

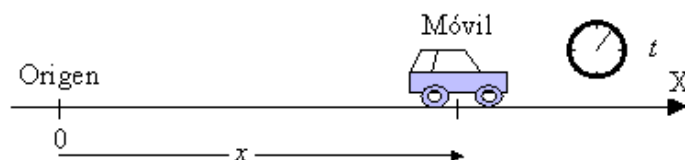
CIENCIAS (BIOLOGÍA, FÍSICA, QUÍMICA)**MÓDULO 2****Eje temático: Física: El movimiento - El calor - La Tierra y su entorno****1. El movimiento****1.1. Descripción del movimiento**

Para referirse a los movimientos con la rigurosidad que exige la física, es imprescindible manejar muy bien ciertos conceptos. Algunos de ellos, como *trayectoria*, *desplazamiento*, *velocidad* y *aceleración*, son útiles para describir los movimientos; otros, como *fuerza*, *momentum* y *energía* nos permiten expresar las leyes que los rigen y, por lo tanto, hacer predicciones sobre ellos.

En 2º Año Medio se estudia fundamentalmente el movimiento rectilíneo, es decir, aquel cuya trayectoria es una recta.

Posición, tiempo y velocidad:

Para describir el movimiento hay dos conceptos básicos a partir de los cuales se construyen todos los demás. Ellos son: posición (x) y tiempo (t). La posición corresponde a la distancia a que se encuentra el móvil de un punto cualquiera de la recta que denominaremos origen (0) y que podemos medir en unidades como el metro (m) o el kilómetro (km). El tiempo es lo que marca un reloj o cronómetro y que podemos medir en unidades como el segundo (s) o la hora (h).



El vehículo ocupará una posición en cada instante. Si en el instante inicial t_i ocupa la posición x_i y en t_f la posición x_f , entonces en el tiempo transcurrido $\Delta t = t_f - t_i$ experimentará el desplazamiento $\Delta x = x_f - x_i$ y su velocidad media será

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} [1], \text{ cuyas unidades serán, por ejemplo, m/s o km/h.}$$

Ten presente que para convertir m/s a km/h debes multiplicar por 3,6 y, para convertir km/h a m/s hay que dividir por 3,6. Por ejemplo, 108 km/h corresponden a 30 m/s. ¿Por qué hay que hacer esto? Porque 1 km = 1.000 m y 1 h = 3.600 s.

Además, el vehículo poseerá una velocidad (v) en cada instante. Cuando esta velocidad es la misma en todo momento, decimos que el movimiento es *uniforme*, donde también la velocidad media e instantánea coinciden. Si la velocidad cambia instante a instante, en cambio, decimos que el movimiento es *acelerado*.

No es muy común observar objetos que se muevan en forma uniforme. Una persona caminando o un automóvil que transita por la calle, por ejemplo, por lo general cambian su velocidad con mucha frecuencia, y solo la mantienen constante por lapsos muy breves. Sin embargo, hay algunos fenómenos naturales y circunstancias particulares que bien pueden ser consideradas como movimientos uniformes. Ya conocimos en Primer Año Medio dos casos: el del sonido y el de la luz. En efecto, el sonido viaja en el aire a una velocidad de unos 340 m/s, si el aire es homogéneo (igual temperatura, presión y sin que exista viento), y en el vacío, la luz viaja a una velocidad de casi 300.000 km/s. También un tren puede mantener una velocidad constante durante algunos minutos.

Sabiendo todo esto, ya estás en condiciones de resolver problemas como los siguientes:

Ejemplo 1. Si desde que vemos un rayo en una tormenta hasta que oímos el trueno transcurren 3 segundos, ¿aproximadamente a qué distancia de donde estamos se produjo el rayo?

Como la velocidad de la luz es muy alta comparada con la del sonido, el tiempo que tarda la luz del rayo en llegar hasta nosotros lo podemos despreciar. Luego, de [1] se tiene que $\Delta x = v\Delta t$, es decir, $\Delta x = (340 \text{ m/s}) \times (3 \text{ s}) = 1020 \text{ m}$. Es decir, el rayo se produjo a poco más de 1 km de nosotros.

Ejemplo 2. Si la distancia del Sol a la Tierra es de 150.000.000 de km, ¿cuánto tiempo tarda la luz en viajar desde él hasta nosotros?

La luz viaja por el vacío del espacio a razón de 300.000 km/s. De [1] se tiene que el tiempo que demora en llegar a la Tierra debe ser: $\Delta t = \frac{\Delta x}{v}$; es decir,

$\Delta t = \frac{150.000.000 \text{ km}}{300.000 \text{ km/s}}$, lo que corresponde a $\Delta t = 500 \text{ s}$. Si dividimos por 60, sabremos que el retraso con que vemos el Sol es de 8,3 minutos.

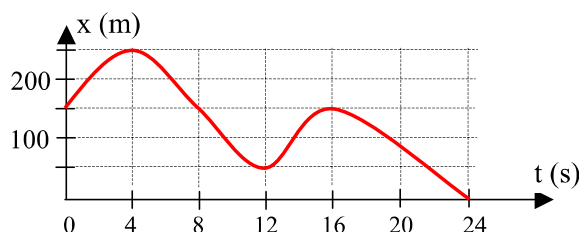
Ejemplo 3. Un tren viaja uniformemente y en línea recta con una velocidad de 72 km/h. Si su longitud total es de 100 metros, ¿cuánto tiempo tarda en pasar frente a nosotros?

De [1] se tiene que este tiempo debe ser $\Delta t = \frac{\Delta x}{v}$; es decir, $\Delta t = \frac{100 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 5 \text{ s}$.

Debes notar que 72 km/h corresponden a $72 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$.

Cuando un movimiento no es uniforme, la representación gráfica de la posición en función del tiempo es de gran utilidad. A este tipo de gráfico lo denominamos *itinerario*, y debes saber construirlos y extraer información de ellos para poder, por ejemplo, responder preguntas como las siguientes:

Ejemplo 4. Un automóvil viaja en línea recta de modo que su posición (x) respecto de un punto (origen) está descrita por el gráfico siguiente:



a) ¿Aproximadamente dónde está el vehículo en el instante $t = 20 \text{ s}$?

Una lectura directa del gráfico nos hace ver que la respuesta es $x \approx 80 \text{ m}$.

b) ¿Aproximadamente en qué instante o instantes el vehículo estuvo situado a 200 m del origen?

Esto ocurre según el gráfico en dos instantes. Aproximadamente en $t \approx 1,5 \text{ s}$ y también en $t \approx 6 \text{ s}$.

c) ¿Qué desplazamiento realiza en los 24 s descritos en el gráfico?

Como el desplazamiento es $\Delta x = x_f - x_i$, y $x_i = 150 \text{ m}$ y $x_f = 0 \text{ m}$, tenemos que $\Delta x = -150 \text{ m}$.

d) ¿Qué camino recorrió en los 24 s representados en el gráfico?

Esta pregunta se parece mucho a la anterior, pero tiene una respuesta muy diferente. Ello se debe a que el vehículo cambió el sentido de su movimiento varias veces y debe ser analizado con cuidado: en efecto, entre $t = 0$ y $t = 4 \text{ s}$ recorrió 100 m en un sentido. Entre $t = 4 \text{ s}$ y $t = 12 \text{ s}$ recorrió 200 m en sentido opuesto. Entre $t = 12$ y $t = 16$ recorrió otros 100 m y, finalmente, entre $t = 16$ y $t = 24 \text{ s}$, recorrió 150 m. Es decir, el camino que recorrió fue en total de 550 m. Debes estar atento para no confundir desplazamiento con camino recorrido.

e) ¿Cuál fue su velocidad media en los 24 s representados en el gráfico?

Cuando $\Delta t = 24$ s, $\Delta x = -150$ m. De [1] tenemos que $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, entonces $v_m = -6,25$ m/s.

Debes notar que el signo negativo de la velocidad proviene del desplazamiento, lo cual significa simplemente que globalmente el vehículo se movió en sentido opuesto al sistema de coordenadas.

f) ¿Cuántas veces estuvo detenido el vehículo? ¿En qué momentos?

El vehículo se detuvo instantáneamente en los momentos en que cambió el sentido del movimiento. Ello ocurrió tres veces: en $t = 4$ s, $t = 12$ s y en $t = 16$ s.

Velocidad y aceleración:

El vehículo en movimiento posee una velocidad específica en cada instante. Si en el instante t_i es v_i y en t_f , v_f , entonces, en el tiempo Δt la velocidad habrá variado en $\Delta v = v_f - v_i$ y la aceleración experimentada por el móvil será $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, [2] la cual resulta expresada en unidades como el m/s^2 .

Es importante notar que si la velocidad aumenta, entonces la aceleración es positiva; si disminuye, será negativa; y si se mantiene, cero.

El concepto de aceleración es complejo y muchas veces se confunde con un movimiento muy rápido, lo cual es incorrecto. Para entenderlo preguntémosnos, ¿qué significa entonces que un vehículo que se mueve en línea recta posea una aceleración constante de -5 m/s^2 ? Simplemente que su velocidad se reduce 5 m/s cada segundo.

La aceleración da cuenta de cómo cambia la velocidad. En base a este concepto debes ser capaz de resolver problemas como los siguientes:

Ejemplo 1. Un vehículo inicialmente en reposo acelera constantemente en línea recta a razón de 12 m/s^2 .

a) ¿Qué velocidad poseerá 10 s después de haber partido?

Como $v_i = 0$, de la definición de aceleración [2] tenemos que $v_f = a\Delta t$. Luego, $v_f = (12$ $m/s^2) \times (10$ $s) = 120$ m/s .

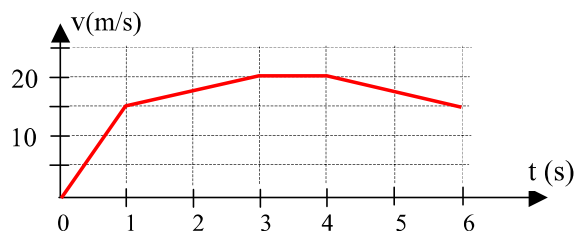
b) ¿Cuánto tiempo después de haber partido alcanza la velocidad de 42 m/s?

Como $v_i = 0$ y $v_f = 42$ m/s, de la definición de aceleración [2] se tiene que

$$\Delta t = \frac{v_f}{a}, \text{ por lo tanto, } \Delta t = \frac{42 \text{ m/s}}{12 \text{ m/s}^2} \cdot \Delta t = 3,5 \text{ s}.$$

La velocidad también se puede expresar por medio de un gráfico. Al igual que los gráficos itinerarios, debes saber construirlos y extraer información de ellos. Veamos un ejemplo de esto último.

Ejemplo 2. Un ciclista se mueve en línea recta con las velocidades que indica el gráfico siguiente:



a) ¿Aproximadamente qué velocidad tiene el ciclista en $t = 2$ s?

La lectura directa del gráfico indica que esta velocidad es de unos 17,5 m/s.

b) ¿Qué aceleración posee en $t = 3,2$ s?

También se ve directamente en el gráfico que entre $t = 3$ y $t = 4$ s la velocidad del ciclista se mantuvo constante (20 m/s), lo que significa que su aceleración durante ese tiempo fue nula.

c) ¿Qué aceleración experimentó durante el primer segundo?

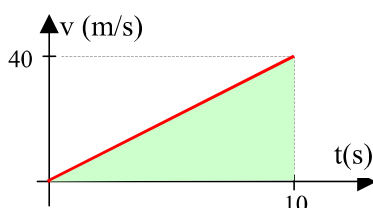
Como en el primer segundo $\Delta t = 1$ s y $\Delta v = 15$ m/s, aplicando [2], vemos que su aceleración fue de 15 m/s².

d) ¿Qué aceleración experimentó en los últimos dos segundos?

Como $\Delta t = 2$ s y $\Delta v = -5$ m/s, aplicando [2] vemos que su aceleración fue de 2,5 m/s².

Aceleración y desplazamiento:

Si un objeto acelera constantemente, aumentando su velocidad, en cada segundo experimentará cada vez mayores desplazamientos. Por ejemplo, si una moto acelera como lo indica el gráfico siguiente:



Su velocidad media en los 10 s se puede calcular con la expresión $v_m = \frac{v_i + v_f}{2}$ (igual como calculas el promedio de dos de tus notas), lo que resulta ser $v_m = 20$ m/s. Como $\Delta t = 10$ s y $\Delta x = v_m \Delta t$, tenemos que en ese tiempo debe haber experimentado un desplazamiento $\Delta x = 20$ (m/s) \times (10 s) = 200 m.

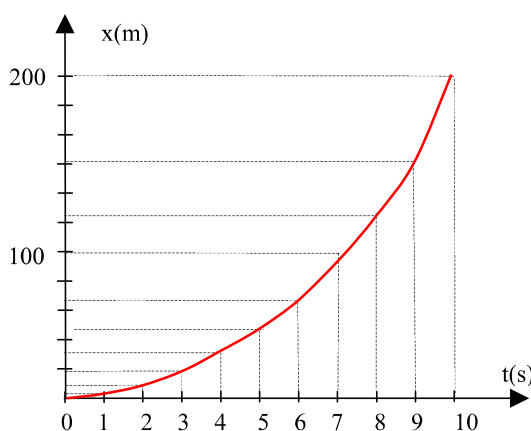
Si te fijas podrás darte cuenta que podemos escribir $\Delta x = \frac{1}{2} a t^2$. [3]

En efecto, como en este caso $a = 4$ m/s² y $t = 10$ s, reemplazando en la expresión anterior tenemos que $\Delta x = \frac{1}{2} 4 (\text{m/s}^2) \times (10 \text{ s})^2 = 200$ m.

También puedes verificar que el desplazamiento Δx corresponde al área achurada del gráfico de velocidades.

Supongamos que inicialmente el motociclista estaba en la posición $x = 0$. Si calculas sus posiciones (con la fórmula [3]) segundo a segundo, verás que ellas corresponden a los valores de la tabla y gráfico siguiente:

t(s)	x(m)
0	0
1	2
2	8
3	18
4	32
5	50
6	72
7	98
8	128
9	162
10	200



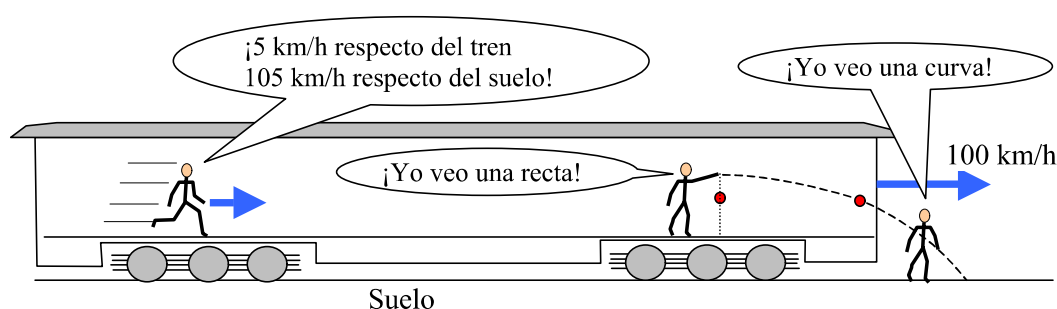
Aceleración de gravedad:

Una aceleración muy importante en nuestras vidas es la de gravedad (g), cuyo valor en la superficie terrestre ($9,8 \text{ m/s}^2$) podemos aproximar a 10 m/s^2 para facilitar los cálculos. Esta aceleración es la que experimenta una manzana cuando cae libremente desde cierta altura. Con lo de *libremente* queremos decir que no influye nada, o prácticamente nada, el roce con el aire, cosa que evidentemente no ocurre si en vez de una manzana se tratase de una pluma cayendo.

Relatividad del movimiento:

Todo movimiento es necesariamente descrito respecto de un sistema de referencias. Normalmente, cuando decimos que la velocidad de un auto es de 50 km/h o que la aceleración de una piedra que cae es 10 m/s^2 , el sistema de referencia es el suelo, y no necesitamos especificarlo. Sin embargo, el sistema de referencia no es siempre evidente: la descripción de un movimiento, como veremos, puede ser totalmente distinta dependiendo del sistema de referencias que consideremos.

En efecto: imagina que estás arriba de un tren que se mueve hacia el sur con una rapidez de 100 km/h . Supón que por el pasillo central una persona corre con una rapidez de 5 km/h en la misma dirección en que viaja el tren. ¿Cuál es la rapidez de esta persona respecto del suelo? La respuesta es 105 km/h . Ahora, si una persona en reposo respecto del tren deja caer una piedra comprobará que, respecto del tren, ella sigue una trayectoria rectilínea mientras que, respecto del suelo, ella describirá una trayectoria curva. La siguiente figura ilustra estas dos situaciones.



En otras palabras, la misma persona posee en un sistema de referencias una rapidez de 5 km/h y en otro 105 km/h . Una piedra se mueve en línea recta en un sistema de referencias y sigue una curva en otro. Lo importante de entender es que ambas descripciones son correctas.

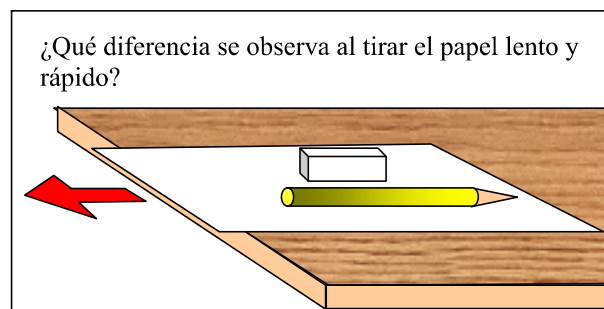
1.2. Fuerza y movimiento

Los principios de Newton

En este capítulo estudiaremos los principios de Newton y los efectos que producen las fuerzas en el movimiento. Los principios de este científico inglés son tres: El de *inercia*, el de *masa* y el de *acción y reacción*. En este tema, la *masa* (m) es una noción fundamental para dar cuenta de las leyes que rigen los movimientos. Recuerda que la masa puede ser expresada en kilogramos (kg) o gramos (g), y no es lo mismo que el *peso*, que como recordarás es una fuerza, la fuerza de gravedad (F_g).

En el principio de inercia lo más importante es reconocer que si la fuerza total sobre un cuerpo es cero, entonces este está detenido o bien posee un movimiento uniforme y rectilíneo; es decir, contrariamente a las nociones tradicionales, no es necesaria la acción de una fuerza para que un cuerpo se esté moviendo. Muchos hechos cotidianos son consecuencia de esta ley. Por ejemplo, cuando estamos viajando en un automóvil y este cambia su velocidad, frenando, acelerando o virando, nuestro cuerpo intenta seguir viajando con la velocidad que teníamos y en la misma dirección y sentido. El viajero del vehículo, cuando este frena, siente como si algo lo empujara hacia adelante; cuando el auto acelera, como si algo lo empujara hacia atrás y, cuando el auto dobla a la derecha, como si algo lo empujara hacia la izquierda. Evidentemente, en ninguno de estos casos hay *algo* que lo empuje, son sensaciones producto de la tendencia de nuestro cuerpo de seguir moviéndose del modo como venía haciéndolo.

Coloca un lápiz o una goma de borrar (o ambos) sobre una hoja de papel. Toma la hoja y deslízala lentamente sobre la mesa. La goma y el lápiz se moverán con ella. Tira ahora la hoja lo más rápidamente que puedas, ¿qué ocurre? La goma y/o el lápiz se quedarán prácticamente en el mismo lugar. Del mismo modo algunos magos sacan el mantel de una mesa sin que se muevan las copas, platos y jarrones. El truco es aplicar el principio de inercia. Para dejar sorprendido a los espectadores, la situación debe cumplir dos condiciones: la masa de los objetos que están sobre el mantel no puede ser muy pequeña, y el roce entre los objetos y el mantel no debe ser muy grande.



En el segundo principio, el de masa, lo importante es advertir que las fuerzas cambian la velocidad de los objetos según la expresión

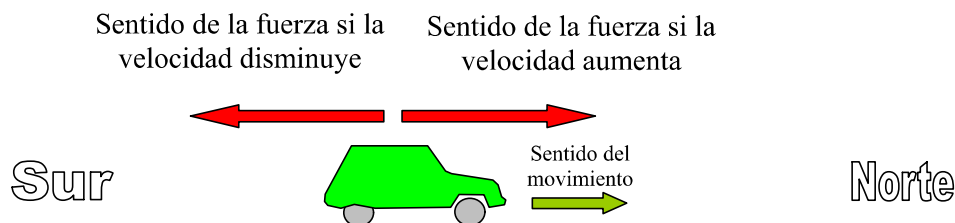
$$F = ma; \quad (1)$$

es decir, mientras mayor sea la fuerza sobre un cuerpo, mayor aceleración experimentará y, por otra parte, una misma fuerza producirá mayor aceleración, mientras menor sea la masa del cuerpo sobre el que actúa.

La expresión matemática de este principio (1) define el concepto de fuerza e incluye al principio de inercia. En efecto, si $F = 0$, necesariamente $a = 0$; es decir, no hay aceleración y, por lo tanto, o está en reposo, o bien se mueve con velocidad constante.

De la expresión (1) vemos que la unidad de fuerza debe ser igual al producto entre una unidad de masa y una de aceleración. En el Sistema Internacional (S.I) de unidades las fuerzas se miden, entonces, en $\text{kg} \times \text{m}/\text{s}^2$, unidad que se denomina *newton*.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que las fuerzas poseen una dirección y sentido en el espacio, las cuales dependen de la aceleración. Por ejemplo, un automóvil viaja en la dirección norte-sur, con el sentido hacia el norte, como se indica en la figura:



Si el vehículo tiene aceleración positiva, es decir, está aumentando su velocidad, entonces la fuerza que actúa sobre él está también dirigida hacia el norte. Pero si su aceleración es negativa, es decir está, reduciendo su velocidad (o va frenando), entonces la fuerza que actúa sobre él está actuando hacia el sur.

En el tercer principio –el de *acción y reacción*– es importante darse cuenta de varios aspectos. Primero, que la fuerza que actúa sobre un cuerpo necesariamente la está aplicando otro cuerpo; es decir, que las fuerzas se originan cuando los objetos interactúan entre sí.

Si designamos por A y B a un par de cuerpos que interactúan, entonces si $F_{A \rightarrow B}$ es la fuerza que A le aplica a B, entonces B aplica simultáneamente a A la fuerza $F_{B \rightarrow A}$, de igual magnitud, en la misma dirección que $F_{A \rightarrow B}$, pero en sentido opuesto. Matemáticamente podemos escribir: $F_{A \rightarrow B} = F_{B \rightarrow A}$. Por último, no hay que olvidar que las fuerzas que constituyen un par del tipo acción y reacción, a pesar de las características antes señaladas, no se anulan entre sí, pues actúan sobre cuerpos distintos.

Estos tres principios tienen muchas consecuencias y explican varios hechos que debes comprender.

Podemos diferenciar las fuerzas según el tipo de interacción en que se originan. Hay varias muy importantes en física: las eléctricas, las magnéticas, las nucleares, etc. A continuación nos referiremos a dos: la fuerza de gravedad (o peso) y a la fuerza de roce.

La fuerza de gravedad F_g . Corresponde al producto de la masa (m) de un objeto por la aceleración de gravedad (g) del lugar en que se encuentra (esté o no en movimiento); es decir: $F_g = mg$. Por ejemplo, el peso de una persona de 60 kg, aquí en la superficie terrestre ($g = 10 \text{ m/s}^2$), es de aproximadamente 600 newton.

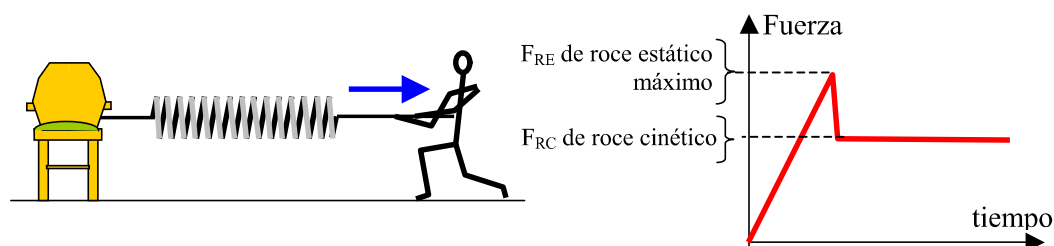
Es importante darse cuenta de que mientras la masa de un objeto es algo que lo caracteriza, su peso depende del lugar en que se encuentre. En efecto, la misma persona cuya masa es 60 kg y posee aquí en la superficie terrestre un peso de 600 newton, en la superficie de la Luna, donde $g = 1,6 \text{ m/s}^2$, su masa será la misma mientras su peso se reducirá a 96 newton, y en el espacio interestelar, lejos de cualquier astro, donde $g = 0$, deja de tener peso.

Es interesante saber que la aceleración de gravedad (g) no solo está presente en la superficie de nuestro planeta. En realidad se extiende a todo el universo. Tampoco es una propiedad exclusiva de la Tierra, pues la producen todos los cuerpos y todos, en mayor o menor medida, tienen un peso respecto de los demás. Por lo tanto, esta es la principal fuerza que determina la dinámica del universo a gran escala: galaxias, estrellas y planetas.

La fuerza de roce. Primero debemos tener presente que, cualquiera sea el origen del roce, la fuerza que produce siempre se opone al movimiento. Además debemos diferenciar entre las fuerzas de roce estático y de roce cinético. Para comprender esto analizaremos un ejemplo.

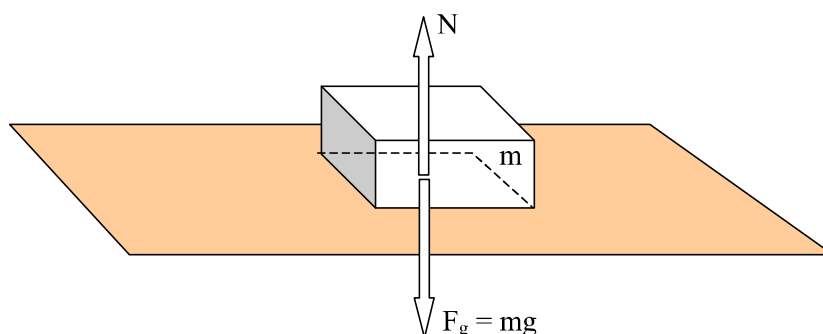
Supón que un mueble está en reposo en el suelo. Si quieres moverlo deberás aplicar una fuerza sobre él. Si le aplicas una fuerza creciente, por ejemplo usando un resorte o elástico, verás que éste se estira antes de que el mueble se empiece a mover. Allí está actuando el roce estático.

Después se empezará a mover y, para conseguir que se desplace lenta y uniformemente comprobarás que necesitarás aplicar una fuerza menor que la de roce estático máximo. Cuando el mueble ya se esté moviendo, estará actuando el roce cinético. El gráfico siguiente ilustra esta situación.



¿Por qué la fuerza que mide el resorte corresponde a la fuerza de roce? ¿En qué dirección actúa la fuerza de roce que experimenta la silla con el suelo? ¿De qué depende el roce entre la silla y el suelo?

La fuerza de roce F_R depende tanto de la fuerza normal (N) que el suelo aplica sobre la silla, como de los materiales de que estén hechos el suelo y las patas de la silla. En esta situación en que el suelo es horizontal, el valor de la fuerza normal es igual al peso de la silla.



Las fuerzas de roce estático F_{RE} y cinético F_{RC} se pueden expresar, en función de la fuerza normal N , del siguiente modo

$$F_{RE} = \mu_E N$$

$$F_{RC} = \mu_C N$$

En que μ_E y μ_C , denominados coeficientes de roce estático y cinético respectivamente, dependen exclusivamente de los materiales de las superficies en contacto.

La siguiente tabla proporciona algunos valores para estos coeficientes.

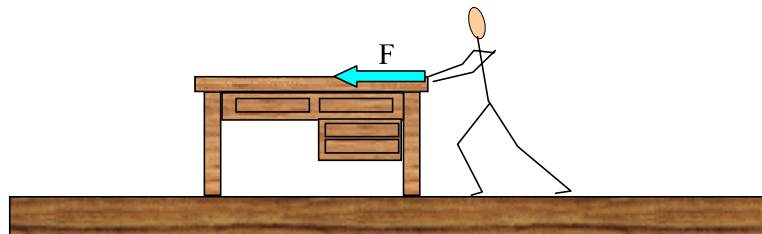
Materiales en contacto	(E)	(C)
Goma en concreto	0,9	0,7
Madera en nieve	0,08	0,06
Acero en acero	0,75	0,57
Madera en madera	0,7	0,4
Vidrio sobre vidrio	0,9	0,4

Veamos un par de ejemplos para comprender el significado de estos coeficientes.

Ejemplo 1:

Un mueble de 40 kg y con patas de madera está sobre un piso horizontal, también de madera.

- ¿Cuál es la mínima fuerza horizontal que se le debe aplicar para sacarlo de su estado de reposo?
- ¿Qué fuerza horizontal es necesario aplicarle para continuar deslizándolo una vez iniciado el movimiento?



Como se trata de madera sobre madera, los coeficientes de roce estático y cinético son $\mu_E = 0,7$ y $\mu_C = 0,4$ respectivamente. Como el peso del mueble es $F_g = (40 \text{ kg}) \times (10 \text{ m/s}^2) = 400 \text{ newton}$, igual a la normal N , por tratarse de una superficie horizontal, entonces, aplicando las relaciones anteriores tenemos como respuesta a la pregunta a):

$$F_{RE} = \mu_E N = 0,7 \times (400 \text{ newton}) = 280 \text{ newton}.$$

Y para la respuesta a la pregunta b):

$$F_{RC} = \mu_C N = 0,4 \times (400 \text{ newton}) = 160 \text{ newton}.$$

Ejemplo 2:

Un cajón de madera lleno de manzanas tiene una masa de 30 kg. Para deslizarlo suavemente sobre un suelo horizontal de concreto se necesita aplicarle una fuerza horizontal de 150 newton. ¿Cuál es el coeficiente de roce cinético entre la madera y el concreto?

Según las expresiones anteriores tenemos que $\mu_C = \frac{F_{RC}}{N}$. Como $N = (30 \text{ kg}) \times (10 \text{ m/s}^2) = 300 \text{ newton}$ y $F_{RC} = 150 \text{ newton}$, tenemos que $\mu_C = 0,5$.

Es importante notar que los coeficientes de roce son cantidades adimensionales; es decir, que no tienen una unidad de medición, que siempre, cualquiera sea el par de materiales que se considere, $\mu_E > \mu_C$ y que sus valores no dependen de la extensión de las áreas en contacto.

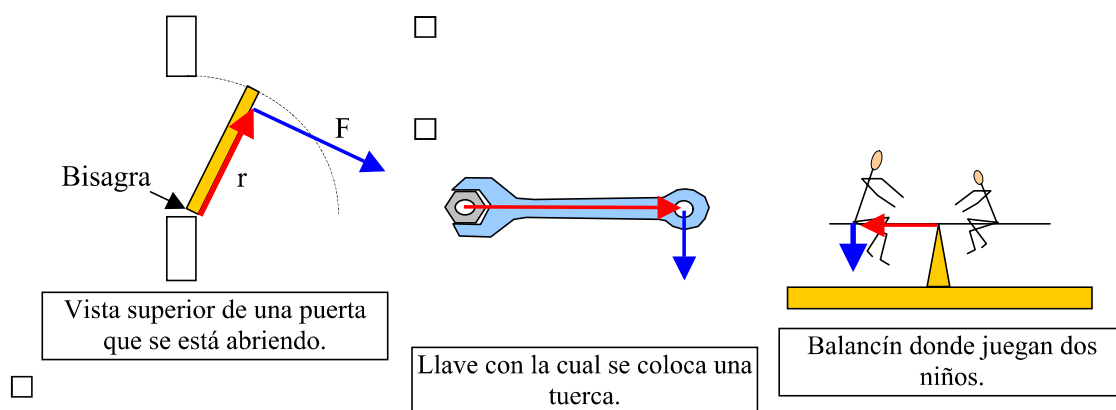
Fuerza y torque. La fuerza que actúe sobre un cuerpo, además de cambios en su estado de movimiento, puede producir otros efectos, como por ejemplo, deformarlo. Esto último ocurre cuando estiramos un elástico o resorte o bien cuando modelamos un trozo de greda o plasticina. En este último caso se trata de una deformación *permanente*, y en el primero, si el resorte o elástico es de buena calidad, *momentánea*. El caso de la deformación que experimenta un resorte cuando lo estiramos es de gran importancia, puesto que nos proporciona un método para medir fuerzas en situaciones estáticas. Este es precisamente el fundamento del dinamómetro.

Otro efecto que puede producir una fuerza, dependiendo del punto sobre el cual se aplique a un cuerpo, es el de *rotación* o *giro*. Cuando esto ocurre, decimos que la fuerza está produciendo un torque.

Aplicamos torque en muchas circunstancias: cuando empleamos herramientas como alicates y tijeras, con destornilladores, en un balancín en que juegan un par de niños o cuando abrimos o cerramos una puerta.

Si designamos por τ al torque producido por una fuerza F , se lo puede expresar como $\tau = Fr$, en que r , denominado brazo, es la distancia entre el eje de giro del cuerpo y el punto de aplicación de la fuerza para el caso simple en que la fuerza es perpendicular al brazo.

La siguiente figura ilustra algunos casos en que habitualmente se producen torques:



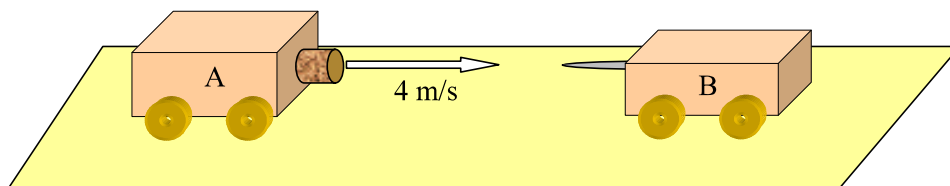
En todos los casos la fuerza se ha representado como una flecha azul y el brazo en rojo. En el caso del balancín se ha dibujado solamente el torque que aplica el niño más grande. Es interesante destacar que si el balancín está en equilibrio, entonces son los torques producidos por los pesos de los niños los que son iguales, y no las fuerzas.

1.3. Ley de conservación del momentum lineal

Otro concepto de gran utilidad es el de *momentum lineal* (p) (1) que corresponde al producto de la masa (m) y la velocidad (v) de un cuerpo, es decir, $p = mv$. Si hay dos cuerpos, el momentum total de ellos será $P = p_1 + p_2$. Ahora bien, la importancia de este concepto radica en lo siguiente: si el sistema de cuerpos está aislado, es decir, no actúan fuerzas externas sobre él, P es una cantidad que se conserva. Por ejemplo, si dos bolitas o carritos se mueven sobre una misma recta, en condiciones en que el roce pueda ser despreciado, el momentum total del sistema (P) permanece constante en el tiempo, pase lo que pase. Es decir, si las bolitas o carritos chocan, P será exactamente el mismo antes, durante y después del choque. Esta es la ley de conservación del momentum lineal.

Veamos un ejemplo para entender el concepto de momentum y la ley de su conservación.

Imagina dos carritos (A y B), de modo que B está inicialmente en reposo y A se le aproxima con una rapidez de 4 m/s. Si la masa de A es de 3 kg y la de B 2 kg y si despreciamos los efectos de roce, ¿con qué rapidez se quedará moviendo el conjunto cuando el clavo se entierre en el corcho y ambos carros se muevan unidos?



Hay dos instancias: antes de que los carritos se unan y cuando están unidos. Cuando el carrito A se aproxima a B los momenta (2) son:

$$p_A = (3 \text{ kg}) \times (4 \text{ m/s}) = 12 \text{ kgm/s.}$$

$$p_B = 0, \text{ pues está en reposo.}$$

$$P_{AB} = p_A + p_B = 12 \text{ kg} \times \text{m/s.}$$

Cuando los carritos están unidos:

$$P_{AB} = (5 \text{ Kg}) \times X, \text{ en que } X \text{ es la velocidad del conjunto.}$$

Como según la ley de conservación del momentum éste es el mismo en todo instante, entonces:

$$(5 \text{ Kg}) \times X = 12 \text{ kg} \times \text{m/s.}$$

De donde se entiende que $X = 2,4 \text{ m/s.}$

1.4. La energía mecánica y su conservación

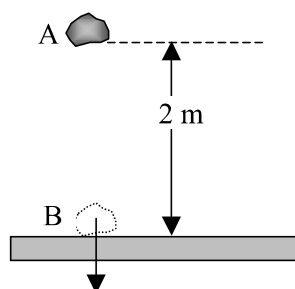
Sin duda, el concepto más importante de todos es el de *energía mecánica*. La energía (E) de un sistema corresponde a la capacidad que posee éste para realizar trabajo (T). Como este trabajo es el producto de la fuerza F que se aplica (en la dirección del desplazamiento) y el desplazamiento (Δx) (es decir, $T = F \Delta x$), se puede demostrar que la energía que posee un cuerpo de masa m, por encontrarse a la altura h del suelo, es $E_p = mgh$. A esta energía se la denomina *energía potencial gravitatoria*. Por otra parte, también se puede demostrar que la energía que posee una masa m, por el solo hecho de moverse con velocidad v, es: $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, que se denomina *energía cinética*.

Si bien todo esto es un poco complicado, vale la pena comprenderlo, pues la energía mecánica de un cuerpo $E = E_p + E_c$, es también una cantidad que permanece constante en el tiempo. En efecto, estamos refiriéndonos a la ley de conservación de la energía mecánica.

El trabajo mecánico y la energía se pueden expresar en newton multiplicados por metro, medida que denominamos *joule*.

Debes ser capaz de aplicar esta ley al caso de la caída libre en situaciones en que el roce con el aire sea despreciable. Veamos un ejemplo de esto.

Una piedra se suelta desde una altura de 2 m respecto del suelo aquí, en la superficie terrestre. Si despreciamos los efectos de roce con el aire, ¿con qué rapidez impacta en el suelo?



Hay aquí dos instancias: El momento en que la piedra se suelta en el punto A y el momento que impacta en el suelo en el punto B.

Sea M la masa de la piedra, g la aceleración de gravedad, h la altura desde la cual es soltada y X la velocidad con que impacta en el suelo, calculemos la energía mecánica total en cada uno de estos puntos.

$$E_A = E_{CA} + E_{PA} = 0 + Mgh = Mgh$$

$$E_B = E_{CB} + E_{PB} = \frac{1}{2}MX^2 + 0 = \frac{1}{2}MX^2$$

Como se ve, la energía cinética en A es cero, dado que su velocidad inicial es cero (se deja caer), y la energía potencial en B es cero, porque su altura también es cero.

Según la ley de conservación de la energía mecánica, la energía total en los puntos A y B debe ser la misma, por lo cual podemos escribir:

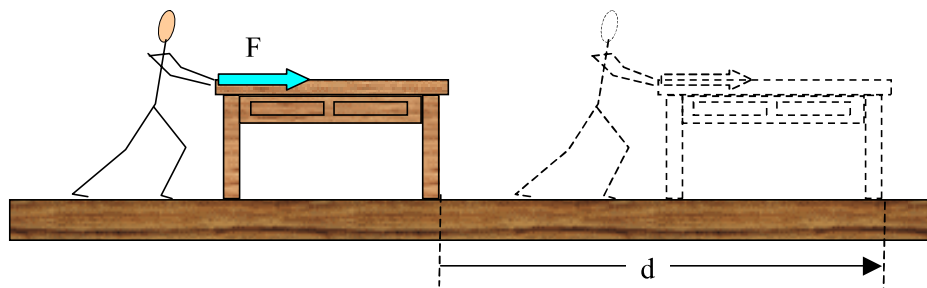
$$\frac{1}{2}MX^2 = Mgh.$$

Despejando X encontramos: $X = \sqrt{2gh}$, como $g = 10 \text{ m/s}^2$ y $h = 2 \text{ m}$, calculando encontramos que: $X = \sqrt{2 \times 10 (\text{m/s}^2) \times (2 \text{ m})} = \sqrt{40} \text{ m/s} \approx 6,3 \text{ m/s}$.

Es interesante observar que la masa M de la piedra se simplifica en el cálculo matemático, lo cual es consecuente con el hecho de que la caída libre de los cuerpos es, como lo descubriera Galileo, independiente de la masa.

Potencia. Por último, es necesario mencionar el concepto de *potencia* (W), que corresponde a la rapidez con que un sistema físico realiza trabajo, es decir: $W = \frac{T}{\Delta t}$, el cual se expresa, en el Sistema Internacional (S.I.), $\frac{\text{joule}}{\text{segundo}}$, que denominamos *watt*.

Supón que se traslada un mueble del modo que se ilustra en la figura.



Si la fuerza F que aplicas es 200 newton y el desplazamiento (d) que produces en el mueble es 10 m, entonces, el trabajo que realizas es:

$$T = Fd = (200 \text{ N}) \times (10 \text{ m}) = 2.000 \text{ joule}.$$

Ahora bien, este trabajo lo puedes realizar en diferentes tiempos. Si en trasladar el mueble te demoras 10 s, entonces la potencia que desarrollas es

$$W = \frac{T}{\Delta t} = \frac{2.000 \text{ J}}{10 \text{ s}} = 200 \text{ watt}$$