

## Y TAMBIÉN:

La Tierra no es un sistema de referencia inercial, puesto que gira alrededor del Sol y sobre sí misma (está sometida a movimientos acelerados). Aun así, a menudo es posible considerar que sí lo es, sin incurrir en errores apreciables.

## Y TAMBIÉN:

La masa es la propiedad general de los cuerpos que representa su resistencia a alterar su estado de reposo o de movimiento.



Isaac Newton (Inglaterra, 1642- 1727) era un niño tímido y enfermizo que no destacaba en sus estudios. Tras la escuela, ingresó en el Trinity College de la Universidad de Cambridge a la edad de 18 años. Con 26 años fue nombrado profesor, y con 30 ya era miembro de la Royal Society de Londres. Era una persona distraída, poco agradable y celosa de sus descubrimientos, lo cual le provocó varias disputas con científicos de la época (Hooke, Leibniz, Huygens...).

# 5. LEYES DE LA DINÁMICA

La dinámica explica las causas que provocan los movimientos. Se basa en tres leyes establecidas por Isaac Newton en 1687 en su obra *Principios matemáticos de la filosofía natural*, por lo que también se las conoce como **leyes de Newton**.

Las leyes de la dinámica son estrictamente válidas en sistemas de referencia inerciales: explican perfectamente el movimiento de cualquier objeto, siempre y cuando el observador se encuentre en reposo o se mueva en línea recta y con velocidad constante.

Cuando un sistema de referencia se encuentra en reposo o se mueve en línea recta y con velocidad constante, entonces se trata de un **sistema de referencia inercial**. Podemos imaginarlo como un sistema no sometido a interacción con el resto del universo.

## 5.1. Primera ley de Newton

La primera ley de Newton también se denomina **ley de inercia**. Sabemos por experiencia que, para que un balón en reposo se ponga en movimiento, debemos aplicar una fuerza sobre él. Del mismo modo, si este balón se mueve con velocidad constante, es preciso aplicarle una fuerza para que se detenga.

La inercia es la tendencia natural de los objetos a permanecer en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme.

Todo cuerpo permanece en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a no ser que actúe sobre él alguna fuerza neta o resultante.

La comprobación experimental directa de esta ley es irrealizable en la práctica, al ser enunciada como postulado. Se trata de una idealización que se obtiene por la abstracción de la observación y de la experimentación, pues ningún objeto real está libre de la influencia de otro objeto o de su entorno (por ejemplo, ningún cuerpo puede mantenerse en MRU si no es por la acción de una fuerza que compense las fuerzas de rozamiento que se oponen al movimiento).

Veamos ejemplos de la primera ley de Newton en nuestra vida cotidiana.

- **En el ascensor.** En el momento en que este comienza a moverse hacia arriba, sentimos una fuerza ascensional sobre los pies, pues nuestra tendencia (o inercia) es a permanecer en reposo, estado que es alterado.
- **En el autobús.** Cuando arranca, nos sentimos desplazados hacia atrás, y, cuando frena, nos movemos hacia delante. En ambos casos, se pone de manifiesto la tendencia a permanecer en nuestro estado de reposo o de movimiento uniforme.



## 5.2. Segunda ley de Newton

Conocida también como **ley fundamental de la dinámica**, describe qué le ocurre a un cuerpo cuando actúa sobre él una fuerza neta. Para comprenderla, debemos introducir una nueva magnitud física, el momento lineal.

### Momento lineal

La magnitud física que considera tanto la masa de un objeto como su velocidad, y que, por tanto, representa una medida de la dificultad que supondría detenerlo, recibe el nombre de momento lineal, cantidad de movimiento o ímpetu.

El **momento lineal** de un cuerpo es una magnitud vectorial que es directamente proporcional a su masa y a su velocidad.

De acuerdo con esta definición, el momento lineal de un cuerpo de masa  $m$  que se desplaza a una velocidad  $v$  se calcula de la siguiente manera:  $\vec{p} = m \vec{v}$ .

El momento lineal y la velocidad tienen la misma dirección y sentido (tangente a la trayectoria); su unidad en el SI es el  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### Enunciado de la segunda ley de Newton

Establece que la acción de una fuerza neta sobre un cuerpo de masa  $m$  dará lugar a una variación en el tiempo de su momento lineal.

Toda fuerza (neta o resultante) ejercida sobre un cuerpo provoca en este una variación temporal de su momento lineal.

Matemáticamente, esta ley se expresa de este modo:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta (m \vec{v})}{\Delta t} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{F}_{\text{neta}} = m \vec{a}$$

donde hemos considerado que la masa del cuerpo permanece constante.

- Se define el **newton (N)** como la fuerza que, ejercida sobre un cuerpo de 1 kg, provoca que este comience a moverse con una aceleración de  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- Si el cuerpo parte del reposo, se moverá con movimiento rectilíneo uniformemente acelerado en la dirección y el sentido de la fuerza resultante sobre él.

### Ejemplo 9

En la publicidad de un auto de 1000 kg se afirma que es capaz de alcanzar una velocidad de  $108 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  en 10 s, partiendo del reposo. ¿Qué fuerza deberá ejercer el motor?

**COMPRENSIÓN.** De acuerdo con la segunda ley de Newton, al ejercer el motor una fuerza sobre el auto, este se moverá con movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

**DATOS.**  $m = 1000 \text{ kg}$ ;  $v_0 = 0$ ;  $v = 108 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 30,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $t = 10 \text{ s}$

**RESOLUCIÓN.** Calculamos la aceleración, considerando que el auto sigue un MRUA:

$$v = v_0 + a t \Rightarrow a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{30,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{10 \text{ s}} = 3,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Y si aplicamos la ecuación fundamental de la dinámica, tendremos:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = m \vec{a} \Rightarrow F = m a = 1000 \text{ kg} \cdot 3,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ N}$$

**COMPROBACIÓN.** El valor obtenido para la fuerza es razonable, así como la aceleración.

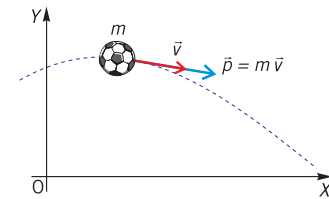


Fig. 19.

- Momento lineal de una partícula.

### Y TAMBIÉN:

Varias partículas de distintas masas,  $m_1, m_2, \dots$ , tendrán la misma cantidad de movimiento si sus velocidades respectivas,  $v_1, v_2, \dots$ , son diferentes y se verifica que:

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 = \dots$$

### TEN EN CUENTA QUE:

Para ser más rigurosos, la segunda ley de Newton se debe expresar como la derivada del momento lineal respecto del tiempo:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \vec{a}$$

La segunda ley resulta ser más compleja de utilizar cuando se aplica a cuerpos cuya masa no permanece constante mientras se mueve, tal y como sucede en cohetes y aviones (el combustible se elimina al producirse su combustión). En tal caso, la derivada del momento lineal contiene dos sumandos, de modo que en uno de ellos aparece la variación temporal de la masa:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \vec{a}$$

## Y TAMBIÉN:

En el caso de un sistema de dos partículas, la conservación del momento lineal se expresa de la siguiente forma:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

donde son las velocidades iniciales de las dos partículas y  $\vec{v}'_1, \vec{v}'_2$  sus velocidades finales.

## Conservación del momento lineal

De la segunda ley de Newton podemos deducir uno de los principios de conservación más importantes y generales de la física. El principio de conservación del momento lineal establece que:

Si sobre un objeto o sistema no actúa ninguna fuerza (externa) neta o resultante, su momento lineal permanecerá constante.

En efecto: 
$$\vec{F}_{\text{neto}} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = 0 \Rightarrow \vec{p} = \text{cte.}$$

Este principio tiene una gran aplicabilidad en muchas áreas de la física. Así, por ejemplo, es utilizado en los grandes aceleradores de partículas al estudiar las colisiones entre estas, donde ceden todo o parte de su momento lineal unas a las otras mientras el momento total se mantiene constante, como se observa también en los choques entre bolas de billar.

## Impulso mecánico

Es una magnitud física que relaciona la fuerza neta que se ejerce sobre una partícula con el tiempo que está actuando. Se deduce de la segunda ley de Newton de la siguiente manera:

- El **impulso (mecánico)** comunicado a una partícula se emplea en modificar su momento lineal. Su unidad en el SI es el  $\text{N} \cdot \text{s}$  o el  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- El **impulso** es útil en aquellos casos en los que una fuerza intensa actúa durante un tiempo muy corto sobre una partícula; por ejemplo, el golpeo de una raqueta a una pelota de tenis.

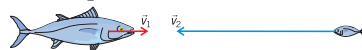
$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \Leftrightarrow \vec{I} = \vec{F} \Delta t = \Delta \vec{p}$$

## Ejemplo 10

Un pez de  $6,000 \text{ kg}$  se desplaza a  $0,40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  cuando se traga otro pez de  $250 \text{ g}$ , que se mueve en la misma dirección y en sentido contrario a  $1,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . ¿Qué velocidad tendrá el pez grande justo después de engullir al pequeño?

**COMPRESIÓN.** En el momento en que el pez grande se come al chico, tiene lugar una colisión entre dos cuerpos donde no interviene fuerza externa alguna, por lo que el momento lineal permanecerá constante. Después del choque, la masa total que se desplaza será la suma de las masas de ambos peces.

**DATOS.**  $m_1 = 6,000 \text{ kg}$ ;  $m_2 = 250 \text{ g} = 0,250 \text{ kg}$ ;  $p_1 = 0,40 \text{ i m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $v_2 = -1,60 \text{ i m} \cdot \text{s}^{-1}$



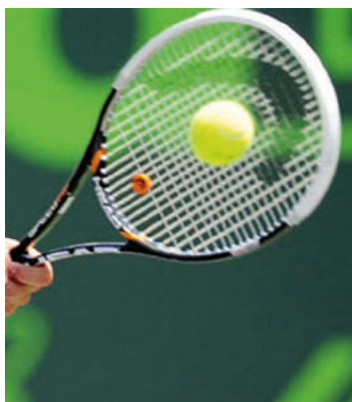
**RESOLUCIÓN.** El momento lineal antes del choque será la suma de los momentos lineales de ambos peces:

$$\vec{p}_0 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (6,000 \cdot 0,40 \vec{i} - 0,250 \cdot 1,60 \vec{i}) \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 2,0 \vec{i} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Después del choque, el momento lineal será:

$$\vec{p}_f = (m_1 + m_2) \vec{v} = 6,250 \text{ kg} \cdot \vec{v}$$

**COMPROBACIÓN.** El pez grande se moverá a  $0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en el mismo sentido en que lo hacía. Este resultado es lógico, pues en la colisión pierde parte de su cantidad de movimiento y, por tanto, de su velocidad.



<http://goo.gl/A0BZ1m>

### ■ Impulso mecánico.

La fuerza ejercida sobre la pelota provoca un aumento de su momento lineal.

### 5.3. Tercera ley de Newton

Para efectuar salto de potro, un gimnasta se impulsa gracias a la fuerza que el trampolín ejerce sobre él, que, a su vez, aparece como reacción a la que él realiza sobre el trampolín.

Sabemos que la fuerza recibe también el nombre de interacción, pues requiere de la existencia de dos cuerpos, como mínimo. La tercera ley de Newton, asimismo denominada ley de acción y reacción, se refiere a las interacciones mutuas que se ejercen entre sí; la enunciaremos como sigue:

Cuando un cuerpo A ejerce una fuerza sobre un cuerpo B (llamada **acción**), este responde al cuerpo A ejerciendo una fuerza de igual valor, pero de sentido contrario (llamada **reacción**).

- La ley de acción y reacción supone que las fuerzas, como resultado de una interacción, actúan siempre por parejas.
- Las fuerzas de acción y reacción aparecen simultáneamente, pero no se anulan entre sí al actuar sobre objetos diferentes; por eso, provocan efectos distintos.
- La tercera ley de Newton explica fenómenos tan cotidianos como, por ejemplo, por qué podemos movernos cuando caminamos, por qué avanzan los aviones o cohetes, por qué rebota una pelota lanzada contra una pared, etc.

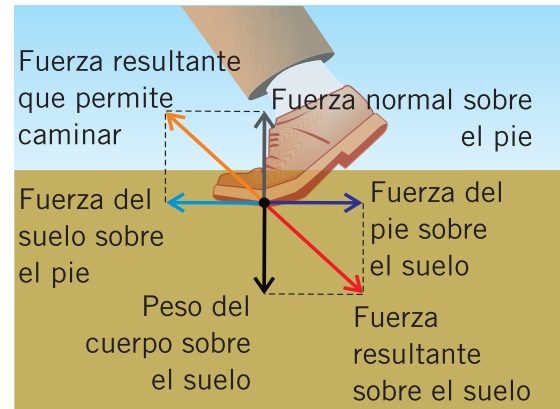


Fig. 20.

#### Ejemplo 11

Un caballo atado a un carro se niega a tirar de él al hacer el siguiente razonamiento: si yo ejerzo una fuerza sobre el carro, este realizará otra fuerza igual sobre mí y de sentido contrario, dado que ambas fuerzas se contrarrestan, por lo que no podré moverlo nunca. ¿En qué falla el razonamiento del caballo?

En la figura aparecen representadas las fuerzas horizontales sobre el caballo y el carro. Aunque la acción y la reacción ( $\vec{T}$  y  $-\vec{T}$ ) existen simultáneamente, se realizan sobre cuerpos distintos. Así pues, la reacción que se ejerce sobre el caballo no tiene ninguna influencia sobre el carro. Lo único que tiene que hacer el caballo es empujar con una fuerza  $\vec{F}$  que supere a los rozamientos.



Como ves, es muy importante identificar correctamente las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo u objeto, sin mezclar las parejas acción-reacción.

#### Ejemplo 12

Calcula la fuerza horizontal con la que un futbolista debe golpear un balón de 350 g de masa para que este se desplace a  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , sabiendo que el impacto dura 0,10 s.

- ¿Cuál es la fuerza que recibe el pie del futbolista?

**COMPRESIÓN.** Sobre el balón existe un impulso mecánico que provoca el aumento de su momento lineal.

**DATOS.**  $m = 0,350 \text{ kg}$ ;  $v_0 = 0$ ;  $v = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $\Delta t = 0,10 \text{ s}$

**RESOLUCIÓN.** A partir de la relación entre impulso mecánico y variación del momento lineal, podemos determinar la fuerza que ha de ejercerse sobre el balón:

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \vec{p} - \vec{p}_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{F} = \frac{m \vec{v}}{\Delta t} = \frac{0,350 \text{ kg} \cdot 20 \vec{i} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{0,10 \text{ s}} = 70 \vec{i} \text{ N}$$

La fuerza que recibe el pie del futbolista será, de acuerdo con la tercera ley de Newton, de 70 N, y tendrá sentido contrario a la ejercida por él sobre el balón.

**COMPROBACIÓN.** Observa que la fuerza que se precisa no es demasiado grande, pues el tiempo de impacto es relativamente elevado.

Recuerda que debes ser riguroso en los cálculos necesarios para la **RESOLUCIÓN** de problemas y en la expresión de los resultados obtenidos.

# Leyes de Newton

## EJERCICIO 1: RESPONDA

- A- Luego de la lectura del texto responde:
- i- ¿Qué dice la primera ley de Newton?
  - ii- ¿Qué tipo de fuerza se debe trabajar?
  - iii- Indica un ejemplo de la primera ley que no se encuentre en el texto.
  - iv- ¿Qué dice la segunda ley de Newton?
  - v- ¿Qué tipo de fuerza se debe trabajar?
  - vi- Indica un ejemplo de la segunda ley que no se encuentre en el texto.
  - vii- ¿Qué dice la tercera ley de Newton?
  - viii- ¿Qué tipo de fuerza se debe trabajar?
  - ix- Indica un ejemplo de la tercera ley que no se encuentre en el texto.

## EJERCICIO 2: LEA LAS SIGUIENTES PROPOSICIONES, INDIQUE SI SON VERDADERAS O FALSA, JUSTIFIQUE EN CASO DE SER FALSA.

- A- Un cuerpo solo está en reposo cuando sobre el no actúan fuerzas
- B- Un cuerpo representa MRU cuando sobre el actúa un sistema de fuerzas con resultante nula.
- C- De acuerdo al principio de masa resulta  $m=F \times a$
- D- El peso de un cuerpo es independiente de la masa de un cuerpo.

## EJERCICIO 3: EN LOS SIGUIENTES ITEMS MARQUE CON UNA X LA RESPUESTA QUE CONSIDERE CORRECTA

- A. Teniendo en cuenta las siguientes afirmaciones:
- Siempre que un cuerpo ejerce una acción sobre otro, este produce una reacción igual y de sentido contrario.
  - Cuando las masas son semejantes, la fuerza de reacción puede pasar inadvertida.

Lo correcto es afirmar que:

- a- Ambas son verdaderas
  - b- La primera es verdadera y la segunda es falsa
  - c- La primera es falsa y la segunda verdadera
  - d- Ambas son falsas
- B. Considerando las siguientes proposiciones
- Para que un automotor se desplace con velocidad constante, la fuerza del motor debe ser superior a la de rozamiento.
  - La fuerza de rozamiento debida al aire es despreciable.

Lo correcto es afirmar que:

- a- Ambas son verdaderas
- b- La primera es verdadera y la segunda falsa
- c- La primera es falsa y la segunda verdadera
- d- Ambas son falsas

**EJERCICIO 4:**

- a- ¿Cuál es la masa de un cuerpo al que una fuerza de 80N le imprime una aceleración de 3 m/s<sup>2</sup>?
- b- Calcule el peso en N de un cuerpo cuya masa es de 5 Kg, cuando se encuentra en:
  - el ecuador, donde  $g=9,78 \text{ m/s}^2$
  - el polo sur, donde  $g= ,83 \text{ m/s}^2$
  - la luna donde  $g= 1,67 \text{ m/s}^2$
- c- Si sobre un cuerpo actúa una fuerza de 54N, éste acelera a razón de 9 m/s<sup>2</sup>, ¿Cuánto se acelerará si la fuerza es de 6N?
- d- Si un cuerpo cuya masa es de 130 Kg, se desplaza a una aceleración de 3 m/s<sup>2</sup> ¿cuál es el módulo de la fuerza en N y en Kgf?

**EJERCICIO 5: LEE, REFLEXIONA Y RESPONDE.**

- 1- A- Piensa en un cuerpo en el que no realice ninguna fuerza o en el que la resultante de las fuerzas aplicadas sea nula: por ej un televisor apoyado en una mesa. ¿podrá moverse espontáneamente sin que ninguna otra fuerza actúe? fundamente  
B-imagínese un colectivo. Cuando el colectivo esta inicialmente parado y arranca repentinamente, ¿Qué sienten?¿hacia dónde se desplaza el cuerpo?. Si el colectivo frena de golpe, ¿qué sucede? Fundamente  
Dibuje las situaciones planteadas.
- 2- A- si una persona empuja una caja de una masa determinada, y luego la misma persona empuja, con la misma fuerza una caja de mayor masa ¿es igual la aceleración que experimentan las dos cajas? fundamente  
B-Ahora si la caja es la misma, pero la empuja un niño y después la empuja un hombre, lo que implica mayor fuerza, ¿Cuál caja tendrá mayor aceleración? Fundamente
- 3- A- Una nena va corriendo y no se da cuenta que enfrente hay otra persona parada. Choca con ella. ¿Qué le sucede a la chica? ¿y a la otra persona? ¿hacia dónde va a caer cada una? fundamente  
B-si un chico tiene patines y se empuja contra una pared realizando determinada fuerza, ¿Qué es lo que sucede? Fundamente.  
¿A que se debe que la niña y el chico sufran el movimiento que toman cada uno? Fundamente
- 4- De todos los casos anteriores indique a que ley de Newton corresponde cada uno de las estudiadas.