

UNIDAD 4: DINÁMICA. LAS FUERZAS Y SUS EFECTOS

La **dinámica** es la parte de la física que estudia el movimiento, atendiendo a las causas que lo producen.

EXPLORA TUS IDEAS.

1. Cuando un ascensor sube con movimiento uniforme después de haber arrancado, la fuerza resultante sobre él es:
 - Igual que su peso pero hacia arriba.
 - Cero, ya que no varía la velocidad.
 - Mayor que el peso para que pueda subir.
2. Un paracaidista salta desde un avión. En su caída llega un momento en que el rozamiento con el aire neutraliza exactamente el peso del paracaidista. ¿Qué ocurrirá entonces?
 - Ascenderá lentamente.
 - Quedará flotando en el aire.
 - Caerá siempre a la misma velocidad.
3. Una atleta está dispuesta a levantar unas pesas que tiene a su lado. ¿Qué comentario de los que se dan te parece adecuado?
 - La atleta no tiene fuerza, pero es capaz de hacer fuerza para levantar las pesas.
 - La atleta tiene mucha fuerza y la va gastando a medida que levanta las pesas.
 - La atleta hace mucha fuerza y ésta es independiente de las pesas que levante.
4. Un niño lanza un balón hacia arriba, verticalmente. Imaginando el movimiento que va a describir el balón, elige la respuesta que te parezca correcta.
 - El balón se cae cuando se queda sin fuerza. Coge fuerza nuevamente a medida que baja.
 - La fuerza que actúa sobre el balón es siempre igual y dirigida hacia abajo.
 - Mientras el balón sube, la fuerza se dirige hacia arriba, pero el peso lo frena y le hace caer.
5. El sastre se ayuda de un imán para recoger los alfileres. Comparando la fuerza que el imán hace sobre cada alfiler y la que el alfiler hace sobre el imán, ¿cuál te parece la contestación más acertada?
 - El imán hace la misma fuerza sobre el alfiler que el alfiler sobre el imán.
 - El imán hace más fuerza sobre el alfiler que el alfiler sobre el imán.
 - El imán hace fuerza sobre el alfiler, pero el alfiler no hace fuerza sobre el imán.
6. Comenta la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:
 - La fuerza resultante sobre un cuerpo es proporcional a la velocidad que lleva.
 - La fuerza resultante sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que le produce.
 - La fuerza resultante sobre un cuerpo es proporcional a su contenido energético.

1. LAS FUERZAS Y SUS EFECTOS.

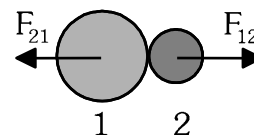
- Comenta la siguiente afirmación: “Esta mañana me siento con mucha fuerza y la voy a gastar colocando el material del laboratorio de física y química”
- Estudiemos la siguiente interacción: Una bola de billar en movimiento choca con otra que está en reposo. ¿Cuándo podemos decir que existen fuerzas en esa interacción?

Con las ideas que extraemos de las cuestiones anteriores y las preguntas del test inicial, podemos llegar a la siguiente conclusión.

La fuerza es una magnitud vectorial que mide la intensidad de la interacción entre dos cuerpos.

De la definición anterior podemos extraer las características generales que cumplen las fuerzas:

- Siempre que exista una interacción entre dos cuerpos (es decir, que un cuerpo actúe sobre otro), se ejercerán fuerzas entre ambos cuerpos. Por ejemplo, choques, contactos, rozamientos, atracción gravitatoria, atracciones o repulsiones eléctricas y magnéticas... Para que exista interacción no es necesario que los cuerpos estén en contacto.
- Los cuerpos **no tienen** fuerza por sí mismos. **Ejercen fuerzas al interactuar con otros.** Al finalizar la interacción, por tanto, también dejan de ejercerse estas fuerzas.
- Para que se ejerzan fuerzas son necesarios dos cuerpos que interactúen. El primer cuerpo ejercerá una fuerza sobre el segundo, y el segundo ejercerá una fuerza sobre el primero. Ambas fuerzas son iguales y de sentido contrario.



Las fuerzas, como magnitudes vectoriales, se representan por **vectores** (módulo, dirección, sentido). El punto de aplicación de la fuerza se coloca sobre el cuerpo que sufre la fuerza.

Unidades: La unidad de fuerza en el Sistema Internacional de unidades es el Newton (N).

Otras unidades:

Sistema técnico: kilopondio (kp); 1 kp = 9.8 N ~ 10 N.
 Sistema CGS: dina 1 dina = 10⁻⁵ N

Fuerza Resultante:

Las diferentes fuerzas que actúen sobre un cuerpo pueden sumarse (vectorialmente). El resultado de sumar todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo se denomina **resultante** del sistema de fuerzas (ΣF)

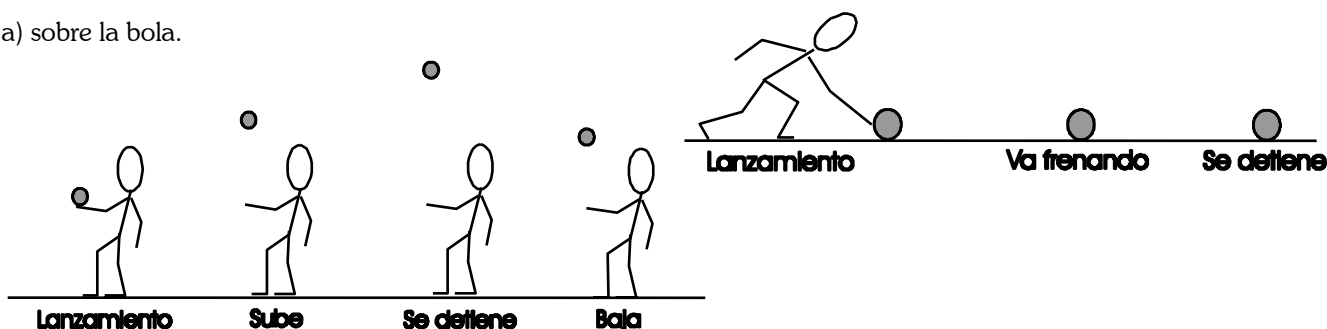
Sólo tiene sentido sumar las fuerzas que actúan sobre un mismo cuerpo, ya que son estas las que influirán en su movimiento o su deformación.

Fuerzas por contacto y a distancia: Existen fuerzas que actúan por **contacto** entre el cuerpo que produce la fuerza y el que la recibe. Otras veces, las fuerzas se aplican a **distancia**.

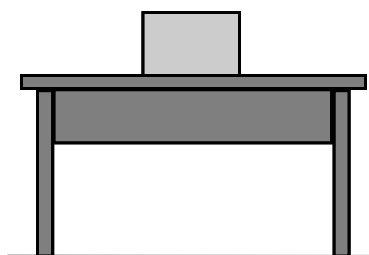
- La mayoría de los ejemplos que hemos visto son de fuerzas "de contacto". ¿De qué tipo crees que es la fuerza que ejerce un bolígrafo, previamente frotado con un jersey, sobre un pequeño papel?
 Pon otros ejemplos de fuerzas que actúen por contacto y de fuerzas que actúen a distancia.

Ejercicio 1.1. Para las siguientes situaciones, identifica y dibuja las fuerzas que actúan:

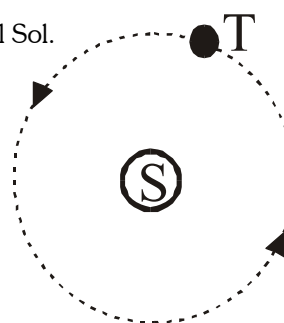
a) sobre la bola.



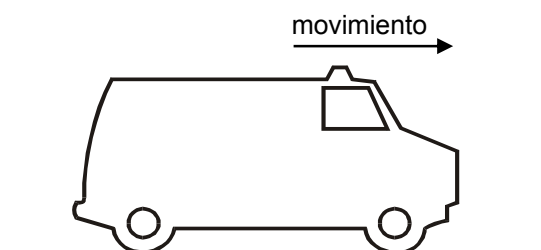
b) sobre la mesa y sobre la caja.



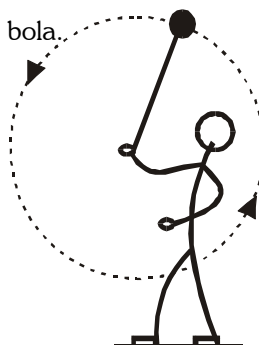
c) Sobre la Tierra y sobre el Sol.



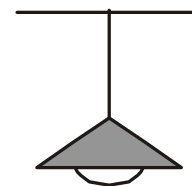
d) Sobre la furgoneta



e) Sobre la bola.



f) Sobre la lámpara.



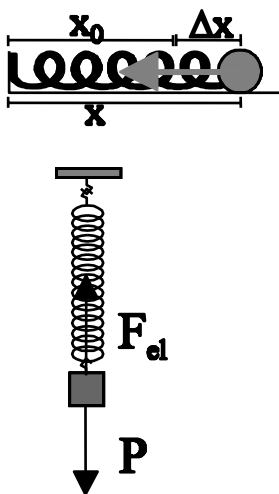
1.1 Efectos de las fuerzas:

- *Cuál es el efecto que producen las siguientes fuerzas:*
 - *La fuerza que hace un leñador con el hacha en la madera.*
 - *La fuerza que hace una futbolista al golpear un balón.*
 - *La fuerza que hace un niño sobre el barro que moldea.*
- *¿Cómo podemos hacer que un cuerpo que esté parado se mueva? ¿Cómo podemos hacer que un cuerpo que está moviéndose se pare?*

Una fuerza, al actuar sobre un cuerpo, puede producir:

- Un cambio en su movimiento (una aceleración)
- Una deformación del cuerpo:
 - Los **cuerpos elásticos** recuperan su forma inicial al dejar de hacer las fuerzas que los deforman (siempre que no sean tan intensas que les hagan perder la elasticidad).
 - Los **cuerpos plásticos** no recuperan su forma inicial una vez que cesa la fuerza.

1.2 Fuerza elástica: Ley de Hooke:



Cuando estiramos o comprimimos un cuerpo elástico (un muelle, p.ej.) éste intenta volver a su forma original, y responde con una fuerza, llamada *fuerza elástica*. Se produce en él una deformación (Δx). Experimentalmente, se puede comprobar que la deformación producida (Δx) y la fuerza elástica (F_{el}) son proporcionales, cumplen la siguiente relación, conocida como Ley de Hooke:

$$F_{el} = K \cdot \Delta x \quad (\Delta x = x - x_0)$$

que queda $F_{el} = K \cdot (x - x_0)$

donde la constante K , característica de cada muelle, se denomina **coeficiente de elasticidad**. Sus unidades son N/m ($N \cdot m^{-1}$) en el S.I.

El alargamiento regular de los muelles al aplicar fuerzas sobre ellos se aprovecha para la construcción de **dinamómetros**, instrumentos destinados a la medida de fuerzas.



Robert Hooke
(1635 - 1703)

Límite elástico: Todos los cuerpos elásticos poseen un límite de elasticidad o límite elástico. Es decir, existe una deformación máxima que pueden soportar, volviendo luego a la forma inicial. Al aplicarle una fuerza superior y deformarlo más que lo que indica el límite elástico, la deformación es permanente.

Ejercicio 1.2: La ley de Hooke para un muelle es $F = 200 \cdot (x - 0,2)$ (S.I)

- a) ¿Qué significan los diferentes números que aparecen en la expresión?
- b) Calcular cuánto se estirará y qué longitud final tendrá el muelle al tirar de él con una fuerza de 50 N.
- c) Calcular qué fuerza debemos ejercer para que el muelle se deforme 15 cm.

Ejercicio 1.3: Tenemos un muelle que mide normalmente 10 cm. Al tirar de él con una fuerza de 5 N, observamos que su longitud pasa a ser de 12 cm.

- a) calcular la constante elástica del muelle.
- b) ¿Cuál será su longitud si ejercemos una fuerza de 2 N?
- c) ¿Con qué fuerza debemos tirar para que pase a medir 15 cm?

Ejercicio 1.4: Calcular la ley de Hooke para un resorte (muelle) en el que se cumplen las siguientes condiciones:

- En ausencia de fuerzas aplicadas, mide 15 cm.
- Al aplicar una fuerza de 100 N, se comprime 5 mm.

Ejercicio 1.5: Una goma elástica, al estirarla, ejerce una fuerza elástica cuyo valor viene dado por la expresión $F = 30 \cdot (x - 0,08)$ (S.I).

- a) Representa la fuerza ejercida frente al estiramiento (Δx).
- b) Calcula cuánto medirá la goma y cuál será su estiramiento si tiramos de ella con una fuerza de 20 N.

2. SUMA DE FUERZAS. FUERZA RESULTANTE (ΣF)

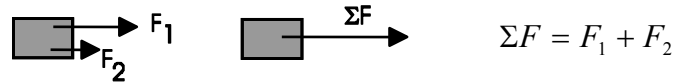
- Jesús y Mónica tiran de una caja mediante cuerdas atadas a ella. Ambos ejercen fuerzas de 50 N. ¿A qué equivale el esfuerzo total que están realizando?
- ¿Es posible sumar dos fuerzas de 4 N y 3 N y que el resultado sea de 5 N?

SUMA DE FUERZAS:

A la hora de sumar fuerzas, hemos de tener en cuenta lo siguiente:

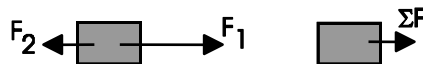
1. Para poder sumar dos más fuerzas, deben estar aplicadas al mismo cuerpo. No podemos sumar fuerzas que estén aplicadas a cuerpos diferentes.
2. El resultado de sumar todas las fuerzas aplicadas a un cuerpo es otra fuerza, denominada resultante (ΣF). Esta resultante produce el mismo efecto que el conjunto de fuerzas que hemos sumado, y puede sustituirlas a todas ellas.
3. Las fuerzas son vectores (con dirección, sentido...). El resultado de sumar dos fuerzas depende de la dirección que tengan, es decir, del ángulo que formen entre ellas.

FUERZAS EN IGUAL DIRECCIÓN Y SENTIDO:



$$\Sigma F = F_1 + F_2$$

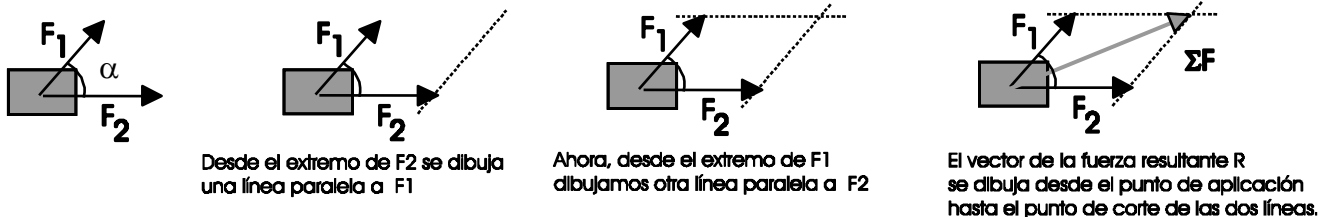
FUERZAS CON IGUAL DIRECCIÓN Y SENTIDOS OPUESTOS:



$$\Sigma F = F_1 - F_2 \quad \text{Siempre la fuerza mayor menos la menor}$$

FUERZAS EN DIFERENTES DIRECCIONES: La resultante, R, se calcula gráficamente y numéricamente.

Gráficamente:



Numéricamente

Si las fuerzas son PERPENDICULARES (forman un ángulo de 90° entre ellas):



Si las fuerzas forman un ÁNGULO CUALQUIERA α :



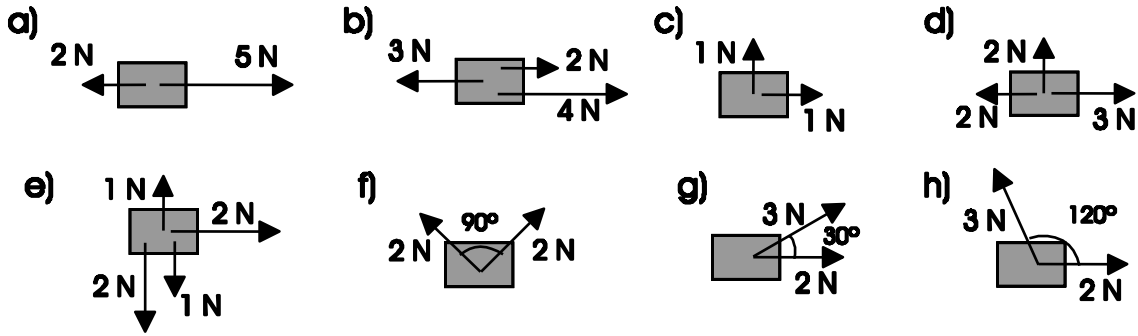
Ejercicio 2.1. Halla el módulo de la resultante de dos fuerzas de 3 N y 4 N en los siguientes casos

- a) Forman entre ellas un ángulo de 0°;
- b) El ángulo es de 90°
- c) El ángulo es de 180°.

Ejercicio 2.2. Dadas las fuerzas de módulos 4, 2 y 5 N que forman ángulos de 0°, 90° y 180° con el eje x positivo respectivamente, calcula y dibuja la resultante.

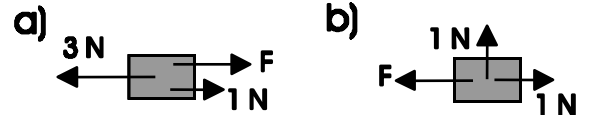
Ejercicio 2.3. Dos fuerzas de 10 N y 6 N respectivamente actúan sobre un punto en la misma dirección pero en sentidos opuestos. ¿Cuál es su resultante?

Ejercicio 2.4. Calcular la resultante de las fuerzas aplicadas sobre cada cuerpo:



Ejercicio 2.5.

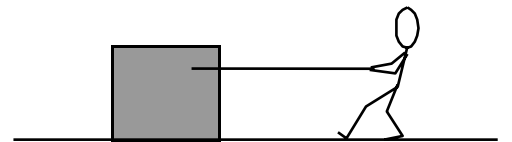
a) ¿Cuál tiene que ser el valor de la fuerza F para que el cuerpo no cambie su movimiento?



b) ¿Qué fuerza habrá que aplicar en los casos d) y e) del ejercicio 2.4 para que los cuerpos se mantengan en reposo, suponiendo que estaban así antes de aplicar ninguna fuerza?

c) Un cuerpo cuyo peso es de 4 N está suspendido de una cuerda y se encuentra en reposo. ¿Qué fuerza está ejerciendo la cuerda? Dibujar un esquema con las fuerzas aplicadas.

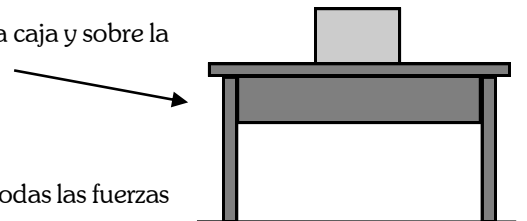
Ejercicio 2.6: La persona de la figura está tirando de la caja con una fuerza de 100 N y, sin embargo, no consigue cambiar el movimiento de la caja, que sigue quieta. Explicar razonadamente por qué ocurre esto, (Pista: investigar qué otras fuerzas pueden estar actuando sobre el cuerpo y dibujarlas en la figura)



Ejercicio 2.7: Una pelota cae al suelo, rebota y vuelve a subir. Dibujar las fuerzas que actúan sobre la pelota (no considerar rozamiento con el aire):

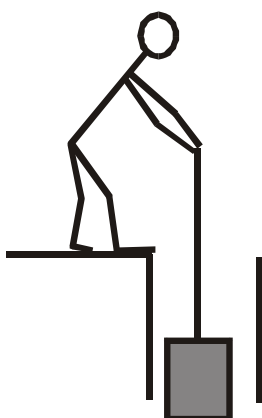
- a) Mientras cae;
- b) En el instante de botar;
- c) Cuando sube

Ejercicio 2.8: Identificar y calcular todas las fuerzas que actúan sobre la caja y sobre la mesa. (Masa de la caja = 3 kg, masa de la mesa = 20 kg).



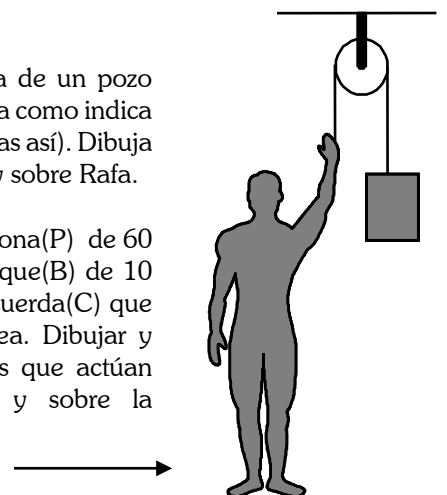
Ejercicio 2.9: Juan empuja el carrito de la compra. Identifica y dibuja todas las fuerzas que actúan sobre Juan y sobre el carrito.

Ejercicio 2.10: María, de 60 kg de masa, sostiene en alto una pesa de 30 kg. Dibuja y calcula todas las fuerzas que actúan sobre María y sobre la pesa.



Ejercicio 2.11: Rafa (masa= 70 kg), saca agua de un pozo tirando del cubo (masa = 10 kg) mediante una cuerda como indica el dibujo (algo malísimo para la espalda, nunca lo hagas así). Dibuja y calcula todas las fuerzas que actúan sobre el cubo y sobre Rafa.

Ejercicio 2.12: Una persona(P) de 60 kg sostiene un bloque(B) de 10 kg mediante una cuerda(C) que pasa por una polea. Dibuja y calcula las fuerzas que actúan sobre el bloque y sobre la persona.



3. LEYES DE NEWTON

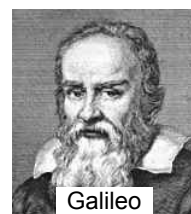
El científico inglés **Isaac Newton** (1642-1727), en su obra *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* (Principios matemáticos de la Filosofía Natural, 1684) recoge y explica descubrimientos propios y de otros científicos anteriores (Kepler, Galileo). Define los conceptos de fuerza y masa, y proporciona un procedimiento matemático para poder estudiar los movimientos y sus causas. Puede afirmarse que es en estos momentos cuando la Física se hace “adulta”.



3.1 PRIMERA LEY DE NEWTON (LEY DE INERCIA) (1º PRINCIPIO DE LA DINÁMICA):

- Intenta explicar por qué cuando arrancamos un coche bruscamente nos pegamos en el respaldo del asiento.
- Imagina una bola que desliza a velocidad constante por una superficie horizontal perfectamente lisa, sin rozamiento de ningún tipo. ¿Existe alguna fuerza que impulse en ese momento a esa bola?

El científico italiano **Galileo Galilei** (1564 - 1642) se planteó experimentos como los anteriores para demostrar que las ideas que se tenían en su época referentes a los movimientos eran erróneas. Desde la Grecia clásica prevalecían las teorías del filósofo griego **Aristóteles** (s. IV a.C). Según él, para mantener un movimiento es necesaria la acción constante de una fuerza (movimiento forzado). En cuanto esa fuerza dejara de actuar, el cuerpo se pararía.



Galileo



Aristóteles

Galileo, sin embargo, plantea el razonamiento al revés, y procura eliminar el rozamiento en su estudio. Un cuerpo que desliza por una superficie horizontal sin rozamiento continuará con su movimiento sin que haga falta ninguna fuerza que mantenga el movimiento. Si en esa situación le aplicamos una fuerza, conseguiremos pararlo o acelerarlo. Las fuerzas no mantienen el movimiento, sino que lo modifican.

De acuerdo con los resultados experimentales, Galileo enunció el **principio de inercia**. Este principio fue recogido por Newton y constituye su **primera ley de la dinámica**:

“Un cuerpo permanece en su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme a menos que actúe sobre él una fuerza resultante distinta de cero que le obligue a cambiar ese estado ”

Podemos expresar también esta ley diciendo que *“Siempre que $\Sigma \mathbf{F} = 0$, el cuerpo mantiene su estado de movimiento”* (y siempre que el cuerpo mantenga su estado, es porque $\Sigma \mathbf{F} = 0$)

Esta tendencia que tiene el cuerpo a continuar en el estado que estaba fue llamada *vis insita* (actualmente *inercia*) por Newton. Hay que resaltar que la inercia no es ninguna fuerza, es simplemente la tendencia que tiene cualquier cuerpo a continuar tal y como estaba, hasta que lo obliguemos a cambiar. La inercia de un cuerpo depende fundamentalmente de la masa que éste tenga. A mayor masa, más difícil será modificar su movimiento.

3.1.1. Concepto de equilibrio:

Cuando sobre un cuerpo no actúa fuerza resultante decimos que está en **equilibrio**. Esto puede darse de dos formas:

Equilibrio estático: El cuerpo permanece en reposo (velocidad nula).

Equilibrio dinámico: El cuerpo se mueve con velocidad constante (MRU), ya que no hay fuerza que modifique su movimiento. Cuando su velocidad es cero se dice que está en **reposo**.

De acuerdo con esto, la primera ley de Newton puede escribirse de esta forma: *“Un cuerpo permanecerá en estado de equilibrio a menos que sobre él actúe una fuerza resultante distinta de cero”*

Ejercicio 3.1. ¿La resultante de las fuerzas sobre un cuerpo que lleva un MRUA es cero o es distinta de cero? ¿Estará en equilibrio?

Ejercicio 3.2. En el movimiento de un péndulo, éste tiene velocidad cero cuando se encuentra en un extremo de su oscilación. ¿Está en equilibrio?

Ejercicio 3.3. Dibuja la gráfica v-t y la gráfica F-t de un ascensor cuando arranca y sigue con velocidad constante.

Ejercicio 3.4. Al lanzar hacia arriba una piedra varía su velocidad.

a) Haz una gráfica v-t y F-t que se ajuste a ese comportamiento.

b) Explica cómo una fuerza que siempre tiene la misma dirección puede producir efectos distintos. Pon ejemplos.

3.2 2ª LEY DE NEWTON (RELACIÓN CAUSA-EFECTO) (2º PRINCIPIO DE LA DINÁMICA)

“Cuando se aplican fuerzas a un cuerpo aparece una aceleración que es proporcional a la resultante de dichas fuerzas, siendo la constante de proporcionalidad la masa del cuerpo “

Lo dicho anteriormente puede resumirse mediante una fórmula que relaciona el efecto (la aceleración) con la causa que la ha producido (la fuerza resultante). La constante que relaciona ambas magnitudes es la masa del cuerpo.

$$\Sigma F = m \cdot a \qquad a = \frac{\Sigma F}{m}$$

Observamos que esta segunda ley completa e incluye a la primera, la ley de inercia, ya que si la resultante de las fuerzas es cero, el móvil no tendrá aceleración, y se mantendrá en su estado de movimiento

De la fórmula obtenemos el valor de la unidad de fuerza (newton) en función de las unidades fundamentales.

$$N = kg \cdot m \cdot s^{-2}.$$

Ejercicio 3.5: Sobre un camión y un coche que van a 72 km/h actúan sendas fuerzas resultantes de 4000 N (de sentido contrario a la velocidad). Si la masa del camión es de 3000 kg y la del coche es de 1000 kg, Calcula la aceleración que sufren y el tiempo que tardarán en pararse.

Ejercicio 3.6: Sabiendo que la aceleración de un cuerpo es de 7 m/s² y que su masa es de 300 g, ¿Qué fuerza se aplicó? ¿Qué ocurriría si la masa fuese la mitad? ¿Qué ocurriría si la aceleración fuese el doble? ¿Qué ocurriría si la masa fuese la mitad y la aceleración el doble?

3.3. TERCERA LEY DE NEWTON. (PRINCIPIO DE ACCIÓN-REACCIÓN) (3º PRINCIPIO DE LA DINÁMICA)

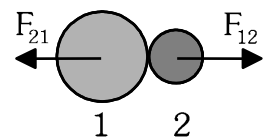
- Llenamos un globo de aire y, sin anudar la boquilla, lo soltamos. ¿Por qué el globo sale impulsado?
- Explica qué te pasaría si sobre una pista de patinaje, lanzases un balón hacia adelante.

La expresión de la 3ª ley es la siguiente:

“En toda interacción entre dos cuerpos, se ejercen dos fuerzas, una aplicada sobre cada cuerpo, que son iguales en módulo y dirección, y en sentidos contrarios”.

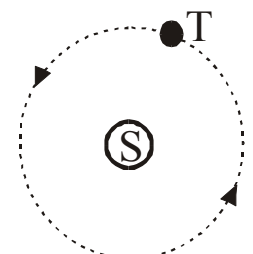
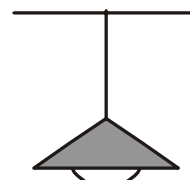
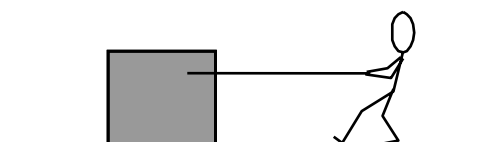
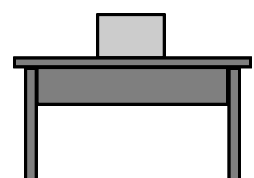
Lo que quizá más pueda sorprendernos de esta tercera ley es el hecho de que las dos fuerzas tengan el mismo valor. Es decir, si le damos una patada a un balón, el balón ejerce sobre nuestro pie una fuerza igual. Si la Tierra nos atrae, nosotros atraemos a la Tierra con la misma fuerza. ¿Por qué entonces los cuerpos caen y la Tierra no sube? ¿Por qué el balón sale disparado y nuestro pie no sale rebotado hacia atrás? La razón hay que buscarla en la segunda ley de Newton. Las fuerzas que actúan son iguales, pero los efectos que producen (las aceleraciones) dependen también de la masa. La Tierra tiene una masa tan enorme que la aceleración que sufre es insignificante, inapreciable. El balón tiene mucha menos masa que nuestra pierna, y sufre más aceleración (la pierna también se ve frenada en su movimiento, debido a la acción de la fuerza que le ejerce el balón).

Aunque las fuerzas de acción y reacción son iguales y de sentido contrario, nunca se anulan, ya que actúan sobre cuerpos distintos (no podemos sumarlas).



Ejercicio 3.7: Explica razonadamente por qué el perdigón de una escopeta sale muy rápido y la escopeta se va hacia atrás mucho más lentamente.

Ejercicio 3.8: Dibuja los pares de acción-reacción que existen en las siguientes situaciones.



4. ESTUDIO DE ALGUNAS FUERZAS DE PARTICULAR INTERÉS

- 4.1 PESO (F_g):** - Fuerza que ejerce la Tierra (o el planeta en el que estemos) sobre un cuerpo. Ya lo estudiaremos en más detalle, pero de momento podemos ver las siguientes características.
- Su dirección apunta hacia el centro de la Tierra.
 - Se calcula con la expresión $F_g = m \cdot g$
 - Aunque el peso de un cuerpo disminuye con la altura, para alturas de pocos km sobre la superficie, puede considerarse que la gravedad, g , se mantiene constante en $g = 9,8 \text{ m s}^{-2} \sim 10 \text{ m s}^{-2}$.
 - El punto de aplicación del peso es el **centro de gravedad del cuerpo**.

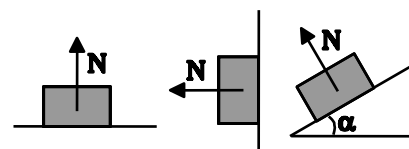
- 4.2 TENSIÓN:** Fuerza que ejerce un hilo o cable tenso sobre sus extremos.
Para una misma cuerda, el valor de T es el mismo en ambos extremos
Cuando T se haga 0, significará que la cuerda deja de estar tensa (se ha aflojado).



- 4.3 FUERZA ELÁSTICA :** Fuerza que ejercen los cuerpos elásticos al ser deformados, ya que tienden a volver a su forma original. Es proporcional a la deformación. Ya la estudiamos cuando vimos la ley de Hooke (apdo 1.1)

$$F_{el} = K \cdot \Delta x$$

- 4.4 NORMAL:** Esta fuerza se da siempre que existe un contacto entre dos superficies. Es la reacción de la superficie a todas las fuerzas que se ejercen sobre él perpendicularmente. Esta reacción explica el hecho de que el cuerpo no se hunda en la superficie.



Características

- Es una fuerza perpendicular a la superficie y siempre va en sentido hacia fuera.
- Ya que esta fuerza se debe al contacto entre las dos superficies, desaparecerá cuando los dos cuerpos dejen de estar en contacto.
- Su valor es aquel que hace que el cuerpo se quede en equilibrio en esa dirección.
- Como en toda interacción, existe un par acción-reacción. Sobre el plano estará aplicada otra fuerza igual y de sentido contrario.

4.5 FUERZA DE ROZAMIENTO (F_{Roz})

La fuerza de rozamiento está presente constantemente a nuestro alrededor. Si echamos a rodar una bola por una superficie horizontal, se terminará parando. Un coche puede frenar gracias al rozamiento, pero también el rozamiento con el aire le impide acelerar con mayor rapidez. Existe una disciplina completa de la Física (la Aerodinámica), que estudia el efecto del rozamiento de los fluidos en los cuerpos.

Para que exista fuerza de rozamiento es necesario:

- Que exista contacto entre los cuerpos
- Que haya un deslizamiento (o al menos un intento de deslizamiento) entre las superficies que están en contacto.

No olvidemos que el rozamiento es una interacción entre dos cuerpos (dos superficies en este caso). Por lo tanto, se ejercerán dos fuerzas, iguales y de sentido contrario, una sobre cada superficie. Normalmente dibujamos sólo la que actúa sobre el cuerpo que estamos estudiando, pero a veces hay que tener en cuenta además la que actúa sobre la otra superficie.

Estamos acostumbrados a decir que la fuerza de rozamiento se opone al movimiento. Cuidado. Esto no siempre es así. En ocasiones, esta fuerza es la causa de que el cuerpo se mueva. Por ejemplo, las ruedas de un coche, o el rozamiento de las suelas de los zapatos al caminar.

La fuerza de rozamiento entre dos superficies depende de:

- El tipo de superficie (su rugosidad).
- La intensidad del contacto (esto nos lo va a indicar el valor de la fuerza normal (N))

5 FUERZA GRAVITATORIA. LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL.

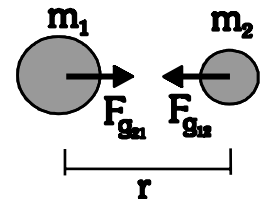
A finales del siglo XVII Isaac Newton formuló la ley de gravitación universal, con la que se explicaban los movimientos que se observan en los planetas del sistema solar, así como la caída de los cuerpos en la Tierra.

“ Todos los cuerpos, por el hecho de tener masa, se atraen entre sí con una fuerza directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa ”.



Matemáticamente:
$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

donde G es una constante universal de valor $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$.



Ejercicio 5.1: ¿Cuál es la fuerza con que se atraen dos masas de 1 kg separadas 1 m? ¿Por qué las fuerzas gravitatorias no se aprecian entre los objetos que nos rodean y sí en el Universo?

Ejercicio 5.2: Calcular la fuerza de atracción entre:

- El Sol y la Tierra.
- La Tierra y la Luna (busca los datos de las masas y distancias en alguna enciclopedia)

Gravedad terrestre:

Hasta ahora hemos calculado el peso de un cuerpo aplicando la expresión

$$F_g = m \cdot g$$

Pero ya sabemos que también la podemos calcular con la ley de gravitación universal, siendo m_1 igual a la masa de la Tierra (M), y r la distancia desde el centro de la

Tierra hasta el centro del cuerpo.
$$F_g = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

Las dos fórmulas deben darnos el mismo resultado, por lo que llegamos a la conclusión

de que el valor de la gravedad, g , es igual a
$$g = G \cdot \frac{M}{r^2}$$

Esta fórmula nos permite calcular la gravedad a cualquier distancia del centro de la Tierra. Si calculamos su valor en la superficie, sustituyendo los datos ($M = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ $r = R_T = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$) obtendremos el valor conocido de $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Para cualquier planeta, basta sustituir su masa y su radio.

Valores de gravedad superficial en el Sistema solar (en m/s^2)

Mercurio:	3,6
Venus:	8,6
Tierra:	9,8
Luna:	1,6
Marte:	3,7
Júpiter:	25,9
Saturno:	11,3
Urano:	11,5
Neptuno:	11,6
Plutón:	(1,2)?

Ejercicio 5.3: Calcular el peso de una persona de 70 kg:

- En la superficie terrestre.
- A 10000 m de altura
- En una nave espacial a 300 km de altura

Ejercicio 5.4: La sonda "Mars Pathfinder", con una masa de 100 kg, fue lanzada hacia Marte, planeta al que llegó en julio de 1997. Calcula:

- Peso de la sonda en la superficie de Marte.
- Fuerza gravitatoria entre Marte y la sonda cuando esta se encontraba a 1000 km de la superficie del planeta. (Datos: Masa de Marte: $M_M = 6,5 \cdot 10^{23} \text{ kg}$, Radio de Marte: $R_M = 3400 \text{ km}$, gravedad en la superficie de Marte: $g_M = 3,7 \text{ N/kg}$)

Ejercicio 5.5: Calcula tu propio peso si estuvieras en la superficie de:

- La Luna
- Júpiter
- Marte
- Urano.

6 INTERACCIÓN ELECTROSTÁTICA

Sabemos que, cuando frotamos un bolígrafo con una prenda de lana, es capaz de atraer trocitos de papel. O al peinarnos en un día seco, el peine atrae al pelo. Esta interacción a distancia es distinta de la interacción gravitatoria. Se debe a las cargas eléctricas.

Toda sustancia está formada por átomos, que poseen partículas con carga positiva (protones) y negativa (electrones). En principio el bolígrafo es neutro (tiene el mismo número de protones que de electrones), pero al frotarlo contra la lana, le arranca electrones, quedándose con carga negativa. Se dice que se ha electrizado. Con una varilla de vidrio pasaría al contrario, la lana arrancaría electrones al vidrio, quedándose éste con carga positiva.

Sabemos también que cargas del mismo signo se repelen y cargas de signo contrario se atraen.

La unidad en que se mide la carga (Q) en el sistema internacional es el **Culombio (C)**, en honor del científico francés **Coulomb**, quien, en 1777, descubrió la ley que rige la interacción electrostática. Tiene una expresión muy parecida a la ley de gravitación:



“Entre dos cuerpos cargados eléctricamente existen fuerzas que son proporcionales al producto de las cargas e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que los separa.

Si ambas cargas son del mismo signo, la fuerza será repulsiva.

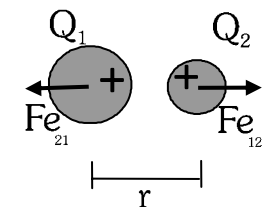
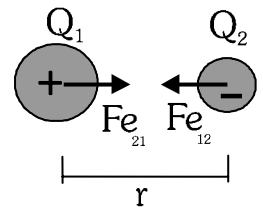
Si las cargas tienen signos contrarios, la fuerza será atractiva.”

Lo anterior se resume en la expresión
$$F_e = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Donde Q_1 y Q_2 son las cargas de ambos cuerpos (cada una con su signo), r es la distancia entre sus centros, y K es una constante (constante eléctrica), que depende del medio material que los rodee.

En el vacío (y en el aire, tiene prácticamente el mismo valor), $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$

En el agua es 81 veces menor, $K = 1,11 \cdot 10^8 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$



El signo de la fuerza nos indica si es atractiva o repulsiva: Positivo: repulsiva

Negativo: atractiva

Ejercicio 6.1: Tenemos dos cuerpos cargados eléctricamente con cargas de $3 \mu\text{C}$ y $-5 \mu\text{C}$, respectivamente, separados 50 cm.

Calcular la fuerza de la interacción (razonar si es atractiva o repulsiva):

a) En el agua.

b) En el vacío.

(Nota: el prefijo micro (μ) significa 10^{-6})

Ejercicio 6.2: Calcular la fuerza con que se atraen el protón y el electrón del átomo de hidrógeno, sabiendo que ambos tienen una carga de $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, y están separados $0,529 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$)

CUESTIONES Y PROBLEMAS

CUESTIONES:

C.1. En el movimiento de balanceo de un muelle suspendido verticalmente indica razonadamente:

- En qué instantes está en reposo.
- En qué instantes está en equilibrio.
- Si en algún instante está en equilibrio y en reposo a la vez.

C.2. Indica razonadamente si actúa o no una fuerza resultante sobre los sistemas que se describen a continuación. Indica en qué casos el móvil está en equilibrio:

- Un corcho flotando en un estanque en calma.
- Un balón entrando en la canasta de baloncesto.
- Un tren yendo en línea recta durante un rato a 80 km/h
- Un águila al lanzarse contra su presa.

C.3. Sabemos que, en la Tierra, sobre cualquier cuerpo en reposo, actúa siempre al menos una fuerza, la gravitatoria. ¿Por qué entonces, no se mueve?

C.4. Comentar las siguientes frases:

- 1 N es igual a 100 g, aproximadamente.
- Al sumar dos fuerzas, una de 4 N y otra de 6 N, es posible que la resultante valga 8 N
- Al lanzar un cuerpo hacia arriba, éste se detendrá y comenzará a caer cuando se le acabe la fuerza que le hemos dado.
- Al aplicar una fuerza a un cuerpo aumentaremos su velocidad.

C.5. Elige la respuesta correcta. Cuando un objeto se mueve:

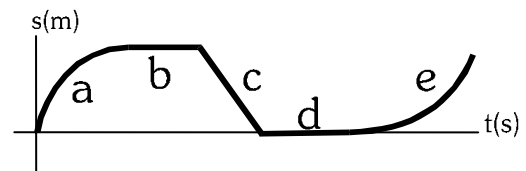
- Siempre existe una fuerza con la dirección y el sentido del desplazamiento.
- Siempre existe alguna fuerza sobre el objeto, aunque no tiene que estar dirigida necesariamente en la misma dirección que el movimiento.
- Pueda ocurrir que exista, o puede que no exista ninguna fuerza actuando sobre el objeto.

C.6. En el camino que lleva un coche hay tramos rectos y curvos. Unas veces la velocidad es uniforme; en otros tramos es variada. Dibuja la dirección de la fuerza, cuando exista, en los siguientes casos:

- Cuando vaya por un tramo recto y esté acelerando.
- Cuando vaya por un tramo recto con movimiento uniforme.
- Cuando vaya por un tramo recto y vaya frenando.
- Cuando vaya por un tramo curvo con movimiento uniforme.

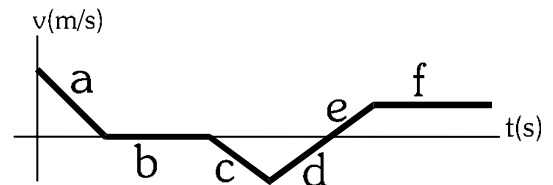
C.7. Dada la siguiente gráfica s-t de un movimiento rectilíneo

- Explica razonadamente en qué tramos el móvil está sometido a fuerzas con una resultante distinta de cero y en cuáles es cero.
- En qué tramos el móvil está en equilibrio y en cuáles no lo está.



C.8. Dada la siguiente gráfica v-t de un movimiento rectilíneo:

- Explica razonadamente en qué tramos el móvil está sometido a fuerzas con una resultante distinta de cero y en cuáles la fuerza resultante es cero.
- En qué tramos el móvil está en equilibrio y en cuáles no lo está.
- En qué tramos la fuerza tiene el mismo sentido que la velocidad y en cuáles tiene sentido contrario.



PROBLEMAS:

P.1 Juan empuja el carrito de la compra del supermercado (20 kg) aplicando una fuerza de 15 N. La fuerza de rozamiento con el suelo puede considerarse constante e igual a 5 N.

- Dibujar y calcular el valor de todas las fuerzas que actúan sobre el carrito. Calcular la velocidad que adquirirá el carrito a los 2 s, suponiendo que parte del reposo.
- Si a partir de ese instante queremos que se mueva con velocidad constante. ¿qué fuerza tendrá que aplicar Juan? ¿en qué principio de la dinámica te basas?
- Si Juan deja de empujar y suelta el carrito. ¿Cuánto tiempo tardará en pararse? ¿Qué distancia recorrerá hasta que se pare?

P.2. Levantamos una pesa de 10 kg mediante una cuerda aplicando una fuerza de 110 N. Calcular:

- Aceleración que sufrirá la pesa.
- Velocidad al cabo de 0,4 s. (despreciar el rozamiento con el aire)

P.3. Empujamos un carro de 100 kg con una fuerza de 25 N. El carro, que al principio estaba quieto, alcanza la velocidad de 1 m/s en 5 s.

- ¿Qué fuerza de rozamiento existe entre el carro y el suelo?
- Si desde el principio la fuerza de rozamiento fuera de 100 N. ¿Qué le ocurriría al carro? ¿Por qué?

- P.4.** Un perro de 30 kg arrastra un trineo de 50 kg con una fuerza de 90 N. El carro, que al principio estaba quieto, alcanza la velocidad de 3 m/s en 10 s.
- Dibuja todas las fuerzas que actúan sobre el trineo y sobre el perro, con su nombre y su valor (las que se puedan calcular).
 - ¿Cuánto vale la fuerza de rozamiento que existe entre el carro y el suelo?
 - ¿Qué fuerza aplicará a partir de ese momento el perro para continuar con movimiento uniforme? ¿Por qué?
- P.5.** Sobre un cuerpo de 20 kg que está en reposo actúa durante 5 s una fuerza de 40 N. Luego, y durante otros 5 s, deja de actuar esa fuerza. Por fin, durante 2 s actúa una fuerza de 100 N en la misma dirección pero en sentido contrario que la primera. Haz una gráfica v-t y calcula la posición final del móvil.
- P.6.** Sobre un automóvil de 1000 kg que se mueve una velocidad de 20 m/s actúa una fuerza constante de 3000 N en el sentido del movimiento.
- Calcula la aceleración del móvil.
 - ¿Cuál es la velocidad del móvil 4 s después?
 - ¿Qué distancia recorre el móvil en ese tiempo?
 - Repite el problema anterior para el caso de que la fuerza se aplique en el sentido opuesto.

SOLUCIONES A ALGUNOS EJERCICIOS:

- 1.2.** a) constante elástica: $K = 200 \text{ N/m}$; Longitud de equilibrio: $x_0 = 0,2 \text{ m}$.
b) $\Delta x = 0,25 \text{ m}$; $x = 0,45 \text{ m}$ c) 30 N
- 1.3.** a) $K = 250 \text{ N/m}$; ley Hooke: $F = 250 (x - 0,1) \text{ N}$
b) $x = 0,108 \text{ m}$.
c) $12,5 \text{ N}$
- 1.4.** $x_0 = 0,15 \text{ m}$, $K = 20000 \text{ N/m}$; ley Hooke: $F = 20000 (x - 0,15) \text{ N}$
- 1.5.** $x = 0,75 \text{ m}$ $\Delta x = 0,67 \text{ m}$
- 3.6.** $F = 2,1 \text{ N}$; $1,05 \text{ N}$ con masa la mitad; $4,2 \text{ N}$ con aceleración doble; $2,1 \text{ N}$ con a doble y m mitad.
- 5.1.** a) $F_g = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N}$ (inapreciable) ; Las masas de los objetos son muy pequeñas, así como la constante G . Es necesaria la masa de un planeta o satélite para que las fuerzas sean apreciables.
- 5.2.** a) $F_{TL} = F_{LT} = 1,9 \cdot 10^{20} \text{ N}$ ($M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $M_L = 7 \cdot 10^{22} \text{ kg}$; $r = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$)
b) $F_{TS} = F_{ST} = 3,55 \cdot 10^{22} \text{ N}$ ($M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $M_S = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$; $r = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$)
- 5.3.** a) 686 N (tomando $g = 9,8 \text{ N/kg}$) b) $g = 9,799 \text{ N/kg}$; $F_g = 685,9 \text{ N}$ Apenas cambia.
c) $F_g = 628 \text{ N}$ (ahora $g = 8,97 \text{ N/kg}$). Sí se aprecia la disminución de la gravedad.
- 5.4.** a) 370 N b) $223,94 \text{ N}$ ($g = 2,24 \text{ N/kg}$)
- 5.5.** Debes usar la expresión $F_g = m \cdot g$, multiplicando tu masa por la gravedad superficial en cada planeta.
- 6.1.** $F_e = -0,54 \text{ N}$ (en el vacío) $F_e = -0,0067 \text{ N}$ (en el agua)
El signo negativo indica que la fuerza es atractiva.
- 6.2.** $F_e = -8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$
- P1.** a) $F_{gC} = 200 \text{ N}$, $F_{SC} = 200 \text{ N}$, $F_{aplic} = 150 \text{ N}$, $F_{RozC} = 50 \text{ N}$ $a = 5 \text{ m/s}^2$; $v = 10 \text{ m/s}$
b) Deberá aplicar una fuerza igual a la de rozamiento, para que la resultante sea cero. (1ª ley Newton).
c) Ahora desaparece la fuerza aplicada. Resultante $\Sigma F = -50 \text{ N}$, $a = -2,5 \text{ m/s}^2$, tarda 4 s en pararse y recorre 20 m hasta que se para.
- P2.** Resultante $\Sigma F = 50 \text{ N}$, $a = 5 \text{ m/s}^2$, alcanza una velocidad de 15 m/s
- P3.** a) $a = 0,5 \text{ m/s}^2$ $\Sigma F = 25 \text{ N}$
b) $F_{Roz} = -75 \text{ N}$ c) Se quedaría en reposo (1ª ley de Newton).
- P4.** a) $a = 0,5 \text{ m/s}^2$ $\Sigma F = 25 \text{ N}$
b) $F_{Roz} = -75 \text{ N}$ c) Se quedaría en reposo (1ª ley de Newton).
- P5.** Primer tramo: MRUA $a = 2 \text{ m/s}^2$; alcanza una $v = 10 \text{ m/s}$; recorre 25 m .
Segundo tramo: MRU $v = \text{cte} = 10 \text{ m/s}$; recorre 50 m
Tercer tramo: MRUA $a = -5 \text{ m/s}^2$; v disminuye hasta 0 m/s ; recorre 10 m .
En total recorre 85 m .
- P6.** a) MRUA $a = 3 \text{ m/s}^2$; b) alcanza una $v = 32 \text{ m/s}$; c) recorre 104 m .
d) MRUA $a = -3 \text{ m/s}^2$; alcanza una $v = 8 \text{ m/s}$; recorre 56 m .