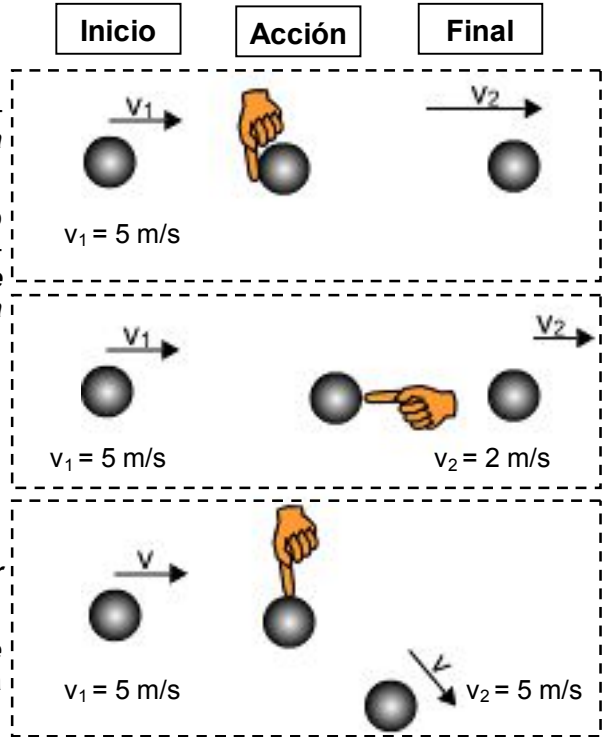


Observa la imagen que se muestra más abajo, en ella se puede ver un cuerpo que, inicialmente, se mueve hacia la derecha con una velocidad de 5 m/s, y en determinado momento se actúa sobre él.

En la escena superior se empuja el objeto en la misma dirección y sentido que se mueve. Observamos que **tras la acción la velocidad del cuerpo se incrementa.**

En la escena central se ejerce una acción en la misma dirección que el movimiento, pero en sentido contrario. **Tras la acción la velocidad del cuerpo es menor.**

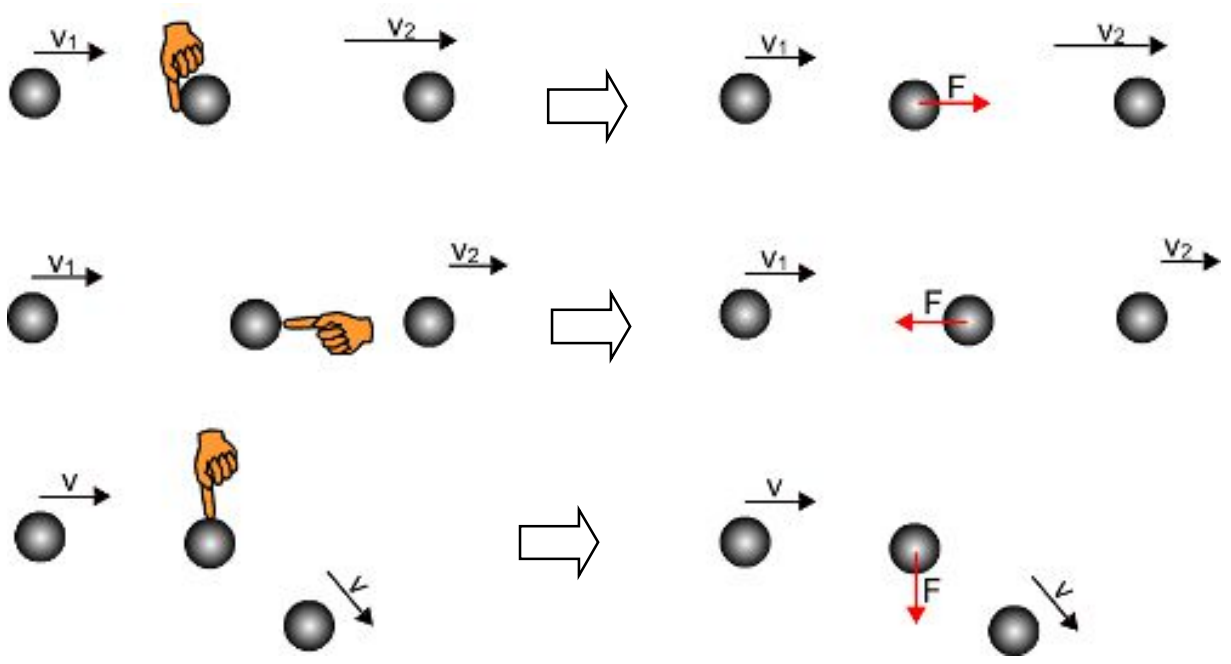
En la tercera escena se ejerce una acción sobre el cuerpo perpendicularmente a la dirección de la velocidad. El resultado es que, **aunque el valor de la velocidad permanece inalterado, el cuerpo se ha desviado de su trayectoria inicial (cambia su dirección).**



**Hemos de concluir que como resultado de una acción externa se modifica la velocidad del cuerpo.**

**En mecánica las acciones ejercidas se representan por fuerzas:**

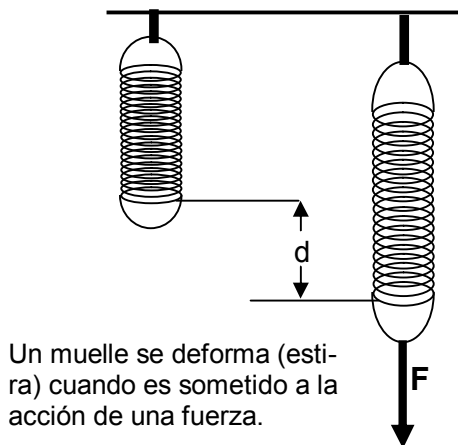
- ✓ **Las fuerzas representan acciones ejercidas sobre un cuerpo**, luego una fuerza actúa mientras persista la acción; si la acción cesa, la fuerza desaparece.
- ✓ **Las fuerzas son vectores**, luego hemos de definir: su módulo (valor), su dirección (línea de acción) y su sentido (indicado por la punta de la flecha).
- ✓ **La unidad de fuerza del Sistema Internacional (SI) es el newton**, y se abrevia con N.
- ✓ **Si quieres determinar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, estudia las acciones que se ejercen sobre él y representa cada una de las acciones por una fuerza.**



Acciones ejercidas sobre el cuerpo

Las acciones se representan por fuerzas (vectores)

**Otro efecto que las fuerzas pueden provocar al ser aplicadas sobre los cuerpos es producir deformaciones.** El ejemplo más claro es el estiramiento de un muelle sometido a una fuerza.



Un muelle se deforma (estira) cuando es sometido a la acción de una fuerza.

Hay cuerpos que no se deforman bajo la acción de una fuerza. Si esta es lo suficientemente grande se rompen o se fracturan. Son los **cuerpos rígidos**. Por ejemplo, una roca.

Los cuerpos que se deforman al aplicarles una fuerza, pero que no recuperan su forma inicial y permanecen deformados una vez que la fuerza deja de actuar, reciben el nombre de **cuerpos plásticos**. Por ejemplo la plastilina.

Por último, los cuerpos que se deforman cuando sobre ellos actúa una fuerza, pero que recuperan su forma cuando la fuerza deja de actuar, reciben el nombre de **cuerpos elásticos**. Por ejemplo un muelle.



Dinamómetro

El hecho de que un muelle se deforme cuando es sometido a la acción de una fuerza puede ser utilizado para medir las fuerzas.

Robert Hooke<sup>(1)</sup> descubrió en 1660 que **las deformaciones producidas en un muelle son directamente proporcionales a la fuerza a la que es sometido** (ley de Hooke). Esto significa que si un muelle se alarga  $x$  cm cuando se somete a la acción de una fuerza  $F$ , se alargará el doble ( $2x$ ) si se somete a la acción de una fuerza  $2F$ .

**Los dinamómetros son instrumentos usados para medir fuerzas** que están basados en la ley de Hooke. Contienen en su interior un muelle que se deforma al ser sometido a la acción de una fuerza. En la escala graduada podemos medir el valor de la fuerza aplicada.

Puedes hacerte una idea de los valores de las fuerzas (medidas en newtons) experimentando con un dinamómetro.

Los cuerpos elásticos pueden recuperar su forma original después de ser sometidos a la acción de una fuerza, pero existe un límite... Si aplicamos una fuerza demasiado grande la deformación pasa a ser permanente (como cuando estiramos un muelle con una fuerza grande), hemos sobrepasado el **límite de elasticidad** del material.

La "dureza" de un muelle se mide con la "constante elástica" cuyas unidades SI son N/m. Así una constante elástica 25 N/m significa que si se aplica una fuerza de 25 N el muelle se estiraría 1 m.

Un muelle de constante elástica 100 N/m es un muelle "más duro", ya que para estirarlo lo mismo (1 m) es necesario aplicar 100 N.

Muchas veces la constante elástica se expresa en g/cm. Así un muelle de constante elástica 25 g/cm es un muelle que se estira 1 cm cuando se cuelgan 25 g.

Ambas unidades son equivalentes:  $25 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 25 \frac{\text{g}}{\text{cm}}$

<sup>(1)</sup> Robert Hooke (1635-1703), fue un científico inglés, contemporáneo de Isaac Newton, con quien mantuvo una agria polémica sobre el descubrimiento de la Ley de Gravitación Universal.

Robert Hooke fue el primero en utilizar el nombre de célula, término que propuso para describir las diminutas celdas (parecidas a las de un panal), que vio en un trozo de corcho al ser observado al microscopio.

### Relación entre fuerza y variación de la velocidad

Tal y como hemos visto al principio del tema las fuerzas modifican la velocidad de los cuerpos. Podemos usar un laboratorio virtual (<http://bit.ly/2no93LR>) para tratar de establecer una relación entre la fuerza y la variación de la velocidad (aceleración) que experimenta un cuerpo.

La tabla siguiente se ha construido variando la fuerza aplicada y la masa del cuerpo:

	m = 1 kg	m = 2 kg	m = 4 kg
F (N)	a (m/s <sup>2</sup> )	a (m/s <sup>2</sup> )	a (m/s <sup>2</sup> )
8,00	8,00	4,00	2,00
4,00	4,00	2,00	1,00
2,00	2,00	1,00	0,50

Del estudio de la tabla anterior podemos deducir:

- 1) **Para una misma fuerza aplicada la aceleración producida depende de la masa del cuerpo.** A mayor masa la aceleración producida es menor. Por esta razón se dice que **la masa es una medida de la resistencia que los cuerpos oponen a ser acelerados**. La masa es una medida de **la inercia** de los cuerpos.
- 2) **Si mantenemos invariable la masa, la aceleración producida es proporcional a la fuerza** (si la fuerza disminuye a la mitad, la aceleración también disminuye a la mitad).
- 3) **Si multiplicamos el valor de la masa por la aceleración obtenemos el valor de la fuerza. Luego<sup>(2)</sup>:**

$$F = m \cdot a$$

Todas las magnitudes deben estar expresadas en el SI: la fuerza en N, la masa en kg y la aceleración en m/s<sup>2</sup>.

Hay que recordar que tanto la fuerza como la aceleración son vectores. Esto quiere decir que **(el vector) fuerza y (el vector) aceleración tienen siempre la misma dirección y sentido**.

- 4) **Si la masa del cuerpo se mantiene constante y la fuerza también, la aceleración será constante, luego el cuerpo se moverá con movimiento rectilíneo y uniformemente acelerado.**

#### Ejemplo 1.

m = 500 g

Para el cuerpo de la figura, determinar:



- a) El valor de la aceleración.
- b) La velocidad al cabo de 3,0 s, si parte del reposo.
- c) Qué fuerza habría que aplicar para que se mueva con una aceleración de 2,4 m/s<sup>2</sup>

#### Solución:

$$a) F = m a ; a = \frac{F}{m} = \frac{2,0 \text{ N}}{0,5 \text{ kg}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

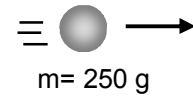
b) Como la velocidad aumenta 4 m/s cada segundo, al cabo de 3,0 s se moverá con v = 12 m/s.

$$c) F = m a = 0,5 \text{ kg} \cdot 2,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,2 \text{ N}$$

<sup>(2)</sup> La Dinámica estudia la relación entre las fuerzas aplicadas a un cuerpo y la aceleración producida y  $F = m a$  constituye la expresión matemática del Principio Fundamental de la Dinámica o 2ª Ley de Newton.

**Ejemplo 2.**

El objeto de la figura se mueve hacia la derecha con una velocidad de 6,0 m/s cuando se aplica una fuerza de 0,5 N hacia la izquierda.  $v = 6,0 \text{ m/s}$



- Describe su movimiento.
- Qué velocidad llevará al cabo de 3,0 s.
- Qué fuerza habría que aplicar para que se mueva con una aceleración de 2,4 m/s<sup>2</sup>

**Solución:**

- a) Como la fuerza apunta hacia la izquierda, la aceleración apuntará también hacia la izquierda y tendrá un valor de:

$$F = m a ; a = \frac{F}{m} = \frac{0,5 \text{ N}}{0,250 \text{ kg}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Como el cuerpo se movía hacia la derecha y la aceleración apunta hacia la izquierda, el cuerpo irá frenando y su velocidad disminuirá 2 m/s cada segundo.

- b) De lo dicho más arriba se deduce que al cabo de 2,0 s llevará una velocidad de 2 m/s.

c)  $F = m a = 0,250 \text{ kg} \cdot 2,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,60 \text{ N}$

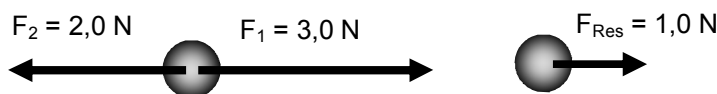
**¿Qué sucede si sobre un cuerpo actúan, a la vez, varias fuerzas?**

En este caso podemos reducir todas las fuerzas a una única fuerza, llamada **fuerza resultante** que produzca el mismo efecto actuando sola que todas las demás actuando a la vez.

**Cuando todas las fuerzas actúan en la misma dirección la fuerza resultante se obtiene sumando las fuerzas (si las fuerzas actúan en el mismo sentido) o restándolas (si actúan en sentido contrario).**



La fuerza resultante de varias fuerzas **con la misma dirección y sentido** se obtiene **sumando** las fuerzas actuantes.



La fuerza resultante de varias fuerzas **con la misma dirección y sentido contrario** se obtiene **restando** las fuerzas actuantes.

Cuando actúan varias fuerzas simultáneamente y queremos calcular la aceleración con que se mueve el objeto podemos aplicar  $F = m a$ , pero ahora **la fuerza que aparece en la ecuación es la fuerza resultante de las fuerzas actuantes**. Esto es:

$$F_{\text{Res}} = m \cdot a$$

En los casos presentados más arriba, suponiendo que  $m = 500 \text{ g}$ :

$$F_{\text{Res}} = m a ; a = \frac{F_{\text{Res}}}{m} \begin{cases} a = \frac{3,0 \text{ N}}{0,5 \text{ kg}} = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ a = \frac{1,0 \text{ N}}{0,5 \text{ kg}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{cases}$$

## La fuerza de rozamiento

La fuerza de rozamiento surge **cuando un cuerpo desliza sobre un plano**.

De mediciones experimentales se deduce que la fuerza de rozamiento:

- **Siempre se opone al deslizamiento del objeto.**
- **Es paralela al plano.**
- **Depende de la naturaleza y estado de las superficies en contacto y de la masa del cuerpo.**



Cuerpo que desliza hacia la derecha, la fuerza de rozamiento apunta hacia la izquierda.



Cuerpo que desliza hacia la izquierda, la fuerza de rozamiento apunta hacia la derecha.

En las experiencias reales la fuerza de rozamiento actúa siempre, aunque en problemas teóricos, y con el fin de simplificar la resolución, se puede considerar que no actúa.

El rozamiento se puede disminuir introduciendo entre la superficie y el cuerpo que desliza una fina película de aceite (lubricante). De esta manera el cuerpo no apoya directamente sobre el plano y la fuerza de rozamiento disminuye.



El dibujo de los neumáticos tiene como misión evacuar el agua para que el neumático roce con el asfalto facilitando la conducción y el frenado.

Hay que tener en cuenta que algunas veces lo que se busca es precisamente lo contrario, aumentar la fuerza de rozamiento.

Por ejemplo, cuando un coche frena lo hace debido a que los neumáticos rozan con el asfalto. Si la carretera está mojada puede ocurrir que se forme una pequeña película de agua entre el neumático y el asfalto, produciendo el mismo efecto que cuando lubricamos con aceite. Entonces el rozamiento es muy pequeño, el coche no frena y resulta ingobernable (aquaplaning).

El dibujo de los neumáticos tiene la misión de evacuar el agua para que el neumático apoye directamente sobre el asfalto. De ahí la importancia de mantener los neumáticos en perfecto estado.

### Ejemplo 3.

Un cuerpo de 200 g desliza sobre una superficie sometido a la acción de una fuerza de 2,0 N, paralela al plano, y que apunta hacia la derecha. Si la fuerza de rozamiento con la superficie vale 1,5 N:

- ¿Cuál es la aceleración del cuerpo?
- Qué velocidad llevará al cabo de 2,0 s.
- Comentar qué es lo que ocurre si a los 2,0 s de iniciado el movimiento la fuerza con que se tira del cuerpo se hace igual a la de rozamiento.

**Solución:**

$$a) F_{Res} = m a ; a = \frac{F_{Res}}{m} = \frac{0,5 \text{ N}}{0,200 \text{ kg}} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

b) Como la velocidad aumenta 2,5 m/s cada segundo, al cabo de 2,0 s llevará una velocidad de 5,0 m/s.

c) A los 2,0 s la velocidad será de 5,0 m/s. Si ahora igualamos la fuerza con la de rozamiento, la  $F_{res} = 0$ .

Por tanto:  $a = \frac{F_{Res}}{m} = \frac{0,0 \text{ N}}{0,200 \text{ kg}} = 0$ . Al ser nula la aceleración la velocidad del cuerpo no variará, el cuerpo se moverá con movimiento rectilíneo y uniforme con  $v = 5,0 \text{ m/s}$ .