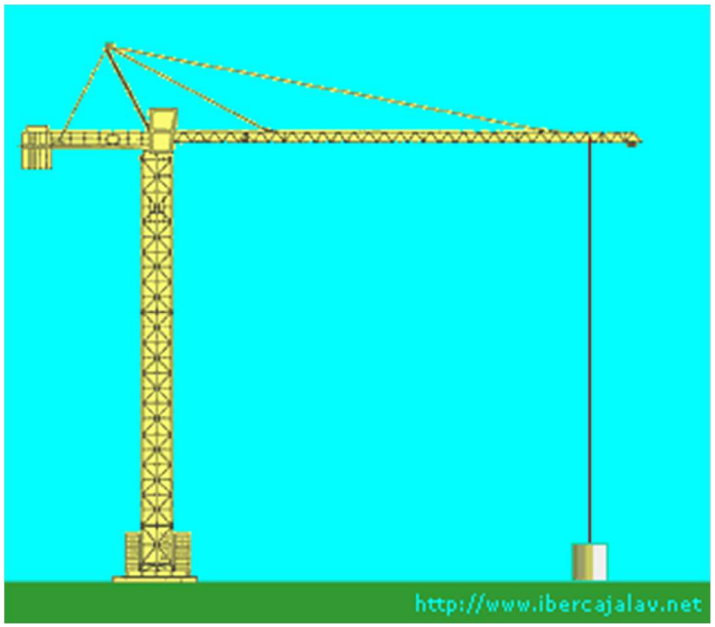


EJERCICIO 5

Un cuerpo de 3 kg se desliza por un plano inclinado 45º con respecto a la horizontal desde una altura de 5 m. El coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y el plano es de 0,32. Determina:

a) El trabajo realizado sobre el cuerpo por cada una de las fuerzas que actúan, hasta que llega al final del plano.
b) El trabajo total realizado sobre el cuerpo en todo el trayecto.

3 La potencia



- En muchas ocasiones interesa conocer la rapidez con la que se realiza un determinado trabajo.
- Llamamos **potencia** a la rapidez con la que se realiza un trabajo:

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

- La unidad de potencia es el **vatio** (**W**), que se define como la potencia desarrollada cuando se realiza el trabajo de 1 julio en 1 segundo: $1\ W = 1\ J \cdot 1s$.

- Otra unidad es el ***caballo de vapor***: $1\ CV = 735\ W$
- Podemos relacionar la potencia con la velocidad: $P = \frac{\mathrm{W}}{\Delta t} = \frac{F\Delta r}{\Delta t} = Fv$

EJERCICIO 6

Cierto automóvil que circula a 129 km/h está sometido a una fuerza de fricción con la carretera de 211 N y a una fricción con el aire de 830 N. ¿Qué potencia debe desarrollar en esas condiciones para mantener constante esa velocidad? Expresa el resultado en kW y en CV.

EJERCICIO 7

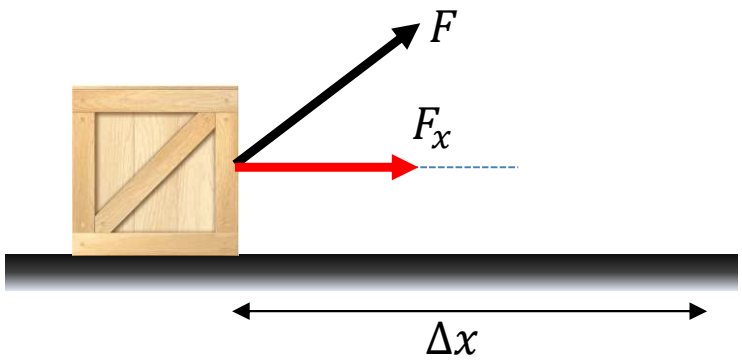
En centros de investigación sobre láseres se han conseguido pulsos de láser de 10 femtosegundos y 100 mJ (milijulios). ¿Cuál es la potencia de ese pulso? Exprésala en teravatios.
Datos: 1 fs = 10^{-15} s; tW = 10^{12} W

La **energía mecánica** es la capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo

☞ La **energía mecánica** puede ser de dos tipos:

- **Cinética** (asociada a los cambios en el movimiento)
- **Potencial** (asociada a los cambios de posición)

4.1. Trabajo y energía cinética



☞ El trabajo realizado por la fuerza F:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} = F_x \Delta x$$

☞ Teniendo en cuenta la 2ª ley de Newton:

$$W = ma\Delta x \qquad v^2 - {v_0}^2 = 2a\Delta x$$

☞ Obtenemos:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m{v_0}^2 = \Delta E_C$$

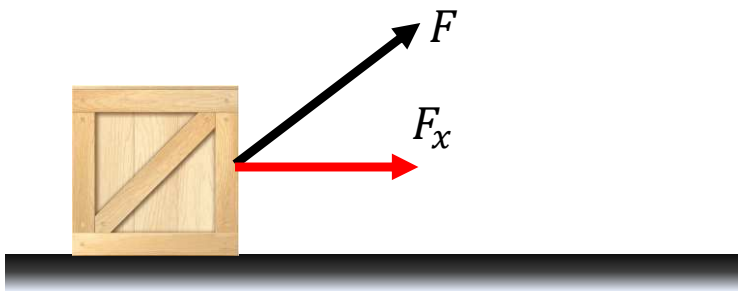
El **trabajo** realizado por la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo se emplea en **variar la energía cinética** del mismo (teorema de las "***fuerzas vivas***"

4.1. Trabajo y energía cinética

Algunas precisiones obre la energía cinética

- **La energía cinética es una magnitud escalar y siempre positiva**.

- Cuando sobre un cuerpo se realiza un **trabajo positivo**, su **energía cinética aumenta**. Cuando sobre un cuerpo se realiza un **trabajo negativo**, su **energía cinética disminuye**.



- Finalmente, podemos relacionar la energía cinética con el módulo del momento lineal:

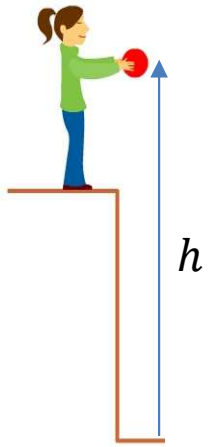
$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{m^2v^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

EJERCICIO 8

Sobre un cuerpo de 5 kg de masa que se mueve con una velocidad de 2 m/s se realiza un trabajo de 50 J. ¿Cuál será su velocidad final?

EJERCICIO 9

Se deja caer un cuerpo libremente (en ausencia de rozamiento) desde una cierta altura, h. Aplicando el teorema de las fuerzas vivas, deduce cuál es su velocidad en el momento en que llega al suelo. ¿Qué conclusiones obtienes?



EJERCICIO 10

La fuerza de fricción entre las ruedas de un coche de 1 300 kg y el suelo es de 220 N. Si el coche se mueve por una pista horizontal a una velocidad de 110 km/h y se deja en “punto muerto”, ¿qué distancia recorrerá hasta que se detenga por completo? Resuelve el problema por métodos energéticos y dinámicos y comprueba la identidad de los resultados.

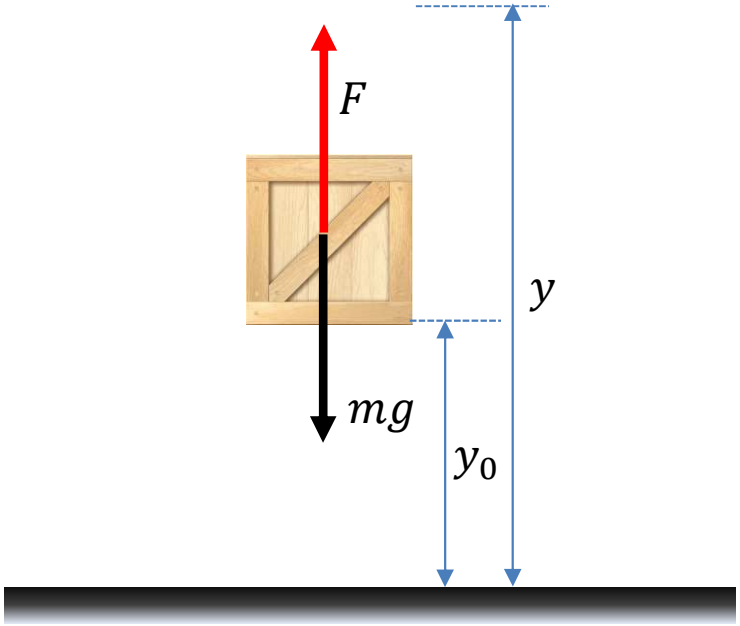
4.2. La energía potencial

La energía asociada a la **posición** de los cuerpos se denomina **energía potencial**

☞ Dependiendo de cuál sea la fuerza involucrada (gravitatoria, elástica, et.), la energía potencial se denominará **energía potencial gravitatoria**, **energía potencial elástica**, etc.

4.2. La energía potencial

La energía potencial gravitatoria



- El trabajo realizado por la fuerza $F = mg$:

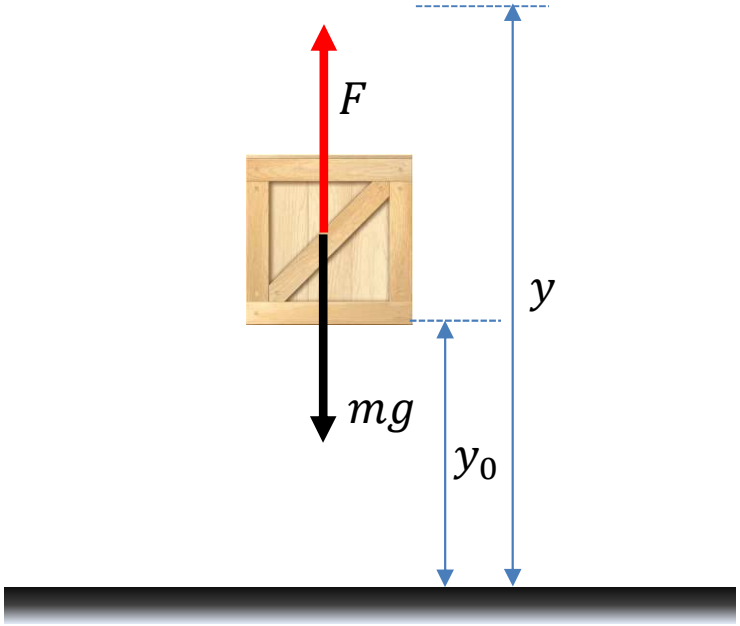
$$W = F\Delta y = mgy - mgy_0$$

- La expresión $\boldsymbol{mgy}$ representa el valor de la **energía potencial gravitatoria** (**E_p**) sobre la superficie terrestre.

$$E_p = mgy$$

4.2. La energía potencial

Trabajo energía potencial gravitatoria



- El trabajo realizado por la fuerza gravitatoria en el ascenso mg:

$$W = -mg\Delta y = -(mgy - mgy_0)$$

- El trabajo realizado por fuerza gravitacional es igual a la variación negativa de su energía potencial gravitatoria.

$$W = -\Delta E_p$$

4.2. La energía potencial

Precisiones sobre la energía potencial gravitatoria

- La expresión $\boldsymbol{mgy}$ solamente es válida a pequeñas alturas, cerca de la superficie terrestre, ya que $\boldsymbol{g}$ depende también de la altura.

- Al establecer que $\boldsymbol{mgy}$ es la expresión de la energía potencial gravitatoria, consideramos que arbitrariamente hemos fijado un "***valor cero***" para una altura $\boldsymbol{y = 0}$. Solamente tiene sentido físico la variación de la energía potencial y no su valor absoluto.

- La energía potencial es una característica del sistema Tierra-cuerpo y no del cuerpo.

- La energía potencial puede ser tanto positiva como negativa, dependiendo del nivel de referencia.

EJERCICIO 11

En una de sus infructuosas persecuciones tras el Correcaminos, el Coyote, de 45 kg, está a punto de caer por un precipicio de 50 m de altura. Determina cuánto variará la energía potencial del Coyote y con qué velocidad aterrizará.

EJERCICIO 12

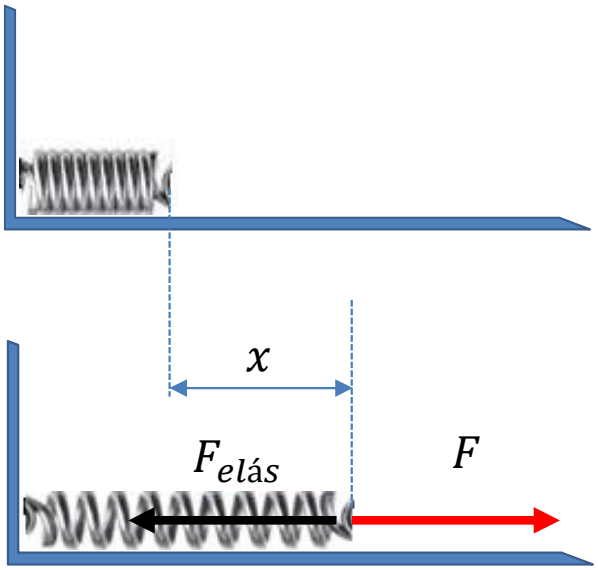
Se deja caer un objeto de 2 kg desde 100 m de altura. Calcula:

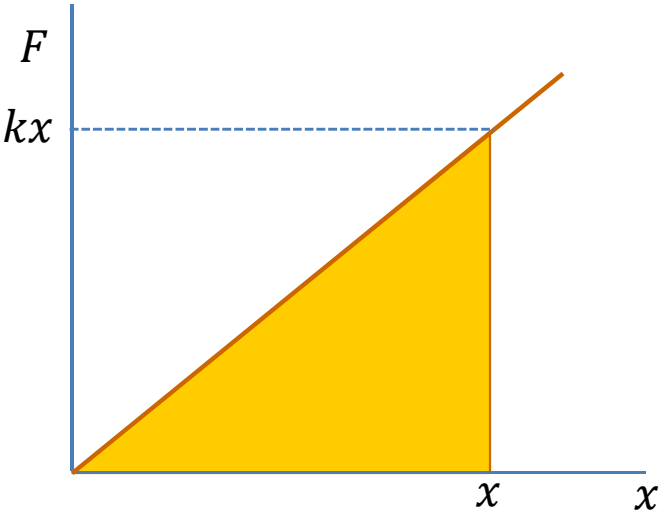
a) Su energía potencial inicial.
b) Su energía potencial cuando se encuentre a 50 m del suelo.
c) Su velocidad y su energía cinética a 50 m de altura.
d) La suma de ambas energías a esa altura.

¿Qué conclusión obtienes?

4.2. La energía potencial

La energía potencial elástica





- Al estirar un muelle desde su posición de equilibrio ($x_0 = 0$) hasta otra distinta x mediante una fuerza, F, aparece otra recuperadora elástica $-kx$.

- El trabajo realizado viene dado por el área de la figura formada entre la fuerza y el alargamiento.

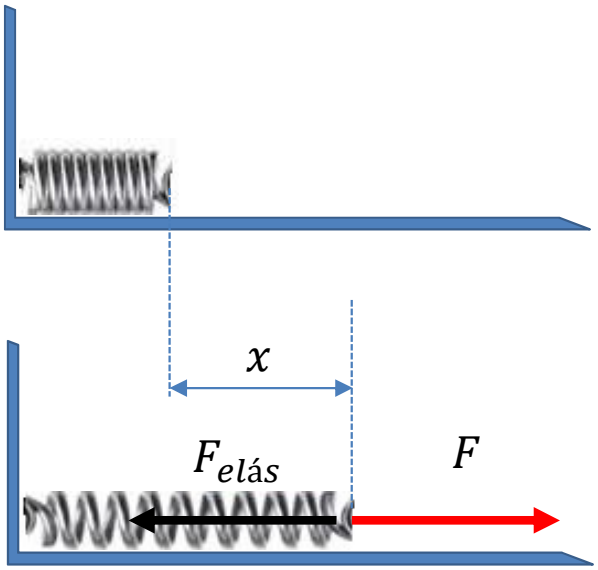
$$W = \frac{F \cdot x}{2} = \frac{kx \cdot x}{2} = \frac{1}{2}kx^2$$

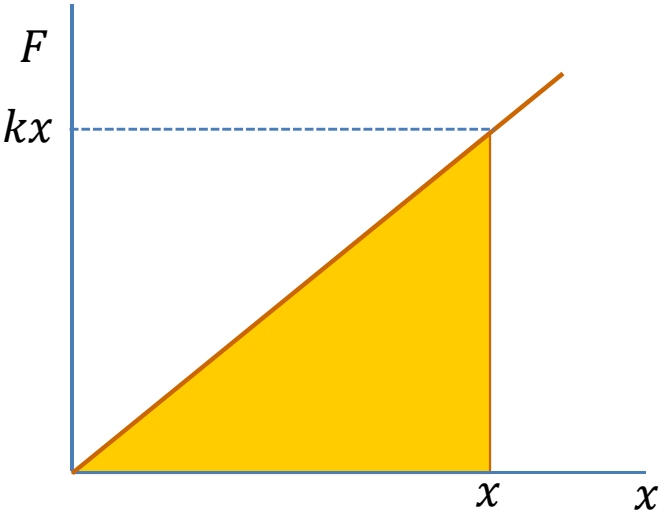
La **energía potencial elástica** en función de la posición x se representa como:

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2$$

4.2. La energía potencial

Trabajo y energía potencial elástica





- Al estirar un muelle desde su posición de equilibrio ($x_0 = 0$) hasta otra distinta x mediante una fuerza, F, aparece otra recuperadora elástica $-kx$.

- El trabajo realizado por la **fuerza elástica** será idéntico al que realiza la fuerza F pero de signo contrario

$$W = \frac{-kx \cdot x}{2} = -\frac{1}{2}kx^2$$

- El trabajo realizado por las fuerzas elásticas es igual a la variación negativa de la energía potencial:

$$W_{elásticas} = -\Delta E_p$$

EJERCICIO 13

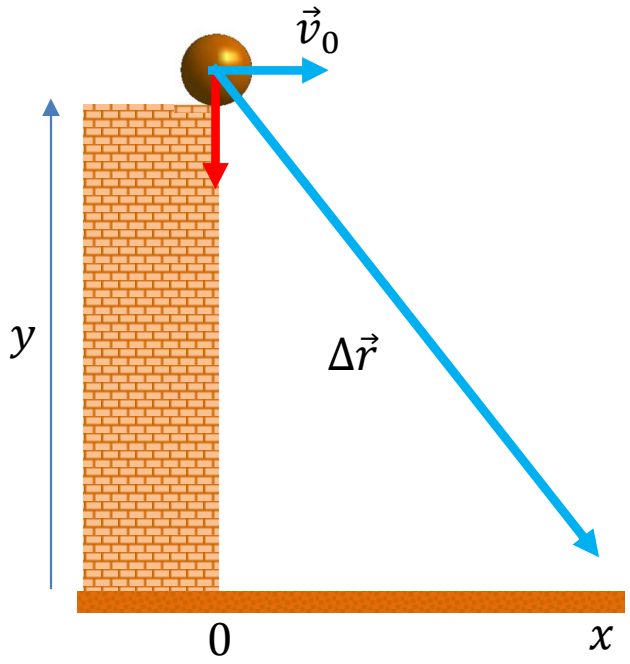
Sobre un muelle vertical de constante k = 200 N/m se coloca una masa de 500 g. Posteriormente se cambia la masa por otra de 2 kg. Determina la energía potencial elástica que se almacena en el muelle en cada caso.

EJERCICIO 14

Un cuerpo de 0,5 kg de masa se deja caer desde una altura de 1 m sobre un pequeño resorte vertical sujeto al suelo y cuya constante elástica es k = 2 000 N/m. Calcula la deformación máxima del resorte.

- Las fuerzas bajo cuya acción se conserva la energía mecánica del sistema (gravitatoria, elástica, electrostática) se denominan **fuerzas conservativas**.
- Las fuerzas bajo cuya acción se disipa o se pierde la energía mecánica del sistema (rozamiento) se denominan **fuerzas no conservativas** o **fuerzas disipativas**.

5.1. Fuerzas conservativas



☞ El trabajo realizado por la fuerza gravitacional será:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} \begin{cases} \vec{F} = -mg\hat{j} \\ \Delta\vec{r} = (x-0)\hat{\imath} + (0-y)\hat{j} = x\hat{\imath} - y\hat{j} \end{cases}$$

$$W = -mg\hat{j} \cdot (x\hat{\imath} - y\hat{j}) = mgy = -\Delta E_p$$

El trabajo realizado por las fuerzas conservativas **solo depende de la posición inicial y final** y no del camino seguido.

5.2. Conservación de la energía mecánica

- Sobre un sistema pueden actuar fuerzas conservativas y fuerzas no conservativas.

- Según el teorema de las "fuerzas vivas", el trabajo desarrollado por todas las fuerzas se invierte en una variación de la energía cinética:

$$W = \Delta E_C$$

- Al ser el trabajo una magnitud escalar, podemos escribir:

$$W = W_C + W_{NC} = \Delta E_C$$

- Teniendo en cuenta que el trabajo de las fuerzas conservativas se invierte en una variación negativa de la energía potencial:

$$-\Delta E_P + W_{NC} = \Delta E_C \quad \Longrightarrow \quad W_{NC} = \Delta E_C + \Delta E_P = \Delta(E_C + E_P) = \Delta E_M$$

- **Si las únicas fuerzas que actúan son conservativas, la energía mecánica permanece constante**:

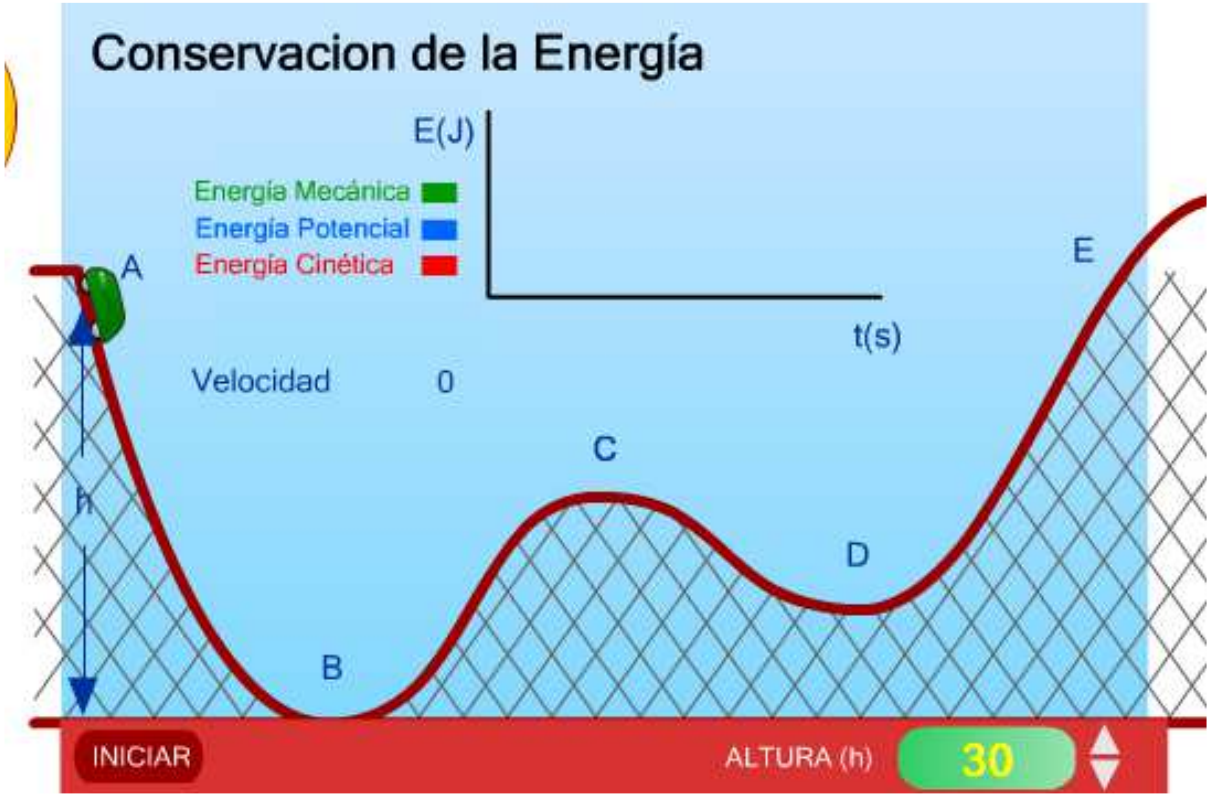
$$0 = \Delta E_M \quad \Longrightarrow \quad E_M = Constante$$

5.2. Conservación de la energía mecánica

- Las **fuerzas no conservativas** realizan un trabajo que se invierte en disminuir la energía mecánica del sistema.

$$W_{NC} = \Delta E_M$$

- Esta energía suele disiparse en forma de calor, de forma que la energía global se mantiene constante.



EJERCICIO 15

Un péndulo cuyo hilo mide 2 m, que sujeta una bola de masa m, es desplazado 60º con respecto a la vertical. Si en esa posición se suelta:

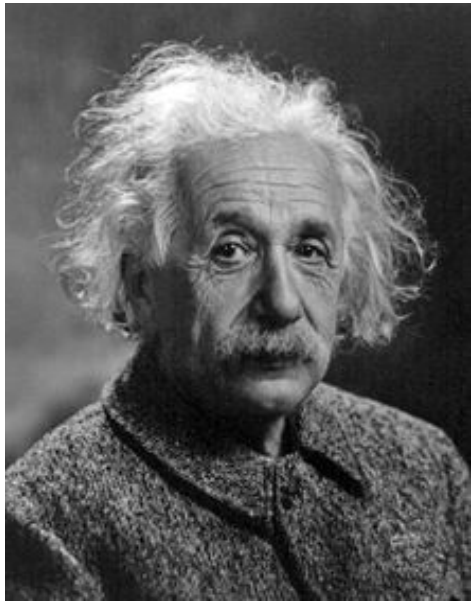
a) ¿Cuál será su velocidad al pasar por el punto más bajo?

b) ¿Qué energía cinética tendrá cuando el hilo forme 15º con la vertical?

EJERCICIO 16

Un cuerpo comienza a ascender por un plano inclinado 30º con una velocidad inicial de 4 m/s. Si el coeficiente de rozamiento con el plano es de 0,2, calcula hasta que altura asciende.

- Hasta principios del siglo XX se consideraba la existencia de dos principios de conservación fundamentales:
  - **Principio de conservación de la masa** de Lavoisier
  - **Principio de conservación de la energía**
- **Einstein** viene a formular que masa y energía son dos manifestaciones distintas de la misma realidad:



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

- Es decir, cuando a un sistema de masa m_0 le suministramos una cantidad de energía adicional, ΔE dicha masa aumenta en una cantidad:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

- De esta forma debemos incluir a la materia como una forma más de energía.

La **energía total de un sistema**, incluida la materia como forma de energía, **permanece constante**.