

4

Fuerzas y movimiento

1 Fuerzas

Definición de fuerza

Se define **fuerza** como toda causa que puede tener como efecto, bien **cambios en el estado de movimiento** de un cuerpo, bien una **deformación** en él. Su unidad, en el SI, es el **newton, N**.

En el lenguaje de la física, las fuerzas **no se «tienen»**, sino que se **«ejercen» o «aplican»**.

Efectos de las fuerzas y tipos de materiales



Las fuerzas **pueden cambiar el estado de movimiento** de un cuerpo, y **también deformarlo**.



Si se aplica una fuerza sobre un material **rígido**, este no se deforma.



Un material **elástico** recupera su forma original cuando deja de actuar la fuerza que se ejerce sobre él.



Un material **plástico** queda permanentemente deformado al cesar la fuerza aplicada sobre él.

Aprende, aplica y avanza

1 ¿En cuál de las situaciones mostradas en las fotografías de esta página la fuerza produce simultáneamente cambios en el movimiento y deformación?

.....

.....

.....

Tipos de fuerzas

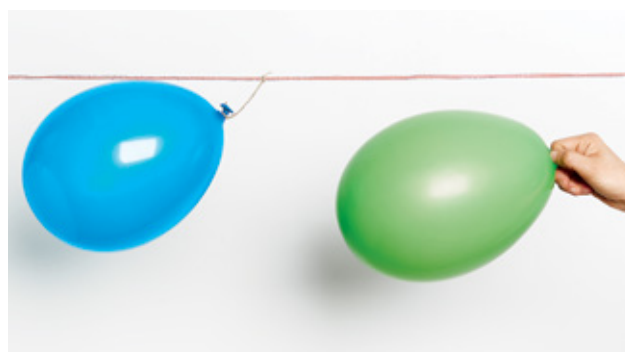
Usaremos dos criterios para clasificar las fuerzas:

- **Atendiendo a la propiedad de la materia con la que se relacionan.** Según este criterio, las fuerzas se clasifican en tres grandes grupos de fuerzas fundamentales:
 - **Gravitatorias.** Se deben a la masa. Son las responsables del peso de los cuerpos, y de que los astros se agrupen en el universo.
 - **Electromagnéticas.** Tienen su origen en las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia. Son las responsables, por ejemplo, de que funcionen las brújulas y de las descargas eléctricas.
 - **Nucleares.** Con ellas se explican fenómenos como la radiactividad o la energía que se libera en las estrellas.
- **Atendiendo a la necesidad de contacto.** Según este criterio, las fuerzas pueden ser:
 - **De contacto.** Si es necesario que haya contacto para ejercerlas; por ejemplo, cuando empujas un objeto.
 - **A distancia.** Cuando el contacto no es necesario; por ejemplo, las fuerzas entre imanes, o las responsables de que los cuerpos caigan.

Fuerzas en nuestro entorno



Las fuerzas gravitatorias actúan a distancia. Por ejemplo, cuando un objeto cae al suelo a causa de su propio peso.



Las fuerzas electromagnéticas pueden actuar por contacto o a distancia. La que sostiene el globo actúa por contacto, y la que hace que el otro se separe, a distancia.

Aprende, aplica y avanza

2 Indica si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones. Razona tu respuesta:

- a) Es correcto decir que un boxeador tiene mucha fuerza.

.....

- b) Atendiendo a la necesidad de contacto, una fuerza puede ser gravitatoria o nuclear.

.....

- c) La fuerza de la gravedad es un ejemplo de fuerza a distancia.

.....

- d) Si ejercemos una fuerza sobre un cuerpo elástico, este se deformará para siempre.

.....

2 Fuerzas cotidianas

Las fuerzas que nos rodean

Desde que nos levantamos hasta que nos acostamos, ejercemos multitud de fuerzas con efectos muy diversos. Las fuerzas cotidianas presentes en nuestro entorno son: el **rozamiento**, el **peso**, la **normal**, la **tensión** y la **fuerza elástica**.

Excepto el peso, que tiene origen **gravitatorio**, las demás fuerzas de nuestro entorno son **electromagnéticas**. Las gravitatorias son siempre atractivas, y las electromagnéticas pueden ser atractivas o repulsivas.

Rozamiento



El **rozamiento** es una **fuerza de origen electromagnético** que actúa sobre las superficies de **contacto** de los cuerpos, **oponiéndose al movimiento**.

La existencia del rozamiento nos obliga a aplicar fuerzas para mantener el movimiento, pero sin él no podríamos realizar acciones como caminar o escribir.

En la imagen, el patinador no puede dejar de impulsarse si quiere mantener su velocidad constante. Ocurre, en general, en todos los movimientos.

Peso



El **peso** de un cuerpo en la Tierra es la **fuerza** con la que esta lo atrae.

El **peso** y la **masa** son **magnitudes diferentes**, aunque íntimamente relacionadas mediante la **aceleración de la gravedad, g**, que en la Tierra tiene un valor aproximado de $9,8 \text{ m/s}^2$.

$$P = m \cdot g$$

Para sujetar un objeto, hay que ejercer una fuerza igual a su peso. Como este siempre apunta hacia abajo, la que ejercemos ha de hacerlo hacia arriba.

Ejercicio resuelto

Calcula el peso de un cuerpo de 50 kg de masa que se encuentra en la superficie de nuestro planeta.

En la superficie de la Tierra, la aceleración de la gravedad tiene un valor medio de $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; por tanto, el peso de un cuerpo de 50 kg de masa que se encuentra en la superficie del planeta es:

$$P = m \cdot g = 50 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 490 \text{ N}$$

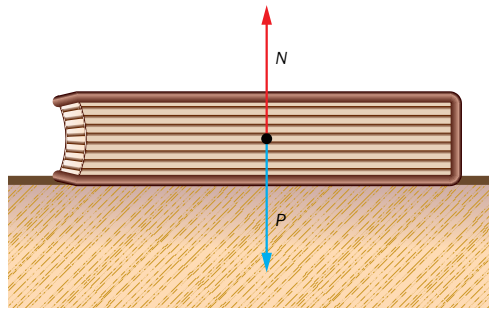
En la superficie terrestre, el cuerpo pesará 490 N .

Normal

La **fuerza normal, N** , es contraria al peso y **perpendicular a la superficie de contacto** de dos cuerpos.

La fuerza normal, que se debe a que dos cuerpos no pueden estar a la vez en el mismo lugar, es **perpendicular a la superficie de contacto**.

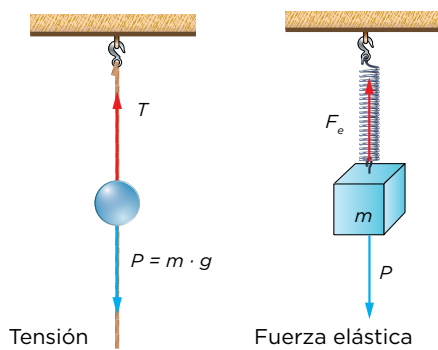
La mesa ejerce una fuerza, contraria al peso, que sujeta el libro. Es la fuerza normal, debida a la impenetrabilidad de la materia.



Tensión y fuerza elástica

Cuando trasladamos un cuerpo tirando de él con cuerdas o cables, o lo colgamos de ellos, estos se tensan. En estos casos, la fuerza que hacemos se transmite al cuerpo a través de las cuerdas o cables, que están sometidos a una fuerza que llamamos **tensión, T** .

Por otro lado, un cuerpo elástico deformado tiende a recuperar su forma original, ejerciendo una **fuerza opuesta a la que lo deforma**. Esta fuerza recibe el nombre de **fuerza elástica o recuperadora**.



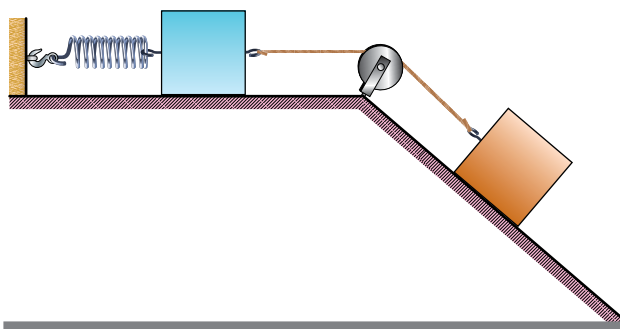
Aprende, aplica y avanza

1 Observa la fotografía del patinador de la página anterior e identifica las fuerzas que actúan sobre él.

.....

.....

2 Identifica las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo de la imagen.



.....

.....

.....

.....

3 Indica alguna situación de la vida cotidiana en la que esté presente la fuerza de rozamiento, y valora sus aspectos positivos y negativos.

.....

.....

.....

3 Movimientos

Para definir un **movimiento** debemos conocer diversos parámetros: la **posición** y la **trayectoria**, que dependen del sistema de referencia elegido, el **espacio recorrido**, la **rapidez media** y la **aceleración**.

Sistema de referencia y posición

Un **sistema de referencia** es un lugar, llamado **origen del sistema**, junto con la **forma de localizar** un objeto respecto de él.

Cuando decimos que un objeto está en reposo nos referimos a que no se mueve respecto de nosotros; dicho de otro modo, nos tomamos como referencia.

Una vez decidido el sistema de referencia, podemos hablar de la **posición de un objeto**, o **lugar en el que se encuentra respecto del origen**; si la posición cambia, diremos que el cuerpo se mueve en ese sistema de referencia. En el SI, la posición se expresa en **metros (m)**.

Trayectoria

La **trayectoria** es la **línea que resulta de unir las posiciones** por las que va pasando un cuerpo durante su movimiento. Al igual que la posición, **depende del sistema de referencia**.

Podemos diferenciar varios tipos de movimientos según sus trayectorias:

- **Movimientos rectilíneos:** cuando la trayectoria es una **línea recta**, por ejemplo, cuando dejamos caer un objeto.
- **Movimientos curvilíneos:** cuando la trayectoria es una **línea curva**, como en las montañas rusas.
- **Movimientos circulares:** cuando la trayectoria es una **circunferencia**, por ejemplo, en las norias.

Relatividad del movimiento



Los objetos se mueven, o no, dependiendo del lugar que se tome como referencia. Por eso decimos que el **movimiento es relativo**, pues podremos hablar de él, o no, dependiendo del sistema de referencia.

Así, podemos decir que el niño de la imagen se encuentra en reposo respecto de la casa, pero se está moviendo respecto del Sol, pues la Tierra se mueve alrededor de él y, por tanto, también lo hacen todos los objetos que se encuentran en ella.

Trayectoria como sistema de referencia



Para estudiar movimientos cotidianos, se puede tomar **como referencia la trayectoria**, y como **origen, un punto cualquiera de ella**.

En este sistema de referencia, la posición de un cuerpo queda definida por la distancia, medida sobre la trayectoria, entre el origen y el lugar que ocupa en cada momento. En una carretera, si se toma el km 0 como origen del sistema de referencia, los puntos kilométricos indican la posición.

Espacio recorrido

Se denomina **espacio recorrido, e**, a la **distancia, medida sobre la trayectoria**, que separa la posición inicial de la posición final de un cuerpo en movimiento (si no cambia de sentido). En el SI se mide en **metros (m)**.

Se puede expresar matemáticamente mediante la fórmula:

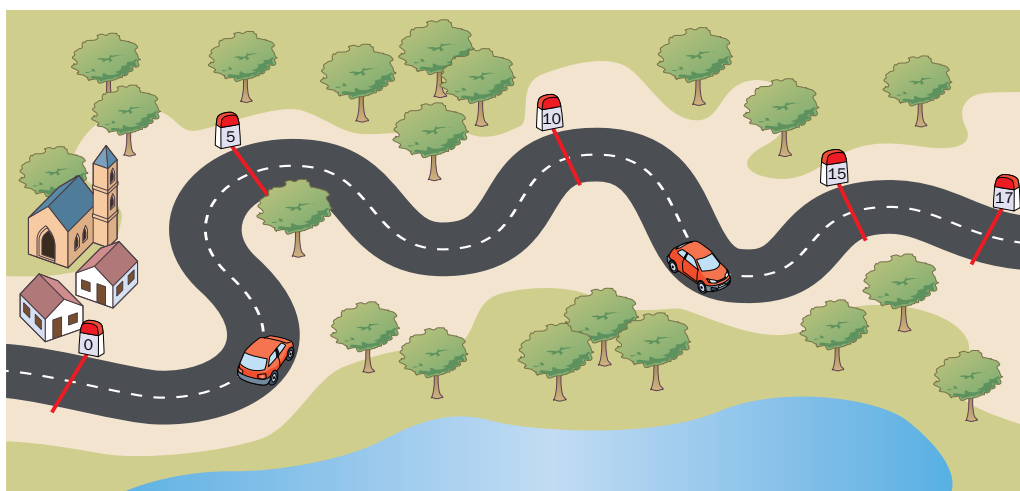
$$e = s_f - s_0$$

Donde:

- «e» es el espacio recorrido.
- «s₀» es la posición inicial del movimiento.
- «s_f» es la posición final del movimiento.

Ejercicio resuelto

Calcula el espacio recorrido por el coche de la figura desde que se encuentra en s₀ = 5 km hasta que llega a s_f = 17 km.



Para estudiar el movimiento del coche de la figura, tomaremos como sistema de referencia la carretera, y como origen, un punto cualquiera de esta, por ejemplo, el kilómetro cero.

El espacio recorrido lo calculamos como la distancia, medida sobre la trayectoria (la carretera), entre la posición inicial y la final del trayecto estudiado:

$$e = s_f - s_0 = 17 \text{ km} - 5 \text{ km} = 12 \text{ km}$$

Aprende, aplica y avanza

- 1 Si el coche del ejercicio resuelto pasa del kilómetro 2 al 20, ¿cuáles son sus posiciones inicial y final? ¿Qué espacio ha recorrido? ¿Y si pasa del kilómetro 11 al 0?

Rapidez media

Para indicar el **espacio recorrido en cada unidad de tiempo**, se define la magnitud rapidez media. La **rapidez media**, v_m , resulta de dividir **el espacio recorrido entre el tiempo, t , que se invierte** en recorrerlo:

$$\text{rapidez media} = \frac{\text{espacio recorrido}}{\text{tiempo invertido}} \rightarrow v_m = \frac{e}{t}$$

La rapidez no tiene por qué ser constante durante todo el movimiento. La que lleva el cuerpo en un instante determinado se conoce como **rapidez instantánea**, v , y en cada momento puede ser mayor, menor o igual que la rapidez media.

Unidades de rapidez

En el SI, la rapidez se expresa en **metros partido por segundo, m/s**, aunque en nuestra vida cotidiana solemos utilizar el **kilómetro por hora, km/h**.

Para hacer el cambio de unidades, tenemos que relacionar el kilómetro y la hora con las unidades del SI:

Así: $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$; $1 \text{ h} = 1 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 3600 \text{ s}$

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} ; 1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para pasar **de m/s a km/h**, hay que **multiplicar por 3,6**.
 Para pasar **de km/h a m/s** hay que **dividir entre 3,6**.

El uso de proporciones, como se ha mostrado en este ejemplo, es el mejor modo de realizar los cambios de unidades.

Ejercicio resuelto

Un ciclista se desplaza a 8 km/h. Si parte de una posición que se encuentra 1,5 km a la izquierda de una casa que tomamos como referencia, y se mueve hacia la derecha, ¿cuál será su posición al cabo de 1 hora?



Del enunciado se extraen los siguientes datos:

- Posición inicial: $s_0 = -1,5 \text{ km}$ (tomamos valores negativos a la izquierda del origen).
- Rapidez: $v_m = 8 \text{ km/h}$ (como no dicen nada, se considera constante durante el movimiento).

De la expresión matemática de la rapidez media se puede obtener el espacio recorrido:

$$v_m = \frac{e}{t} \rightarrow e = v_m \cdot t = 8 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 1 \text{ h} = 8 \text{ km}$$

Conocidos el espacio recorrido y la posición inicial, se puede calcular fácilmente la posición final:

$$e = s_f - s_0 \rightarrow s_f = e + s_0$$

$$e = 8 \text{ km} - 1,5 \text{ km} = 6,5 \text{ km}$$

Por tanto, tras una hora de pedaleo el ciclista se encontrará a 6,5 km a la derecha de la casa.

Aceleración

Los movimientos en los que la rapidez es constante se denominan **movimientos uniformes**, y aquellos en los que varía, **acelerados**.

Se define la **aceleración, a** , como el **cociente entre la variación de rapidez y el tiempo, t** , en el que esta se produce.

Si representamos por « v_0 » a la rapidez inicial del trayecto estudiado, y por « v_f » a la final, la expresión matemática de la aceleración es:

$$a = \frac{\text{variación de rapidez}}{\text{tiempo empleado}} \rightarrow a = \frac{v_f - v_0}{t}$$

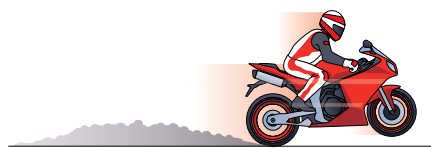
En el SI, la aceleración se expresa en **m/s²**.

Observa que:

- Si $v_0 = v_f$, la aceleración es nula ($a = 0$) y el movimiento es uniforme.
- Si $v_0 < v_f$, la aceleración es positiva ($a > 0$), y en lenguaje cotidiano decimos que el cuerpo «acelera».
- Si $v_0 > v_f$, la aceleración es negativa ($a < 0$), y en lenguaje cotidiano decimos que el cuerpo «frena».

Ejercicios resueltos

- 1** Una de las características de los vehículos es el tiempo que tardan en pasar de 0 a 100 km/h. Si una moto lo hace en 3,4 s, ¿cuál es su aceleración?



Expresamos la rapidez final en unidades del SI:

$$v_f = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 27,78 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Como la moto parte del reposo, $v_0 = 0$; así:

$$a = \frac{v_f - v_0}{t} = \frac{(27,78 - 0) \text{ m/s}}{3,4 \text{ s}} = 8,17 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Una aceleración de 8,17 m/s² significa que cada segundo que pasa la rapidez aumenta 8,17 m/s.

- 2** Un coche viaja a 72 km/h cuando, de repente, encuentra un obstáculo en la carretera. El conductor frena de modo que, en 2 s, alcanza los 36 km/h. Calcula la aceleración en unidades del SI.

En primer lugar, expresamos los datos en el SI:

$$v_0 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_f = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con estos datos:

$$a = \frac{v_f - v_0}{t} = \frac{10 - 20}{2 \text{ s}} = -5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Una aceleración de -5 m/s² significa que la rapidez disminuye 5 m/s cada segundo.

4 Máquinas simples

Una **máquina simple** es un artefacto mecánico que **transforma fuerzas**. **Varias** máquinas simples unidas, forman una **máquina compuesta**.

Palancas

Consisten en una barra rígida que, apoyada en un punto, puede girar libremente alrededor de este.

A la fuerza que aplicamos (F) se le llama **potencia**, la que queremos vencer recibe el nombre de **resistencia** (R), y el punto de apoyo, **fulcro**.

La distancia sobre la barra que separa el fulcro del punto en el que se aplica cada fuerza se denomina **brazo** (d), y se cumple que **el producto de cada fuerza por su brazo es constante**, lo que se conoce como **ley de la palanca**:

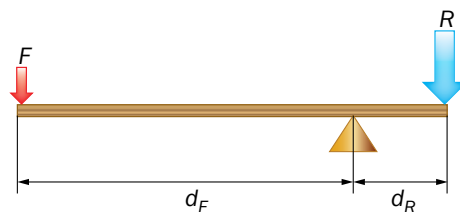
$$F \cdot d_F = R \cdot d_R$$

Tipos de palancas



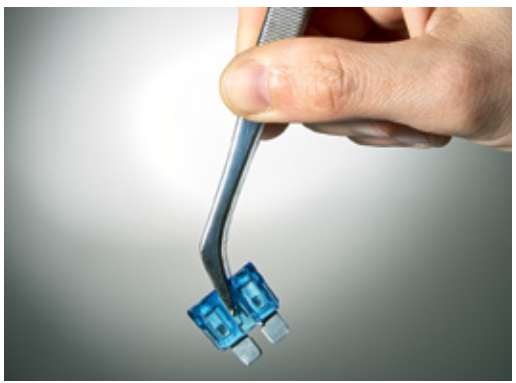
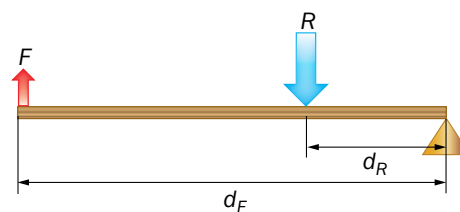
Palancas de primer género

Son las más simples y el **fulcro** se encuentra **entre la potencia y la resistencia**. Algunos ejemplos de este tipo de palancas son las tijeras y los alicates.



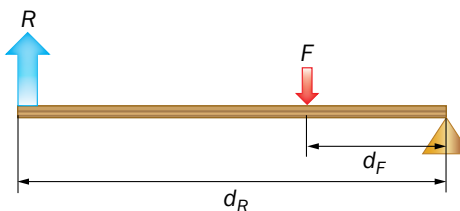
Palancas de segundo género

En este caso, la resistencia se encuentra **entre la potencia y el fulcro**. Ejemplos de estas palancas son la carretilla de mano y el cascanueces.



Palancas de tercer género

La **potencia** se encuentra **entre la resistencia y el fulcro**. Los quitagrapas y las pinzas son ejemplos de este tipo de palancas.

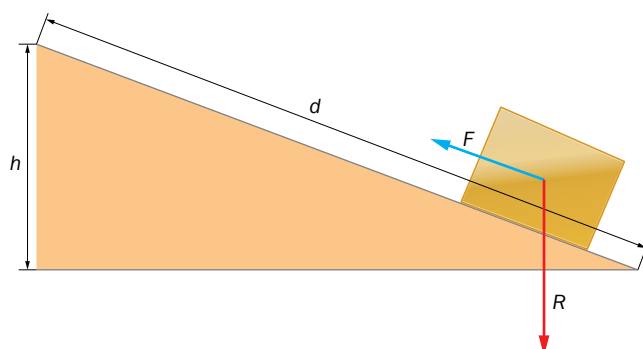


© Grupo Anaya, S.A. Material fotocopiable autorizado.

Plano inclinado

Consiste en una **superficie plana que forma un ángulo con la horizontal**. Sirve para **eleva**r cuerpos aplicando una fuerza menor que si se hiciera verticalmente, a costa de recorrer más distancia. La expresión matemática que relaciona las fuerzas con los desplazamientos es:

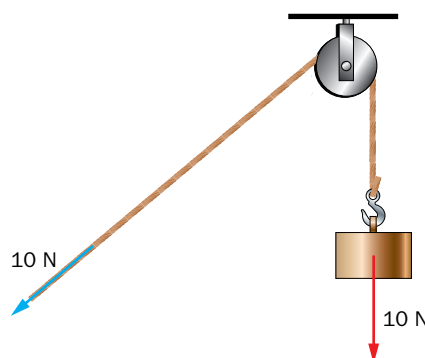
$$F \cdot d = R \cdot h$$



Polea

Se basa en un descubrimiento que cambió nuestro modo de vida: la **rueda con eje**. Consiste en una de estas ruedas con un canal en su contorno por el que pasa una cuerda o cadena.

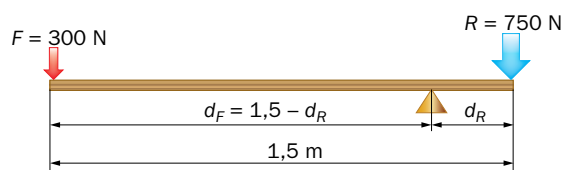
La fuerza a aplicar es igual a la que queremos vencer ($F = R$), y su ventaja radica en que podemos elegir la dirección en la que se ejerce la fuerza.



Ejercicios resueltos

1 Para mover una roca de 750 N se utiliza una barra de 1,5 m. Si la fuerza máxima que podemos aplicar es de 300 N, ¿dónde ha de estar el fulcro?

De acuerdo con la figura y según la ley de la palanca:



$$F \cdot (1,5 - d_R) = R \cdot d_R \rightarrow 1,5 \cdot F = (F + R) \cdot d_R$$

$$d_R = \frac{1,5 \cdot F}{F + R} = \frac{1,5 \cdot 300}{300 + 750} = 0,43 \text{ m}$$

2 Se desea subir una caja de 1 500 N hasta una altura de 1 m. ¿Qué longitud ha de tener una rampa para poder subirla aplicando una fuerza de 200 N?

De la relación entre fuerzas y distancias en un plano inclinado se puede obtener la longitud del plano para que la fuerza a aplicar sea de 200 N:

$$F \cdot d = R \cdot h \rightarrow d = \frac{R \cdot h}{F} = \frac{1500 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}}{200 \text{ N}} = 7,5 \text{ m}$$

Con rampas de menor longitud habría que aplicar una fuerza mayor de 200 N, y sería menor de 200 N para rampas de mayor longitud.

Aprende, aplica y avanza

- 1** Argumenta: ¿qué clase de palanca es una caña de pescar? ¿Y un remo? Ilustra tus respuestas con dibujos que representen la potencia, la resistencia y el fulcro.
- 2** Un albañil transporta 700 N de ladrillos con una carretilla de mano. ¿Qué fuerza ha de aplicar para levantar la carretilla si la distancia rueda-ladrillos es de 40 cm, y la de ladrillos-mangos, 60 cm?
- 3** Necesitamos levantar una piedra de 100 N. Para ello, podemos optar por usar una palanca de 2 m de longitud con el fulcro situado a 0,5 m del punto de aplicación de la fuerza; o usar una rampa de 1,5 m de altura y 5 m de longitud. ¿Qué método elegirías para usar la menor fuerza posible?

5 Niveles de agrupación entre cuerpos celestes

La teoría del *big bang* y los cuerpos celestes

De acuerdo con la **teoría del *big bang***, hace unos 13 700 millones de años toda la materia y la energía del universo estaban concentradas en un punto infinitamente pequeño.

Este punto infinitamente pequeño se expandió con gran energía y, con el tiempo, se fueron formando los átomos, que se fueron agrupando dando lugar a las primeras estrellas y galaxias, de las que se formaron todos los demás cuerpos del universo.

Los cuerpos celestes

- **Los sistemas planetarios: el sistema solar.** Un sistema planetario está compuesto, básicamente, por una estrella central y distintos objetos que orbitan alrededor de ella. Nuestro sistema planetario es el **sistema solar**, formado por el Sol, ocho planetas, algunos planetas enanos, satélites, asteroides y cometas.
- **Las estrellas.** Las estrellas son cuerpos esféricos formados por enormes cantidades de gases y que generan una enorme cantidad de energía a partir del hidrógeno que se consume en las **reacciones nucleares** que suceden en su interior. Las estrellas se forman al compactarse y concentrarse las **nebulosas** (enormes nubes de polvo y gas).
- **Las galaxias: la Vía Láctea.** Las galaxias son enormes agrupaciones de estrellas; entre ellas hay gas y polvo. Cada galaxia puede contener miles de millones de estrellas y, en muchas ocasiones, sistemas planetarios. Nuestra galaxia se llama Vía Láctea, y está formada por unos cien mil millones de estrellas, entre las que se encuentra el Sol.

Relatividad del movimiento

En el universo, las distancias son muy grandes, y para poder manejarlas con números sencillos se utilizan otras unidades diferentes a las del SI, como la unidad astronómica (ua) o el año luz:

- **Unidad astronómica (ua).** Se define como la distancia media Tierra-Sol:

$$1 \text{ ua} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

- **Año luz.** Es la distancia que recorre la luz en un año. Como la luz viaja en el vacío con rapidez constante, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, un año luz equivale a:

$$1 \text{ año} \cdot \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow$$

$$1 \text{ año luz} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Aprende, aplica y avanza

- 1 Las galaxias más lejanas a la Tierra se encuentran a unos 13500 millones de años luz. ¿Cuánto tarda la luz en llegarnos desde ellas? ¿Existía la Tierra cuando se formaron? Expresa la distancia referida en ua y en el SI.

.....

.....

.....