

*Preferiría comprender una sola causa que ser Rey de Persia*  
Demócrito de Abdera (S. V a.C.)

#### CONTENIDOS

- Fuerzas e interacciones
- Sistemas de fuerzas
- Las leyes de Newton
- El diagrama de cuerpo libre
- Tipos de fuerzas: fuerza elástica, fuerza normal, tensión, fuerza de rozamiento, fuerza peso
- Diferencias entre peso y masa

# 3

## LAS INTERACCIONES EN LA NATURALEZA

En este capítulo se desarrolla el concepto de fuerza y su relación con el de interacción.

Isaac Newton logró formalizar y establecer la relación entre estos conceptos mediante sus famosas Leyes del Movimiento, donde mostró que las fuerzas son la manifestación de las interacciones entre los cuerpos.

Una fuerza expresa cuantitativamente una interacción. Cuando una fuerza es aplicada sobre un cuerpo, éste experimenta una aceleración en la misma dirección y sentido que dicha fuerza. Si, en cambio, sobre el cuerpo no actúa una fuerza neta, entonces éste se mantiene en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, con respecto a un sistema inercial de referencia.

Newton logró así precisar el concepto de inercia que algunos de sus antecesores, como Galileo Galilei, ya habían comenzado a desarrollar.

En una interacción entre dos cuerpos, sobre cada uno de ellos actúa una fuerza de igual valor y dirección aunque de sentidos opuestos. El cuerpo de mayor masa experimenta una aceleración menor, mientras que el de menor masa adquiere una aceleración mayor. En otras palabras, el cuerpo de mayor masa presenta una resistencia al cambio de movimiento mayor que el cuerpo de menor masa.

Las interacciones pueden tener diverso origen. Por ejemplo, la causa de la interacción gravitatoria entre dos cuerpos es su masa, que da origen a la fuerza gravitatoria entre ellos. Según los conocimientos actuales, existen distintos tipos de interacciones fundamentales en la naturaleza: la interacción gravitatoria, la interacción fuerte, la interacción débil y la electromagnética. Cualquier otra interacción puede reducirse a alguna de las anteriores.



Puente Zárate Brazo Largo, provincia de Buenos Aires.

## Fuerzas e interacciones

En el lenguaje cotidiano, la palabra **fuerza** tiene diversos significados. Muchas veces se la usa como sinónimo de poder, intensidad o vigor. Así, se mencionan la fuerza de la naturaleza, la fuerza del amor, la fuerza de voluntad y las fuerzas productivas.

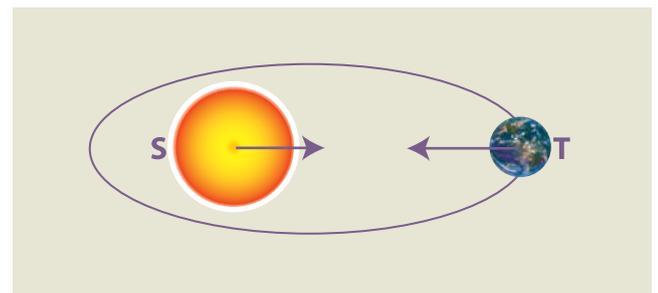
En Física, sin embargo, el concepto es muy específico y su significado es preciso. En principio, se reconoce como fuerza un agente físico capaz de cambiar la forma o la velocidad de un objeto. Para cambiar la velocidad de un objeto, ponerlo en movimiento, detenerlo, deformarlo o romperlo, es necesario aplicar una fuerza.

La fuerza se aplica, se ejerce o actúa sobre un objeto o una persona; y es ejercida por otro objeto u otra persona. En otras palabras, se establece una interacción entre los cuerpos. Por ejemplo, al levantar una caja se ejerce una fuerza sobre ella, pero también ella ejerce una fuerza sobre el brazo que la levanta. Asimismo, el Sol ejerce una fuerza de atracción sobre la Tierra, mientras que la Tierra también ejerce una fuerza atractiva sobre el Sol.

Isaac Newton comprendió que las fuerzas no son entes aislados, sino que expresan la acción mutua que se produce entre dos cuerpos. Una fuerza es, entonces, una medida cuantitativa de la interacción entre dos cuerpos. Esta interacción ocurre tanto entre cuerpos que se encuentran en contacto como entre cuerpos a distancia.

Newton asumió que la interacción entre dos cuerpos se produce instantáneamente, aunque no estaba verdaderamente convencido de esto.

Una **fuerza** es un agente físico capaz de cambiar la forma o la velocidad de un objeto.



**Sir Isaac Newton** nació en Woolsthorpe, Inglaterra, el 5 de enero de 1643 de acuerdo con el calendario gregoriano. Ingresó en la Universidad de Cambridge en 1661 y en 1665, a causa de la peste negra, regresó a su pueblo natal. Dos años más tarde volvió a Cambridge, donde escribió su obra *Philosophiae naturalis principia mathematica*, publicado en 1687. En 1705 la reina lo nombró caballero, y le confirió el título de "Sir". Murió en 1727, a los 84 años de edad y fue enterrado en la abadía de Westminster.



Sobre su tumba, reza el epitafio: "Aquí reposa aquello que era mortal de Isaac Newton".

De acuerdo con la manera como actúan las fuerzas, éstas pueden clasificarse como sigue.

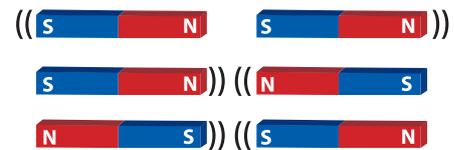
### Fuerzas por contacto

Son aquellas que actúan a través del contacto entre dos cuerpos. Cuando una persona empuja un armario para cambiarlo de lugar o levanta una caja, ejerce fuerzas por contacto.



### Fuerzas a distancia

Son aquellas que actúan sin necesidad de que los cuerpos estén en contacto. Por ejemplo la fuerza peso, la fuerza electrostática y la fuerza magnética. Dos imanes, según qué polos (N/S) se enfrenten entre sí, se atraen o se repelen magnéticamente aunque no estén en contacto.



### Unidades de fuerza

Para medir la intensidad de las fuerzas, en nuestro país, y en concordancia con el Sistema Internacional (SI), la unidad adoptada en el SIMELA es el newton (N); aunque todavía no es la más utilizada en la vida diaria. Cotidianamente, el peso se expresa en *kilos*. Sin embargo, este término es incorrecto en Física, puesto que la unidad que debería usarse es el **kilogramo fuerza** que se abrevia  $\vec{kg}$ .

La relación de equivalencia matemática que existe entre las dos unidades de fuerza mencionadas es la siguiente:

$$1 \vec{kg} = 9,8 \text{ N}$$

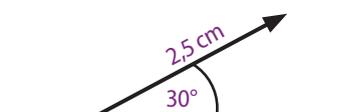
Por ejemplo, una persona para la cual la balanza de la farmacia marca 70 kg, posee un peso de 70  $\vec{kg}$  o, lo que es lo mismo, un peso de 686 N.

### Representación gráfica de fuerzas

Si se conoce el valor de la fuerza  $F$  y la escala  $E$ , entonces la longitud  $L$  del vector se calcula mediante la fórmula:

$$L = \frac{F}{E}$$

Por ejemplo, para representar una fuerza de 25  $\vec{kg}$  que forma un ángulo de 30° con la horizontal mediante una escala de 10  $\vec{kg}/\text{cm}$ , hay que graficar una flecha a 30° con una longitud de 2,5 cm.



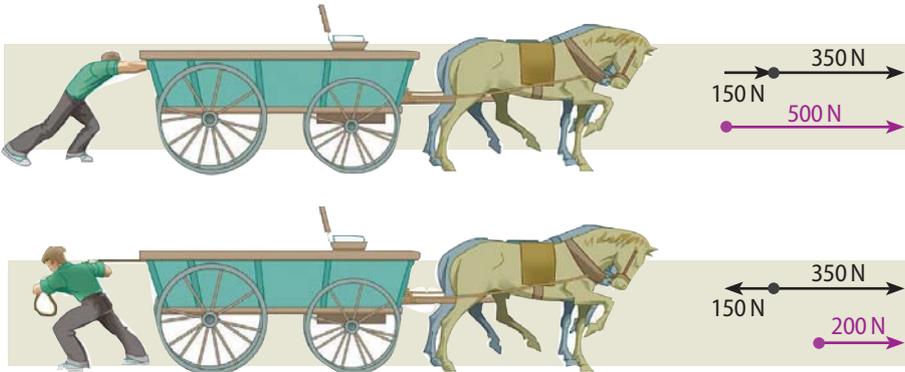
### La fuerza es una magnitud vectorial

La fuerza es una magnitud vectorial, y por esta razón se la representa mediante un vector (véase capítulo 2, página 22). Su origen está aplicado en el objeto y el sentido indica hacia dónde se ejerce dicha fuerza. El módulo del vector indica la intensidad de la fuerza aplicada.

Gráficamente, la longitud de cada vector fuerza se expresa en una escala que convenga. Así, una fuerza de 10 N podría representarse mediante un vector de 10 cm de longitud o también de 1 cm de longitud, entre otras posibilidades.

Sumar dos fuerzas no es simplemente sumar sus valores. Un campesino empujando un carro con una fuerza de 150 N en el mismo sentido que tira el caballo con una fuerza de 350 N produce el mismo efecto que una única fuerza de 500 N en el sentido de avance.

En cambio, si el caballo tira del carro hacia delante mientras que el campesino lo hace hacia atrás intentando detenerlo, el efecto sobre el carro es el mismo que una única fuerza de 200 N hacia delante.



Dinamómetro.

## Medición de la intensidad de una fuerza

El instrumento utilizado para medir fuerzas se llama **dinamómetro**. Uno muy sencillo consiste básicamente en un resorte que, al ser estirado, indica la fuerza aplicada según una escala predeterminada. A mayor estiramiento del resorte, mayor es la fuerza que se ha aplicado.

### Construcción de un dinamómetro

Para construir un dinamómetro sencillo se necesita un resorte del que se colgarán objetos con diferentes pesos. Para graduar y calibrar el sistema, será necesario colgar objetos de pesos conocidos y marcar la correspondencia sobre un papel.

### Materiales

Un tubo hueco. Un tubo macizo (de menor diámetro que el otro).  
Un tornillo. Un resorte. Un gancho.  
Diferentes pesos. Marcador indeleble.

### Procedimiento

1. Tomen el tubo hueco y perforen uno de sus extremos.
2. Coloquen el tornillo en el agujero como se muestra en la figura.
3. Tomen el tubo macizo y enganchen el resorte en un extremo y en la misma dirección que el tubo.
4. En el extremo libre del tubo macizo inserten el gancho en el cual se sostendrán los pesos.

5. Introduzcan el tubo macizo dentro del tubo hueco.

6. Cuelguen el extremo libre del resorte del tornillo que atraviesa el tubo mayor.

8. Cuelguen diferentes pesos del extremo libre del tubo interno y efectúen las marcas correspondientes con el marcador para realizar la graduación del dinamómetro.

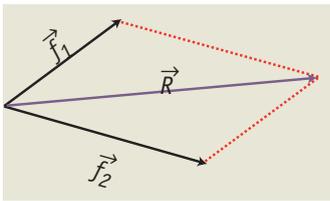
9. Las medidas intermedias se establecen proporcionalmente, siempre que el resorte no se someta a estiramientos que lo deformen permanentemente.

10. Una vez construido el dinamómetro, pueden medir intensidades de fuerzas en varias direcciones (verticales, horizontales, etc).

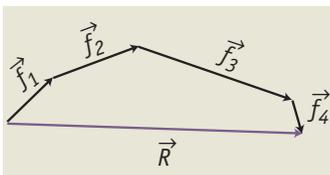


### ◀ Método del paralelogramo

El método del paralelogramo permite sumar dos o más vectores concurrentes, en este caso "fuerzas concurrentes". El procedimiento consiste en construir un paralelogramo a partir de dos fuerzas (vectores). La resultante coincide con la diagonal con orientación desde el origen al vértice opuesto.



◀ Método de la poligonal  
El método de la poligonal se usa para sumar fuerzas (vectores) concurrentes. Básicamente, consiste en graficar todas las fuerzas, una a continuación de la otra, con la dirección y el sentido correspondiente. Finalmente se une el origen de la primera fuerza con el extremo de la última y esa será la resultante.



## Sistemas de fuerzas

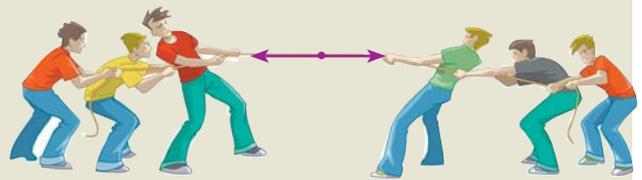
Se denomina **sistema de fuerzas** al conjunto de fuerzas aplicadas sobre un cuerpo. A la suma de todas las fuerzas se la llama **fuerza resultante** o simplemente **resultante**.

La resultante representa una fuerza que por sí misma podría reemplazar a todo el sistema produciendo el mismo efecto sobre el cuerpo.

Los sistemas de fuerzas pueden clasificarse como sigue.

### Sistemas de fuerzas colineales

Son los sistemas en los que las fuerzas actúan sobre la misma dirección. Cada fuerza puede presentarse en un sentido o en el opuesto. Para calcular el valor de la resultante de un sistema de fuerzas colineales, las intensidades de cada fuerza pueden sumarse y restarse. Para ello se elige uno de los sentidos como positivo; las fuerzas que tienen ese sentido se consideran de proyección positiva y las de sentido opuesto, de proyección negativa. Un ejemplo de este sistema se produce en la cinchada.



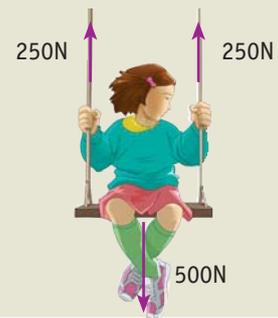
### Sistemas de fuerzas concurrentes

Son los sistemas en los que las direcciones de todas las fuerzas se cortan en el mismo punto. En estos casos, el valor de la resultante no puede calcularse sumando y restando las intensidades de cada fuerza. La resultante puede determinarse fácilmente en forma gráfica, mediante los métodos del paralelogramo y de la poligonal. Un ejemplo de fuerzas concurrentes se observa en un puente colgante.



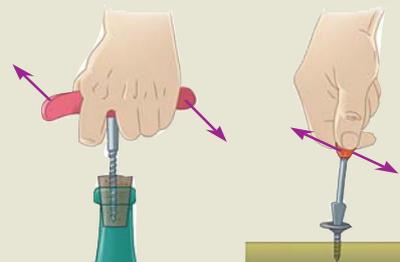
### Sistemas de fuerzas paralelas

Son los sistemas en los que las direcciones de las fuerzas son paralelas. El valor de la resultante se calcula sumando y restando las intensidades de las fuerzas. Para hallar el punto del objeto en el cual se aplica la resultante es necesario recurrir a un procedimiento que no trataremos en este libro. Un ejemplo es una hamaca, donde las dos sogas transmiten fuerzas verticales hacia arriba del asiento, mientras que el peso del cuerpo se orienta hacia abajo.



### Cupla

Son los sistemas formados por dos fuerzas paralelas de igual valor y de sentidos contrarios. Estas fuerzas producen rotación del objeto, aunque no traslación. Este caso se produce cuando se hace girar un destornillador para ajustar un tornillo o cuando se hace girar un sacacorchos en una botella.



## Las Leyes de Newton

Por insistencia de Edmund Halley (astrónomo que determinó la órbita del cometa que lleva su nombre), en 1686, Newton presentó a la imprenta sus tres Leyes del Movimiento en una obra titulada *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, o sea, *Principios matemáticos de la filosofía natural*.

### Primera Ley de Newton o principio de inercia

Se denomina **inercia** a la resistencia que presenta un objeto a los cambios en su estado de movimiento. Es decir, un objeto que se encuentra en reposo tenderá a seguir en reposo; un objeto que se encuentra a velocidad constante tenderá a seguir en este estado de movimiento en un sistema inercial de referencia.

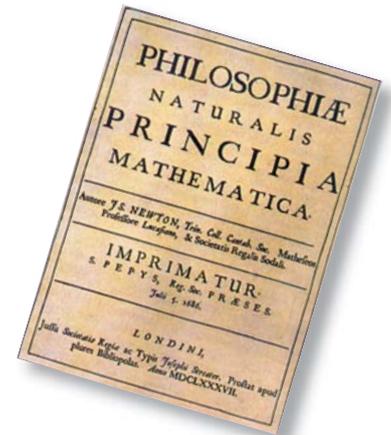
Formalmente, el principio de inercia sostiene que:

*Todo cuerpo continuará en su estado de reposo o de velocidad constante en línea recta (MRU) mientras sobre él no actúe una fuerza externa (neta) que lo haga cambiar su estado de movimiento.*

Un ejemplo cotidiano en el que se manifiesta esta ley se percibe al viajar en colectivo. Cuando el colectivo frena de golpe, los pasajeros tienden a seguir desplazándose hacia adelante. Una persona que observa lo sucedido de pie en la calle, puede apreciar claramente que los pasajeros se desplazan conjuntamente con el colectivo, con su misma velocidad. Cuando frena, como no están adheridos firmemente al suelo, los pasajeros continúan moviéndose con la velocidad anterior (la misma que tenía el colectivo antes de frenar). En otras palabras, por inercia los pasajeros tienden a conservar su estado de movimiento.

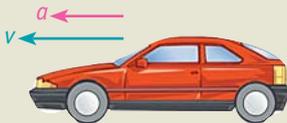
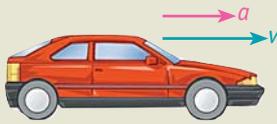


Otro caso interesante donde se verifica la ley de inercia se observa cuando un automóvil toma una curva a una rapidez considerable. Un pasajero dentro del vehículo siente una fuerza que lo empuja lateralmente. La explicación, para un observador situado en la vereda, es que el pasajero tiende a seguir en línea recta y a velocidad constante, pero la puerta del auto no se lo permite, obligándolo a girar conjuntamente con él.

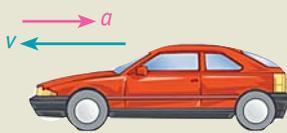
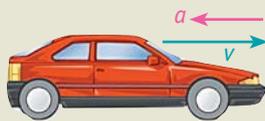


*Principios matemáticos de la filosofía natural* escrito por Newton y publicado en 1687.

### Aumento de rapidez



### Disminución de rapidez



Se denomina **masa inercial** la propiedad por la cual los objetos de diferentes masas ofrecen distintas resistencias a cambiar su estado de movimiento. En el SIMELA se mide en kilogramos masa (kg).

## Segunda Ley de Newton o principio de masa

Cuando se empuja un auto que no arranca, éste adquiere una rapidez cada vez mayor. La aceleración tiene, además, el mismo sentido que la fuerza aplicada. En general, un cuerpo acelera cuando se aplica una fuerza neta sobre él. La rapidez aumenta si la fuerza aplicada tiene el mismo sentido que la velocidad, mientras que su rapidez disminuye si la fuerza se opone a la velocidad.

La Segunda Ley de Newton, conocida como principio de masa, sostiene que:

*La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él.*

La dirección y el sentido de la aceleración coinciden con la de la fuerza neta aplicada. Esta relación se expresa matemáticamente mediante la ecuación:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

O más conocida como:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ , donde  $\vec{F}$  representa la fuerza externa y  $m$  su masa inercial.

Toda fuerza neta produce una aceleración, es decir una variación de la velocidad y, por ende, una variación del estado de movimiento de un cuerpo mientras la fuerza esté actuando.

Como ya se ha visto, el newton es la unidad de fuerza en el SI. Esta unidad se define de manera que 1 N es el valor de la fuerza que debe aplicarse sobre un cuerpo cuya masa es de 1 kg para que adquiera una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup>. Es decir:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

### La masa inercial

Habitualmente la masa se define como la cantidad de materia que posee un cuerpo. Si bien ésta es la definición más conocida, no es la única.

Es posible aceptar que es más difícil empujar un auto que una bicicleta. En el primer caso, es necesario aplicar una fuerza mucho mayor para que adquiera la misma aceleración que la bicicleta.

De la Segunda Ley de Newton se desprende que si la fuerza se mantiene constante, la aceleración del cuerpo se reduce a la mitad cuando su masa se duplica, mientras que se reduce a la tercera parte si su masa se triplica, y así sucesivamente. Es decir que la aceleración es inversamente proporcional a la masa del cuerpo. De lo cual se deduce que, a mayor masa, la aceleración será proporcionalmente menor; y viceversa. Por esta razón, la masa puede ser definida como una "medida de la inercia".

La **masa inercial** es la propiedad por la cual objetos de diferentes masas ofrecen diferentes resistencias a cambiar su estado de movimiento. Un objeto de mayor masa posee mayor inercia, y también es mayor la resistencia que presenta a cambiar su velocidad. De allí que el auto posea mayor inercia que la bicicleta y, por ende, mayor resistencia a ser acelerado.

## Aplicaciones de la Segunda Ley de Newton

1. Sobre una caja de 10 kg, inicialmente en reposo, se ejerce una fuerza neta de 20 N. ¿Cuál será la rapidez que adquiere luego de 3 segundos?

A partir de la Segunda Ley y dado que  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  se deduce que:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{20 \text{ N}}{10 \text{ kg}} = \frac{20 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{10 \text{ kg}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Además, como:  $a = \frac{v - v_0}{\Delta t}$ , si se despeja  $v$ , se obtiene que:  $v = v_0 + a \cdot \Delta t$ , luego

$$v = v_0 + a \cdot \Delta t = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3 \text{ s} = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Es decir, la rapidez luego de 3 segundos será de  $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

2. Un chico ata una piedra con un hilo y la hace girar por sobre su cabeza de tal manera que la rapidez puede considerarse constante.

¿La piedra está acelerada? En caso afirmativo, ¿cuáles son la dirección y el sentido de la aceleración y de la fuerza que la provoca?

La velocidad de la piedra cambia permanentemente de dirección por lo que, habiendo cambio en la velocidad, la piedra está acelerada.

Para que la piedra se mantenga sobre la trayectoria circular, la mano del chico deberá ejercer una fuerza hacia el centro de la trayectoria a través de la soga. Esa fuerza provoca una aceleración en la misma dirección y sentido, de acuerdo con la Segunda Ley de Newton.



1. ¿Qué aceleración experimenta un cuerpo de 10 kg sobre el que actúa una fuerza de 100 N? ¿Qué distancia recorre dicho cuerpo si inicialmente se encuentra detenido y la fuerza actúa constantemente durante 8 segundos? ¿Qué rapidez posee en ese instante?

2. Sobre un carro de supermercado cargado, inicialmente en reposo, se ejerce una fuerza neta de 50 N. Si la masa del carro con mercancías es de 20 kg, ¿cuál será la rapidez que adquiere luego de 1 segundo?

3. Un automóvil de 1000 kg se desplaza a una rapidez de 20 m/s. El conductor presiona los frenos al ver un perro que cruza la calle, y se detiene 5 segundos después. ¿Cuál es el valor de la fuerza media de frenado sobre el auto?

4. Sobre un cuerpo de 50 kg de masa que se encuentra detenido sobre una mesa, actúan simultáneamente dos fuerzas de 1000 N de intensidad cada una. Una es paralela a la mesa y la otra vertical y hacia arriba. Calculen la aceleración del cuerpo.

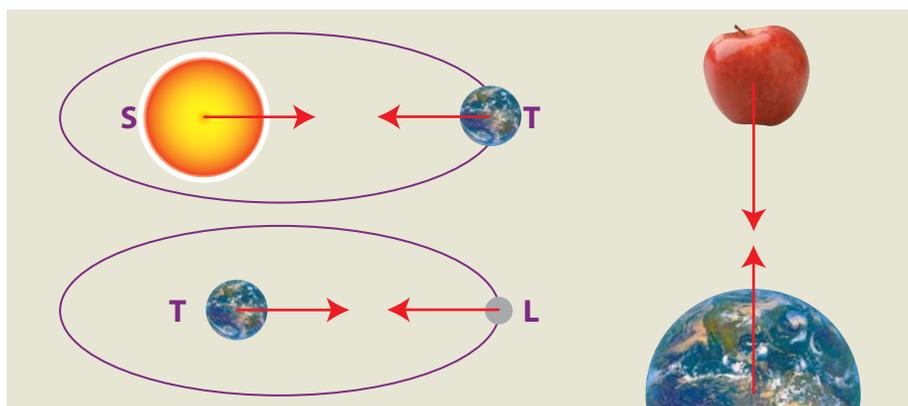


### Tercera Ley de Newton o principio de interacción

Newton entendió que las fuerzas provienen de las interacciones entre los cuerpos, en cuyo caso existen de a pares, aunque sobre objetos diferentes.

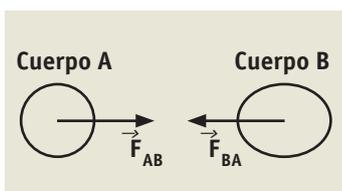
La **atracción gravitatoria** es una interacción entre dos cuerpos debida a sus masas, sean planetas o bolitas. Por ser una interacción, cada cuerpo experimenta una fuerza. El Sol atrae a la Tierra y a la vez la Tierra atrae al Sol. La Tierra atrae a la Luna y a la vez la Luna atrae a la Tierra. La Tierra atrae a la manzana y la manzana atrae a la Tierra.

▶▶ ¿Cuál es mayor, la fuerza que la Tierra ejerce sobre una manzana, o la que esta ejerce sobre la Tierra?  
A pesar de lo que pueda parecer, ambas fuerzas tienen igual valor.



La Tercera Ley de Newton, conocida como principio de acción y reacción, sostiene que:

*Siempre que un cuerpo A ejerce una fuerza sobre un cuerpo B, entonces el cuerpo B también ejerce una fuerza sobre el cuerpo A, de igual magnitud pero en sentido contrario a la primera.*



$\vec{F}_{AB}$  es la fuerza ejercida sobre el cuerpo A por el cuerpo B.  
 $\vec{F}_{BA}$  es la fuerza ejercida sobre el cuerpo B por el cuerpo A.

La fuerza que ejerce el cuerpo A sobre B, se representa sobre el cuerpo B, porque es el cuerpo sobre el que actúa. La otra fuerza proveniente de la interacción entre ambos cuerpos, en cambio, la ejerce el cuerpo B sobre el A; por lo tanto, se la representa sobre el cuerpo A. Ambas fuerzas tienen el mismo valor, pero sentidos contrarios.

Las fuerzas provenientes de la interacción entre dos cuerpos siempre actúan sobre objetos diferentes. Son un par de interacción y por esta razón muchas veces la Tercera Ley se denomina "Principio de interacción".

Esta ley se manifiesta constantemente. Por ejemplo, el nadador ejerce una fuerza sobre el agua empujándola hacia atrás. Simultáneamente, el agua ejerce una fuerza sobre él, que lo impulsa hacia adelante.

Una situación similar ocurre al caminar. Cuando se inicia el paso, un pie ejerce una fuerza hacia atrás y hacia abajo sobre el piso. Entonces el piso también ejerce una fuerza sobre el caminante, pero hacia adelante y hacia arriba. Al trotar sobre una cinta de rehabilitación o de entrenamiento en un gimnasio, es posible apreciar que la fuerza aplicada es hacia atrás según el sentido de desplazamiento de la cinta.

Es fácil notar que sobre el hielo se camina con mayor dificultad que sobre asfalto. La razón es que la fuerza muscular se transmite más eficazmente cuando el rozamiento es mayor. La fricción entre el calzado y el suelo es menor en hielo que en asfalto, y dado que es una interacción, la fuerza del piso sobre el calzado también es menor, y empuja el cuerpo hacia adelante con una fuerza menor. Por ello, para aumentar el valor de fricción con el suelo, en atletismo y en montañismo se usan zapatos con clavos.



## ¡Acción y reacción tienen igual valor!

¿Cómo explicar que la Tierra atrae a la manzana con la misma intensidad que la manzana atrae a la Tierra?

La respuesta puede entenderse a partir de la Segunda Ley. Las fuerzas debidas a la interacción entre ambas tienen igual intensidad, pero la Tierra posee una masa extremadamente grande en comparación con la de la manzana y, por lo tanto, el valor de su aceleración es extremadamente pequeño.

Por el contrario, la manzana tiene una masa muy pequeña y, por lo tanto, se acelera notoriamente.

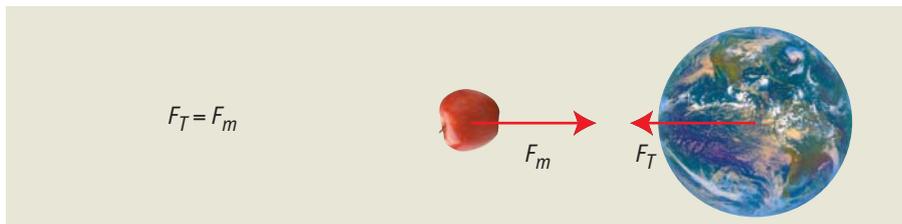
Matemáticamente, a partir de la Ley de masa, la fuerza sobre la Tierra es igual a la masa de la Tierra por la aceleración de la Tierra, es decir:

$$F_T = m_T \cdot a_T$$

En cambio, la fuerza sobre la manzana es igual a la masa de la manzana por la aceleración de la manzana, o sea:

$$F_m = m_m \cdot a_m$$

Como ambas fuerzas conforman un par de acción y reacción, son de igual valor, luego:

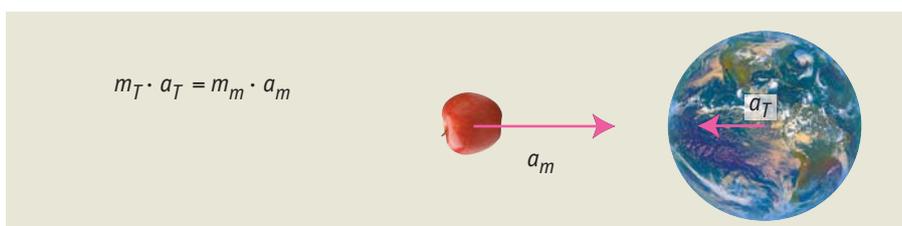


Y por lo tanto:

$$m_T \cdot a_T = m_m \cdot a_m$$

Para cumplir con la igualdad, si la masa de la Tierra es mucho mayor que la masa de la manzana, entonces la aceleración de la Tierra debe ser necesariamente mucho menor que la aceleración de la manzana.

En símbolos:



En síntesis, si el valor de la fuerza es constante, a mayor masa será menor la aceleración. De la misma forma, a menor masa, será mayor la aceleración.

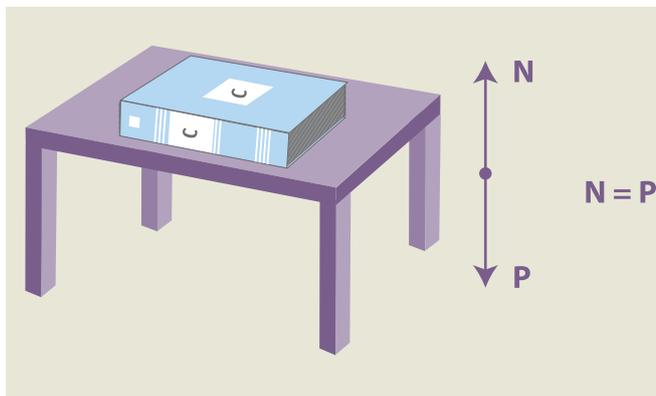


**5.** Una manzana de 0,20 kg es atraída por la Tierra y experimenta una aceleración de  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Si la masa de la Tierra es de unos  $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ , ¿cuál es el valor de la aceleración que experimenta la Tierra?

**6.** ¿Cuál es el valor de la fuerza sobre la manzana en el problema anterior? ¿Y sobre la Tierra?

## El diagrama de cuerpo libre

El **diagrama de cuerpo libre** es una representación de todas las fuerzas que actúan sobre un objeto. Para su realización, el cuerpo que es analizado *se aísla* o *se libera* de la presencia de los demás cuerpos que interactúan con él, como si fuera el único existente.



Por ejemplo, si se realiza el diagrama de cuerpo libre de un libro que se encuentra apoyado sobre una mesa, solo se considera el libro "aisladamente", como si fuese el único objeto presente. Luego se representan las fuerzas actuantes sobre el libro, en este caso, su propio peso hacia abajo que proviene de su interacción con la Tierra, y una fuerza vertical hacia arriba debida a la acción de la mesa sobre el libro, denominada **fuerza normal**.

## Tipos de fuerzas

### Fuerza elástica

Se denomina **elasticidad** a la propiedad que tienen los cuerpos de cambiar su forma original al aplicarse una fuerza sobre ellos, y de recuperarla al cesar la acción de la fuerza. Por ejemplo, un resorte es un elemento elástico porque se alarga o se comprime cuando se ejerce una fuerza sobre él y al soltarlo recupera su longitud original. Una pelota de tenis también es un objeto elástico, ya que se deforma al golpear contra el suelo y recupera su forma original inmediatamente después de rebotar en él. Ciertamente, un objeto elástico lo es solo dentro de ciertos límites. Si el valor de la fuerza aplicada es lo suficientemente grande, entonces el objeto se deforma y no recupera su forma original.

Si se cuelga un peso de un resorte, siempre dentro de su límite de elasticidad, entonces éste se estira. Si se cuelga el doble de peso, entonces la longitud de estiramiento es también el doble. Si se triplica el peso, también se triplica su longitud, y así sucesivamente.

De esta manera, resulta que la **elongación** o longitud de estiramiento de un resorte es directamente proporcional a la fuerza que se aplica. La constante de proporcionalidad,  $k$ , se llama **constante elástica** del resorte, que es propia de cada uno. Si, por ejemplo, el valor de  $k$  es  $3 \frac{N}{cm}$ , entonces por cada centímetro que el resorte se estira, la fuerza aumenta 3 N. El mismo razonamiento puede realizarse en el caso de que se comprima el resorte. La expresión matemática para la fuerza elástica es:

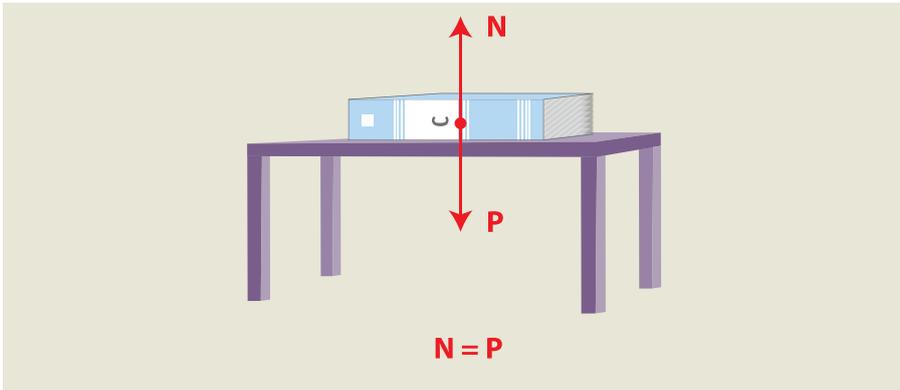
$$F_e = k \cdot \Delta x$$

donde  $F_e$  es la fuerza elástica,  $\Delta x$  la elongación y  $k$  la constante elástica del resorte.

La dirección de la fuerza elástica es la misma que la del resorte, y su sentido depende de si se encuentra estirado o comprimido.

## Fuerza normal

Sobre un objeto en reposo apoyado sobre una mesa actúan dos fuerzas: su propio peso y la acción que ejerce la mesa para sostenerlo. Esta última se denomina **fuerza normal** o **fuerza de vínculo**. Esta fuerza actúa siempre perpendicularmente a la superficie de apoyo. En este caso, como la superficie de apoyo es horizontal, el valor de la fuerza normal es igual al peso del objeto, de tal manera que la resultante es cero.

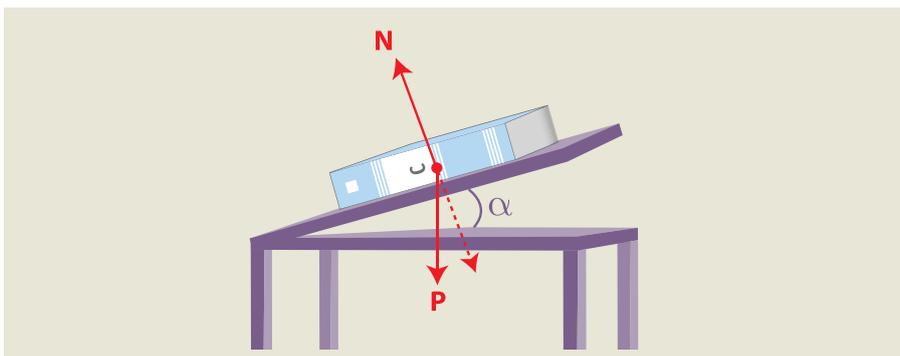


Si bien aquí la fuerza normal es de igual valor y de sentido contrario que el peso del libro, no debe confundirse con un par de acción y reacción dado que actúan sobre el mismo cuerpo. Debe recordarse que el par de interacción actúa siempre en dos cuerpos diferentes.

En un plano inclinado, en cambio, la fuerza normal actúa perpendicularmente al plano, mientras que el peso actúa verticalmente. Por lo tanto ambas fuerzas son de distinto valor, y se verifica que:

$$N = P \cdot \text{sen} \alpha$$

donde  $\alpha$  es el ángulo de inclinación del plano con respecto a la horizontal.



## Tensión

Cuando un caballo tira de un carro, la fuerza es transmitida por medio de una cuerda. Lo mismo sucede en una clase de Educación Física, mientras los alumnos juegan una cinchada. Se denomina **tensión** a la fuerza que transmiten las cuerdas (y en general todos los objetos) cuando se aplican fuerzas opuestas en sus extremos. Si la tensión es mayor que la resistencia de la cuerda, ésta se romperá. En el caso del cuerpo humano, los ligamentos y tendones actúan como transmisores de tensión debido a las fuerzas que ejercen los músculos.

Las fuerzas normal y peso de un cuerpo son fuerzas que actúan sobre un mismo cuerpo. En cambio, las fuerzas de acción y reacción actúan sobre distintos cuerpos.

### Interpretación gráfica de la constante elástica de un resorte

#### Materiales

Diferentes resortes. Soporte universal. Distintos pesos.

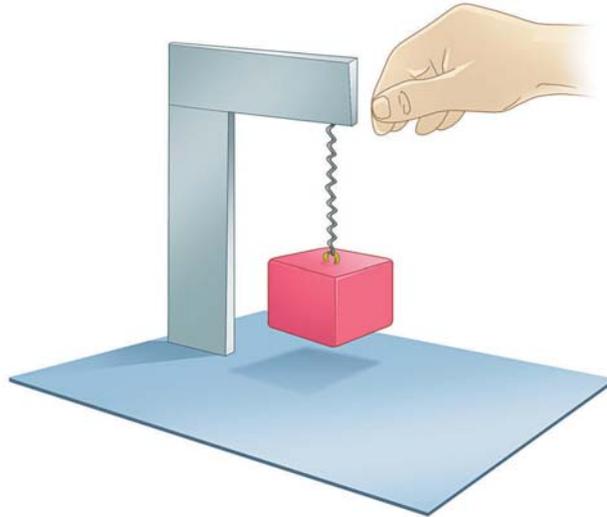
#### Procedimiento

1. Cuelguen uno de los resortes por un

extremo mediante el soporte universal.

2. Agreguen diferentes pesos, de a uno por vez, en el extremo libre.

3. Realicen un gráfico que represente el alargamiento del resorte en función de la fuerza (peso) que actúa sobre el resorte.



### Contesten las siguientes preguntas

- ¿Qué tipo de gráfico obtuvieron?
- ¿Qué expresa ese gráfico?
- ¿Cuál es la región de elasticidad del resorte? ¿Hay en el gráfico zonas de no elasticidad?
- Si recuerdan que la pendiente de una recta es el cociente del incremento de la ordenada ( $\Delta y$ ) con respecto al incremento de la abscisa ( $\Delta x$ ); es decir, que expresa cuantitativamente la inclinación de una recta no vertical con respecto al eje horizontal, ¿qué representa la pendiente de la función en la región de elasticidad? ¿Por qué?
- ¿Cuál es el valor de la constante elástica del resorte? ¿Cómo lo obtienen a partir del gráfico realizado?
- Realicen el gráfico nuevamente con otros resortes, compárenlos y expliquen cuáles son y a qué se deben las similitudes y diferencias entre ellos.

### ¿Qué indica el dinamómetro?

Si se dispone de un dinamómetro sujeto por un extremo a un soporte universal, y por el otro a una cuerda que sostiene un peso de 200 g y que luego pasa por una polea simple, ¿qué indicará el dinamómetro? Si, en cambio, se quita el soporte universal y se une el extremo correspondiente del dinamómetro a otra cuerda que también sostiene un peso de 200 g, ¿qué indicará el dinamómetro?

- Propongan una hipótesis.
- Contrasten la hipótesis mediante el siguiente experimento.

#### Materiales

Dinamómetro. Soporte universal. Cuerda. Dos poleas simples. Dos pesos iguales.

#### Procedimiento

- Tomen el dinamómetro y sujételo de un extremo al soporte universal.
- Aten el otro extremo a la cuerda que sostiene uno de los pesos.

3. Pasen la cuerda por la polea simple, como muestra la figura 1.
4. Contrasten la primera hipótesis que obtuvieron.
5. Quiten el soporte universal. Coloquen en ese extremo la otra cuerda con el peso y pásenla por la otra polea simple, como muestra la figura 2.
6. Contrasten la segunda hipótesis que obtuvieron.

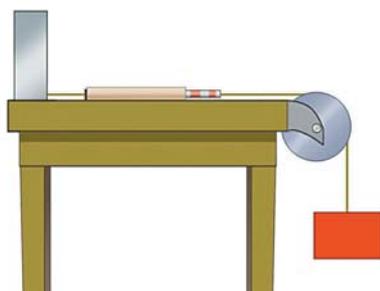


Figura 1

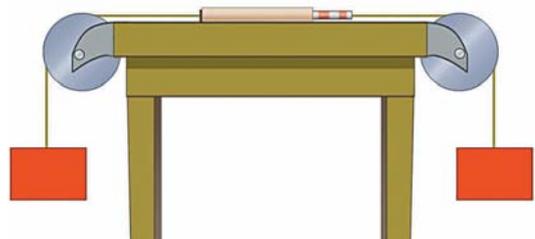


Figura 2

## Fuerza de rozamiento

Mover un mueble o una maquinaria pesada sobre un piso rugoso resulta más difícil que hacerlo sobre rodillos. En este último caso, los rodillos se utilizan para reducir el rozamiento, aunque no se puede eliminar totalmente. Siempre existe rozamiento o fricción entre dos superficies en contacto.

La **fuerza de rozamiento** expresa la resistencia que presentan dos superficies en contacto al desplazarse una con respecto a la otra.

Se llama **fuerza de rozamiento estática** cuando esta fuerza impide el desplazamiento de una superficie sobre otra.

En cambio, si ambas superficies se deslizan una sobre la otra, la interacción entre ambas se manifiesta mediante la **fuerza de rozamiento dinámica**.

En ambos casos, la fuerza de rozamiento depende de la fuerza normal. El **coeficiente de rozamiento** ( $\mu$ ) depende de los materiales de las dos superficies en contacto. Para cada par de superficies el coeficiente estático es mayor que el dinámico, por lo que es más difícil poner en movimiento un cuerpo que mantenerlo posteriormente moviéndose con velocidad constante.

La fuerza de rozamiento estático es variable. Si una persona intenta empujar un mueble y no realiza gran esfuerzo, no lo mueve porque la fuerza de rozamiento estático iguala en intensidad a la que se ejerce. Si se hace mayor esfuerzo sin mover el mueble, la intensidad de la fuerza de rozamiento estático está aumentando. Esto tiene un límite y para algún valor la fuerza exterior supera la fuerza de rozamiento estática máxima y logra moverlo.

Matemáticamente, lo expresado hasta aquí puede resumirse en las siguientes ecuaciones:

$$Fr_e \leq \mu_e \cdot N$$

donde  $\mu_e$  es el coeficiente de rozamiento estático.

$$Fr_d = \mu_d \cdot N$$

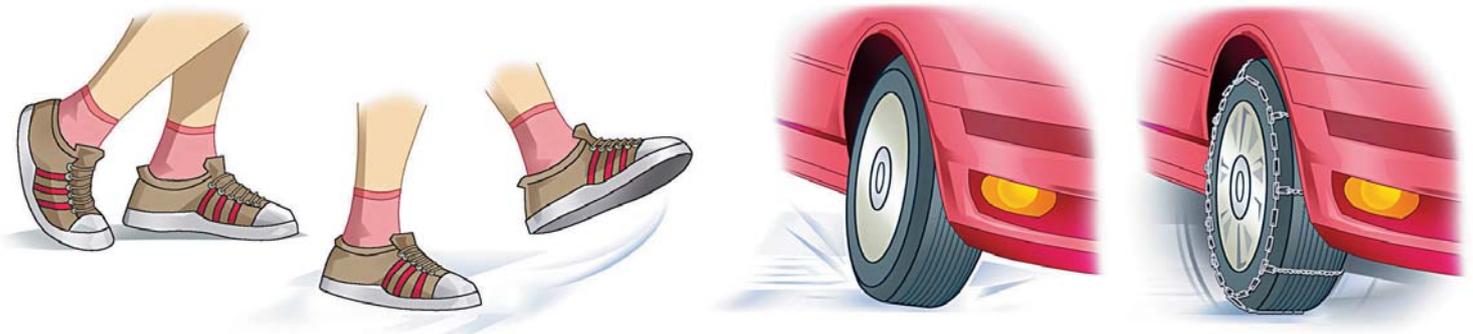
donde  $\mu_d$  es el coeficiente de rozamiento dinámico.

El rozamiento, en muchos casos, dificulta el movimiento. Sin embargo, en muchas otras ocasiones, el rozamiento permite efectuar los movimientos deseados. Por ejemplo, en la marcha humana. El rozamiento entre la suela del calzado y el piso permite que las personas avancen al caminar. Lo mismo sucede con el desplazamiento de los automóviles. De no existir rozamiento entre las cubiertas y el suelo, las ruedas girarían en su lugar sin poder avanzar. Por ello, sobre el hielo, los autos utilizan cadenas que les permiten adherirse al suelo. También por esta razón algunos atletas utilizan zapatos con clavos para lograr mayor adherencia al terreno.

**Tabla de índices de rozamiento**

Superficies en contacto	Coefficiente de rozamiento estático
Hielo sobre hielo	0,05 – 0,15
Cuero sobre madera	0,3 – 0,4
Cuero sobre metal	0,6
Acero sobre acero	0,6
Madera sobre madera	0,25 – 0,50

Superficies en contacto	Coefficiente de rozamiento dinámico
Latón sobre hielo	0,02
Hielo sobre hielo	0,02
Goma sobre cemento	1,02



## Fuerza peso

Originariamente se definió el peso como la fuerza debida a la interacción gravitatoria entre la Tierra y un cuerpo próximo a su superficie.

El **peso** de un objeto es precisamente la fuerza atractiva que la Tierra ejerce sobre él, cuyo sentido es hacia el centro del planeta.

En realidad, se puede definir la fuerza peso también para otros astros, haciendo referencia al peso en la Luna, peso en Marte, etcétera.

Esta fuerza depende de la masa del objeto y del valor de la aceleración gravitatoria del lugar en el que se encuentra. Su intensidad resulta directamente proporcional a su masa. Esto significa que, por ejemplo, un objeto que duplique su masa tendrá el doble de peso (considerando constante la aceleración gravitatoria). Matemáticamente esta relación se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$P = m \cdot g$$

donde  $g$  es el valor de la aceleración gravitatoria.

El valor de la aceleración gravitatoria no es igual en todos los puntos de la Tierra, por ejemplo en el Ecuador es de  $9,78 \text{ m/s}^2$  y en los polos es de  $9,83 \text{ m/s}^2$ . A  $45^\circ$  de latitud y a nivel del mar, el valor  $g$  es  $9,81 \text{ m/s}^2$  y es el que se toma como valor representativo.

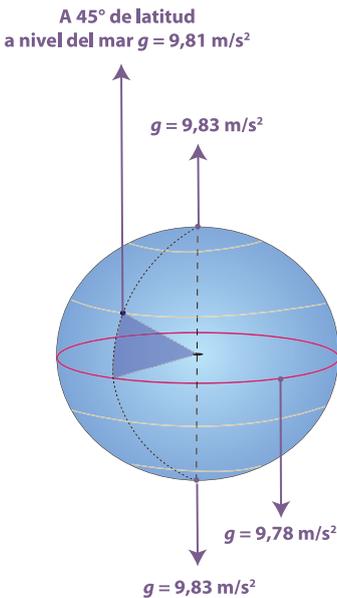
Como toda fuerza proveniente de una interacción entre dos cuerpos, el objeto sobre el que actúa la fuerza peso también ejerce una fuerza de igual valor y de sentido contrario sobre la Tierra, aunque esta fuerza afecta de modo insignificante al planeta dada la inmensa masa que posee.

## Masa y peso

Una confusión habitual consiste en emplear indistintamente los conceptos de **masa** y **peso** sin distinguir la diferencia entre ambos. La masa es una característica propia del cuerpo, relacionada con la cantidad de materia que lo constituye. Por ello, su valor es siempre el mismo independientemente del lugar en el que se encuentre. Una persona en la Tierra, en la Luna o en el espacio exterior posee la misma masa, sin embargo su peso es diferente en cada uno de estos lugares.

El peso de la persona depende de su masa y también de la aceleración gravitatoria del cuerpo celeste. En la Luna, ella pesa aproximadamente 6 veces menos que en la Tierra, dado que la aceleración gravitatoria lunar es menor en esa proporción.

A  $45^\circ$  de latitud y a nivel del mar, un cuerpo que pesa  $1 \text{ kg}$  posee una masa de  $1 \text{ kg}$ . Como el peso cambia con la altura y la latitud, en el resto del planeta los valores numéricos son muy parecidos pero no exactamente iguales.



El origen de la confusión entre masa y peso puede deberse, probablemente, a que un cuerpo de masa  $m$  tiene un peso cuyo valor numérico coincide (o es aproximadamente igual) al valor de la masa. Así, una persona de 60 kg tiene un peso de  $60 \vec{k}\hat{g}$ , o muy aproximado. Cuando alguien se pesa en la farmacia afirmando que su peso es de 60 kg, debería decir  $60 \vec{k}\hat{g}$ .

Hasta aquí, parecería que es solo una cuestión de palabras. Sin embargo, el  $\vec{k}\hat{g}$  no es una unidad del Sistema Internacional. En este sistema, la unidad es el Newton (N), y un peso de  $60 \vec{k}\hat{g}$  vale unos 600 N. De esta manera es más evidente que peso y masa tienen diferentes valores numéricos.



## No todas las balanzas pesan

La balanza de platillos compara masas, es decir que su acción es “masar”. Ella marcará lo mismo en cualquier lugar. Una balanza de resorte mide la fuerza de atracción gravitatoria, es decir que su acción es “pesar”. Ella marcará determinado valor en cada lugar.



## Aplicaciones de la definición de masa y peso

La aceleración gravitatoria en la superficie de Mercurio es de  $3,72 \text{ m/s}^2$ . ¿Cuál es en Mercurio, el peso de una persona cuyo peso en la Tierra es de 600 N?

En primer lugar es necesario calcular la masa de la persona.

Como  $P = m \cdot g$ , y en la Tierra  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , entonces, en la Tierra su masa es:

$$m = \frac{P}{g} = \frac{600 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 61,16 \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{\text{m/s}^2} = 61,16 \text{ kg}$$

Dado que la masa es constante en ambos planetas, es posible calcular el peso en Mercurio:

$$P_M = m \cdot g_M = 61,16 \text{ kg} \cdot 3,72 \text{ m/s}^2 = 227,52 \text{ N}$$

El peso de la persona en Mercurio es de 227,52 N.

7. La longitud de un resorte aumenta 3 cm cuando de él se cuelga un peso de 15 N. Cuando otro objeto se cuelga del mismo resorte, se alarga 2 cm. ¿Cuál es el peso del segundo cuerpo?

8. ¿Cuál es el valor de la fuerza horizontal mínima necesaria para empujar por el suelo una caja que pesa 100 N si el coeficiente de rozamiento estático es de 0,40?

9. Un cuerpo tiene una masa de 50 kg. ¿Cuál es su peso en la Tierra y en Venus? ( $g_{\text{Venus}} = 8,87 \text{ m/s}^2$ )

10. Un objeto pesa 200 N en la Tierra. ¿Cuál sería su peso en Marte, donde la aceleración gravitatoria es de  $3,71 \text{ m/s}^2$ ?

11. Un cuerpo que pesa 100 N en Júpiter, ¿cuánto pesaría en la Tierra? ( $g_{\text{Júpiter}} = 24,86 \text{ m/s}^2$ )



# En busca de la unificación

AL ENUNCIAR LA LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL, SIR ISAAC NEWTON, LOGRÓ UNIFICAR EL MUNDO TERRESTRE Y EL MUNDO CELESTE.

Su formulación permite explicar tanto los fenómenos de interacción gravitatoria en la Tierra como en el resto del universo. Maxwell, en 1864, logró unificar las interacciones eléctrica y magnética en una sola, hoy conocida como interacción electromagnética, mediante la Teoría electromagnética. Con el desarrollo de la Física, en las primeras décadas del siglo XX, ya se conocían cuatro interacciones consideradas fundamentales: la nuclear fuerte, la electromagnética, la nuclear débil y la gravitatoria.

La **interacción nuclear fuerte** hace que los protones y neutrones se mantengan unidos dentro del núcleo atómico, venciendo la repulsión eléctrica entre protones. Si no fuera por esta interacción, las cargas positivas de los protones harían que éstos se dispersaran por repulsión eléctrica, dado que cargas de igual signo se repelen entre sí. La fuerza nuclear fuerte es transmitida por unas partículas llamadas gluones (del inglés *glue* = pegamento); es la más intensa de las fuerzas pero es de muy corto alcance (unos

$10^{-15}$  m, equivalente al radio del protón).

La **interacción electromagnética** afecta a todas las partículas que poseen carga eléctrica. Los electrones se desplazan alrededor del núcleo de los átomos debido a la fuerza electromagnética. Es una interacción de largo alcance, unas 100 veces más débil que la fuerza nuclear fuerte, y permite los enlaces de la materia. El fotón, partícula que se desplaza a la rapidez de la luz, transmite esta interacción.

La teoría de la **interacción nuclear débil** fue introducida por Enrico Fermi (1933). Esta interacción desintegra partículas masivas en partículas menos masivas. Es de muy corto alcance; unos millones de veces ( $10^9$ ) más débil que la fuerza nuclear fuerte, de allí su nombre. Su alcance es incluso cien veces menor que el de la fuerza nuclear fuerte. Es transmitida por partículas llamadas bosones W y Z<sup>0</sup>.

La **interacción gravitatoria** es una interacción a gran escala. La fuerza gravitatoria produce la traslación de la Tierra alrededor del Sol, el movimiento de galaxias y también permite que se pueda caminar sobre el suelo. Es la más débil de las interacciones. Su intensidad es unas  $10^{39}$  veces menor que la interacción fuerte. Hasta el momento no se ha confirmado experimentalmente la existencia de la partícula portadora de esta interacción, conocida como “gravitón”.

En 1979, Sheldon L. Glashow, Abdus Salam y Steven Weinberg recibieron el premio Nobel de Física tras desarrollar la **Teoría electrodébil**, que unifica la interacción electromagnética con la débil. Se llega de esta manera a reducir las interacciones conocidas a la nuclear fuerte, la electrodébil y la gravitatoria. Actualmente, científicos de varios lugares del mundo se encuentran trabajando en la denominada Teoría de la Super Unificación, intentando encontrar una única fuerza que unifique todas las interacciones conocidas.

A partir del texto, elaboren un cuadro comparativo entre las cuatro interacciones fundamentales. Busquen información en otras fuentes para poder completarlo.



# IDEAS BÁSICAS DE LA UNIDAD

- La **fuerza** es una magnitud vectorial.
- El sentido del vector aceleración de un cuerpo coincide con el sentido de la fuerza neta aplicada.
- La **aceleración** de un cuerpo sobre el que actúa una fuerza neta es directamente proporcional a la fuerza neta aplicada.
- La fuerza es una magnitud que manifiesta la interacción entre dos cuerpos.
- Cuando una fuerza constante actúa sobre dos cuerpos, sus aceleraciones son inversamente proporcionales a sus masas.
- Si la fuerza neta aplicada a un cuerpo es cero, entonces permanece en reposo o en movimiento rectilíneo a velocidad constante (MRU).
- Si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre otro cuerpo B, entonces el cuerpo B también ejerce una fuerza sobre el cuerpo A.
- Las **fuerzas de acción y reacción** se ejercen en cuerpos diferentes.
- Las fuerzas de acción y reacción tienen el mismo valor y sentidos contrarios.
- La **masa** es una medida de la inercia de un cuerpo.
- El valor de la masa no depende del lugar del universo en el que se encuentre el objeto, es siempre el mismo independientemente de su ubicación.
- El **peso** varía al cambiar el valor de la aceleración gravitatoria del lugar.
- Actualmente se considera que existen tres interacciones fundamentales: la nuclear fuerte, la electrodébil y la gravitatoria.

## Fórmulas

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad \text{Segunda Ley de Newton}$$

$$F_r \leq \mu_e \cdot N \quad \text{Fuerza de rozamiento estática}$$

$$F_e = k \cdot \Delta x \quad \text{Fuerza elástica}$$

$$F_r = \mu_d \cdot N \quad \text{Fuerza de rozamiento dinámica}$$

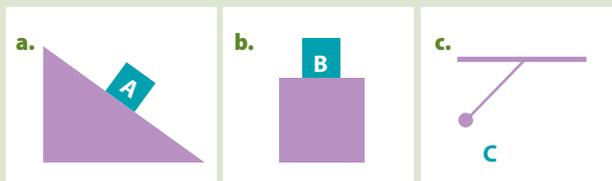
$$P = m \cdot g \quad \text{Peso}$$

# ACTIVIDADES DE INTEGRACIÓN

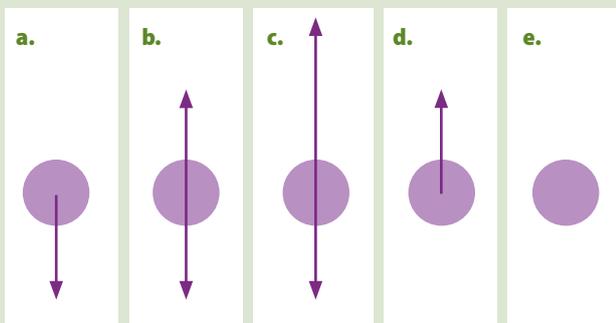
1. Expliquen mediante las Leyes de Newton.

- La afirmación "Juan tiene mucha fuerza y por eso pudo mover el ropero" no tiene sentido en Física. ¿Por qué?
- ¿En qué sentido ejerce fuerza una persona al iniciar un paso? ¿Por qué?
- Si las fuerzas de acción y reacción son de igual intensidad pero de sentidos contrarios, ¿por qué no se anulan entre sí?
- ¿Cuál es la función del cinturón de seguridad en los vehículos?
- Si al aplicar una fuerza a un cuerpo "aparece" una reacción igual y de sentido contrario, ¿cómo es posible que se ponga en movimiento?
- ¿El apoyo cabezas de un automóvil evita lesiones en un choque frontal, o en un choque desde atrás? ¿Por qué?
- ¿La ley de inercia se refiere a objetos en reposo, o en movimiento?
- Si se deja caer un objeto desde un avión que se desplaza a velocidad constante, ¿cómo será la trayectoria descrita por el objeto vista por un observador ubicado en el propio avión? ¿Y por un observador desde Tierra?

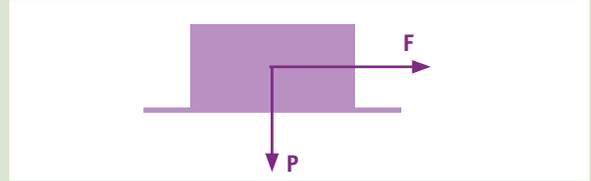
2. Representen, mediante el correspondiente diagrama de cuerpo libre, las fuerzas actuantes sobre los siguientes objetos A, B y C.



3. Determinen cuál de los siguientes diagramas representa correctamente la o las fuerzas que actúan sobre una pelota que asciende luego de ser lanzada verticalmente hacia arriba. Justifiquen indicando y mencionando la o las fuerzas.



4. a. Sobre un objeto cuyo peso es de 30 N se ejerce una fuerza neta horizontal de 70 N, como indica la figura siguiente. ¿Qué aceleración adquiere?



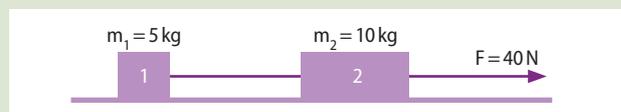
- Si se ejerce una fuerza sobre un carrito de compras, éste se acelera. ¿Qué ocurre con la aceleración si se triplica la intensidad de la fuerza aplicada al carrito?
- A un carrito de compras cargado de algunos elementos se le aplica una fuerza y entonces se acelera. ¿Qué ocurre con la aceleración si se duplica la masa del sistema y se mantiene la misma intensidad de la fuerza?

6. Una persona empuja una mesa a velocidad constante mediante la aplicación de una fuerza de 100 N, ¿cuál será el valor de la fuerza de rozamiento sobre dicho objeto? ¿Y el sentido? Justifiquen sus respuestas.

7. Si un cuerpo A de 20 kg interactúa con otro cuerpo B de 5 kg mediante una fuerza de 40 N, ¿cuál será el valor de la aceleración de cada cuerpo? ¿Qué relación numérica existe entre las aceleraciones y las masas de los cuerpos?

8. ¿Cuál es el peso de ustedes aquí en la Tierra? ¿Cuánto pesarían en la Luna si se sabe que allí  $g = 1,62 \text{ m/s}^2$ ?

9. La siguiente figura muestra dos cuerpos (1 y 2) unidos por medio de una soga sobre una superficie cuyo rozamiento puede despreciarse. Si se tira del segundo con una fuerza de 40 N, ¿cuál es el valor de la aceleración de cada cuerpo? ¿Cuál es el valor de la intensidad de la tensión de la cuerda?



10. a. Determinen experimentalmente la fuerza de rozamiento estática máxima que se produce sobre una caja en un plano inclinado justo antes de que se comience a deslizar.

b. ¿Cuál es el valor del coeficiente de rozamiento estático en esta situación?

11. Estimen la fuerza que ejercen sobre una pelota de vóleybol durante un lanzamiento en la clase de Educación Física. Efectúen las mediciones que necesiten despreciando el rozamiento con el aire.

# AUTOEVALUACIÓN

Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F). Justifiquen, en cada caso, sus respuestas.

- 1 La inercia es una fuerza.
- 2 El valor de la fuerza sobre una pelota lanzada verticalmente hacia arriba es cero en el punto de mayor altura de su trayectoria.
- 3 La fuerza de rozamiento siempre es contraria al sentido de desplazamiento del objeto.
- 4 En un velador apoyado sobre una mesa, su peso y la fuerza normal sobre él son iguales y opuestos porque son un par de acción y reacción.
- 5 Si la resultante sobre un objeto es cero, entonces se encuentra necesariamente en reposo.
- 6 A mayor masa, mayor inercia.
- 7 La resultante entre dos fuerzas de 10 N (cada una) es necesariamente 0 N o 20 N.
- 8 El gravitón es una partícula ya descubierta experimentalmente.
- 9 En una caja sobre un plano inclinado, la fuerza normal sobre ella es de igual intensidad que su peso pero de sentido contrario.
- 10 Si la fuerza neta sobre un cuerpo que pesa  $5 \text{ kg}$  es de 50 N, entonces su aceleración es de  $250 \text{ m/s}^2$ .
- 11 Si la fuerza aplicada a un objeto es constante, al triplicarse la aceleración también se triplica su masa.
- 12 El valor de la fuerza elástica aumenta cuando el resorte se estira y disminuye cuando se lo comprime desde su posición de elongación natural.
- 13 A nivel del mar, el peso de un objeto es mayor en el polo que sobre la línea del Ecuador.
- 14 Un objeto de 5 kg pesa  $5 \text{ kg}$  en cualquier punto de nuestro planeta.
- 15 La fuerza elástica es directamente proporcional a la elongación del resorte cualquiera sea el valor de esta última.
- 16 La fuerza normal es siempre vertical.
- 17 Una fuerza cuya intensidad es de 25 N se representa por un vector de 50 cm cuando la escala es de 2 N/cm.
- 18 Si la aceleración de un cuerpo es constante y se duplica la fuerza aplicada sobre él, entonces su masa también se duplica.
- 19 Sobre un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba actúa una fuerza ascendente luego de abandonar la mano del lanzador.
- 20 La masa de un cuerpo tiene el mismo valor en la Luna que en la Tierra.