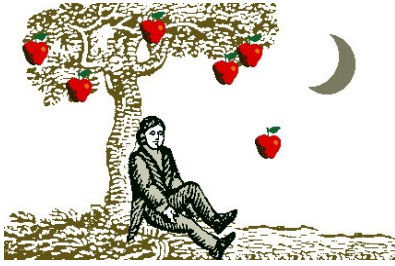


## TEMA 5.- DINÁMICA: FUERZAS Y MOVIMIENTOS.



"La Naturaleza y sus leyes estaban envueltas por tinieblas... pero dijo Dios: ¡sea Newton! y todo cobró luz y claridad".

Alexander Pope

### 1 INTRODUCCIÓN

La *cinemática* es la rama de la mecánica que estudia el movimiento desde una perspectiva descriptiva y geométrica, sin atender a las causas que lo producen. A diferencia de esta, la *dinámica* clásica estudia el movimiento partiendo de las causas, esto es, las fuerzas. Las fuerzas son los agentes que provocan modificaciones en el movimiento, ya sea variando la rapidez o la trayectoria.

Además de la cinemática y la dinámica, existe una tercera rama de la mecánica clásica llamada *estática*. La estática estudia situaciones de equilibrio, es decir configuraciones de los sistemas en las que las fuerzas actuantes no provoquen variaciones en el movimiento.

### 2 GALILEO Y EL NACIMIENTO DE LA FÍSICA CLÁSICA.

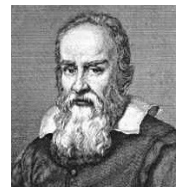
El movimiento es el fenómeno físico más cercano al hombre, así que no es de extrañar que su estudio se remonte a la antigüedad. Las primeras teorías sobre el movimiento se remontan a **Aristóteles**, filósofo griego. La "teoría" aristotélica del movimiento se fundamenta en dos pilares:

- \* Se diferencian dos tipos de movimientos: los *naturales*, que no requieren esfuerzo, y los *violentos* que requieren de la acción continuada de una fuerza.
- \* 2º) *El estado natural de los cuerpos es el reposo sobre la superficie terrestre*. O sea, que no hay movimiento si desaparece la fuerza motriz.

La teoría aristotélica distinguía como "*movimientos naturales*" aquellos que no requieren intervención de fuerzas, como ocurre en la caída de los objetos, ya que el cuerpo tiende hacia su lugar natural junto a la Tierra), o la detención del movimiento, ya que según Aristóteles la tendencia natural de los cuerpos es el reposo.

Por otra parte, Aristóteles denominaba "*movimientos violentos*" a aquellos que sí exigen la acción de fuerzas, porque en ellos se aparta a los objetos de su tendencia natural, como ocurre para que un cuerpo ascienda o para mantener la velocidad de un móvil.

La concepción aristotélica, que puede parecer bastante razonable, prevaleció casi incólume hasta mediados del siglo XVII, momento en el que aparece Galileo Galilei<sup>1</sup> para demostrar que las ideas de Aristóteles eran erróneas. Con Galileo aprendimos que nuestra percepción inmediata del mundo cotidiano, unida al tan valorado sentido común, no siempre nos conduce a conclusiones acertadas acerca de la realidad del mundo físico. Es necesario profundizar un poco más, experimentar para ahondar en los fenómenos y obtener conclusiones "acertadas".



Galileo Galilei  
1564-1642

**Galileo** en 1638 demostró que las ideas de Aristóteles eran incorrectas, utilizando, al contrario que Aristóteles, el método científico para analizar el movimiento de los cuerpos. Sus resultados le llevaron a desterrar las ideas aristotélicas que habían reinado durante 2000 años. Evidenció, por ejemplo, que el peso de un cuerpo no afecta a la velocidad de su caída y dedujo que el movimiento uniforme no precisa de la acción de fuerza alguna (primer principio).

<sup>1</sup> Según los filósofos griegos la realidad que subyace a cualquier fenómeno natural puede ser deducida únicamente mediante el uso de la razón pura. En contra de ésta forma de trabajar, según el método científico de trabajo, consagrado gracias a la figura de Galileo, toda hipótesis habrá de ser suficientemente contrastada mediante experimentos. Éstos nos demuestran en infinidad de ocasiones que la realidad de las cosas no siempre está de acuerdo con nuestras impresiones más inmediatas.



Isaac Newton  
(1642-1727)

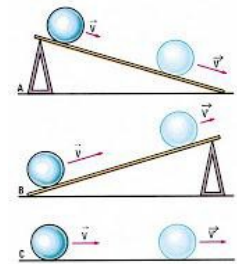
En sus experimentos con planos inclinados, pudo demostrar que todos los cuerpos caen con igual velocidad, con independencia de su masa, en contra de la teoría aristotélica que indicaba que los cuerpos más pesados caían más deprisa.

**Newton** recogió las grandes ideas de sus predecesores Galileo y Kepler y realizó una síntesis concretada en las **tres célebres leyes de la dinámica**, fundamento de la Mecánica y de toda la física clásica.

### 3 PRIMER PRINCIPIO: LEY DE INERCIA (Ley del equilibrio).

Los estudios de Galileo tuvieron una gran relevancia, y de hecho cimentaron las bases del método científico. Sin embargo, en relación al tema que nos ocupa, podemos destacar sus experimentos con planos inclinados. Simplificando mucho sus conclusiones podríamos exponerlas del siguiente modo:

*Un cuerpo que desciende por un plano inclinado lo hace con menor aceleración cuanto menor sea la inclinación. Por otra parte, un cuerpo que asciende por un plano inclinado frena, en menor medida si la inclinación es pequeña. Así, si los cuerpos que descienden aceleran y los que ascienden frenan, parece evidente que un cuerpo que se mueva horizontalmente (inclinación  $0^\circ$ ) debería mantener constante su velocidad.*



De estas experiencias y otros trabajos complementarios, Newton extrajo la primera ley de la dinámica, que podemos expresar así:

**"Todo cuerpo conserva su estado de reposo o movimiento rectilíneo y uniforme si la resultante de las fuerzas que actúan es cero"**

⚡ Esta es la razón por la que es tan peligroso para los astronautas salir de la nave sin un cordón, ya que el más leve impulso o impacto los haría separarse de la nave sin posibilidad de volver a ella (salvo que dispongan de algún sistema de propulsión)

Esto se denomina principio o ley de la inercia, aunque también se le conoce como ley del EQUILIBRIO. Simplemente nos indica que todo cuerpo tiende a mantener su estado de movimiento o reposo. Merece la pena subrayar algunas consideraciones al respecto:

- » Según el primer principio, para que un cuerpo se mueva no se requiere fuerza. Las fuerzas producen cambios en la velocidad, esto es modifican la rapidez o la dirección del movimiento. Por tanto: **Las fuerzas no mantienen el movimiento sino que lo modifican.**
- » Igualmente, **si actúan varias fuerzas pero se anulan entre sí**, el cuerpo seguirá como está: seguirá en reposo si estaba en reposo o moviéndose uniformemente en línea recta. Esto se llama, en Física, estar en **equilibrio**. El equilibrio se denomina estático en el primer caso y dinámico en el segundo.
- » **Únicamente las fuerzas externas pueden modificar el movimiento** de un cuerpo. Es decir, un cuerpo no puede impulsarse a sí mismo... por ejemplo, nosotros no podemos levantarnos a nosotros mismos tirándonos del pelo... volveremos sobre esto al estudiar el tercer principio.
- » Para finalizar hay que señalar que la famosa expresión coloquial: "la fuerza de la inercia" es incorrecta. Las fuerzas provocan variaciones en el movimiento, aceleraciones, y la palabra inercia significa justamente lo contrario. Un cuerpo que se mueve no "tiene fuerza" sino velocidad, velocidad que se mantendrá salvo que alguna fuerza lo impida... Recuerda: **¡La fuerza no se tiene, se ejerce o se recibe!**

En definitiva:

**"Si un cuerpo mantiene constante su velocidad será porque sobre él no actúan fuerzas o porque, de existir, estas se contrarrestan entre sí: situación de equilibrio. Si se observa movimiento acelerado (ya sea por cambiar la rapidez o por ser curvilíneo) podemos asegurar que actúa fuerza neta: situación de NO equilibrio".**

## 4 CONCEPTO DE FUERZA.

Estudiando el principio de inercia obtenemos un concepto de fuerza en cuanto a su posible efecto dinámico. No obstante nuestro concepto de fuerza suele estar asociado a la idea de esfuerzo muscular, como al golpear un balón. La aplicación de una fuerza sobre el balón produce un cambio de velocidad, es decir, una aceleración. En otras ocasiones, se realizan esfuerzos musculares que no producen movimientos perceptibles, por ejemplo al intentar levantar un cuerpo demasiado pesado, pero sí se producen deformaciones. Por ello:

**Se denomina fuerza a toda causa que puede modificar el estado de movimiento de un cuerpo o que pueda producir deformaciones.**

Por la forma de actuar, podemos clasificar las fuerzas como:

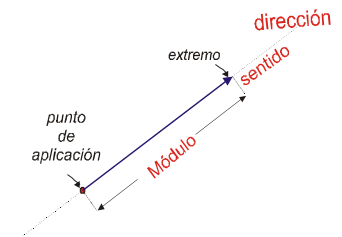
- » **fuerzas de contacto**: que actúan cuando existe contacto, como por ejemplo la fuerza que aplicamos sobre un balón o un cuerpo que sujetamos, o la que aplica una mesa para sostener un libro o el rozamiento.
- » y **fuerzas a distancia**: como las fuerzas gravitatorias o las que se establecen entre cargas o imanes. Son fuerzas que se manifiestan sin que se de un contacto material de los cuerpos, ¡actúan a distancia!

### 4.1. Carácter vectorial de las fuerzas.

Cuando nos preguntan “cuantos son dos más dos”, la mayoría responderíamos que son cuatro, pero eso es que porque solemos creer que todas las magnitudes físicas son esencialmente iguales. Pero recuerda que no es así. Existen dos tipos de magnitudes físicas: las **escalares** y las **vectoriales**, siendo estas últimas de una importancia capital en nuestra materia.

La fuerza, al igual que la velocidad o la aceleración es una magnitud vectorial. El efecto de una fuerza, como resulta evidente, depende de su valor y del modo en que se aplique, es decir, no es lo mismo aplicarla en un punto que en otro, ni darle una dirección que otra. Las fuerzas son magnitudes vectoriales, y se representan por segmentos orientados que tienen:

- un **módulo** indicativo de la intensidad o magnitud. Una fuerza más intensa se representa por un vector más largo.
- una **dirección** o línea de acción que viene dada por la recta que contiene el vector,
- y un **sentido**, indicado por la punta de la flecha, que va desde su punto de aplicación hasta el extremo.



Las magnitudes vectoriales suelen representarse escribiendo una flecha en la parte superior de la magnitud, por ejemplo:  $\vec{v}$  para velocidad,  $\vec{F}$  para fuerza o  $\vec{a}$  para aceleración.

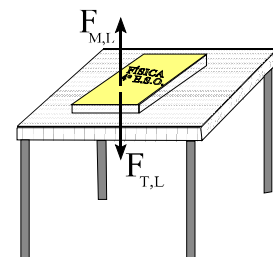
### 4.2. Criterios para dibujar fuerzas:

En el dibujo adjunto tienes el diagrama de las fuerzas que actúan sobre un libro, en reposo, sobre una mesa nombradas y dibujadas según los siguientes criterios.

- 1.- La longitud del vector ha de ser proporcional al módulo (intensidad) de la fuerza.

Eso significa que las fuerzas de mismo valor han de dibujarse mediante vectores igual de largos. Si una fuerza es doble, triple cuádruple... que otra habrá de medir el doble, triple o cuádruple ...

- 2.- El punto de aplicación se dibuja, siempre, **sobre el cuerpo** que actúa la fuerza y el



extremo va hacia el lugar donde actúa la fuerza (según la dirección y sentido que le corresponda)

3.- Se nombran con subíndices, el primero indica el cuerpo que actúa y el segundo sobre quién actúa la fuerza.

Se lee: **"Fuerza que ejerce..... sobre...."**

4.- Se suman, gráficamente, según la regla del paralelogramo o del polígono

5.- Si sobre un cuerpo actúa una fuerza neta se producirá un movimiento acelerado

### 4.3. Composición de Fuerzas

Si sobre un cuerpo actúan varias fuerzas se puede conocer el efecto neto de todas ellas sumándolas vectorialmente, con lo que obtenemos una RESULTANTE. Casos posibles:

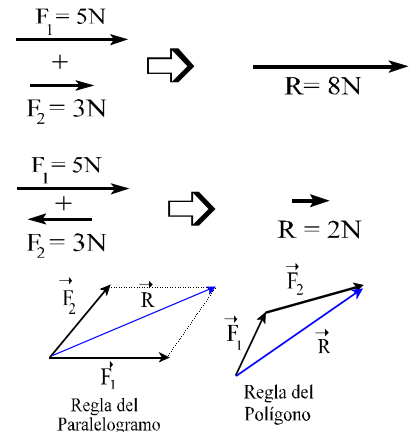
✓ Dos fuerzas de igual dirección y sentido:

$$R = F_1 + F_2$$

✓ Dos fuerzas de igual dirección y sentido contrario:

$$R = F_1 - F_2$$

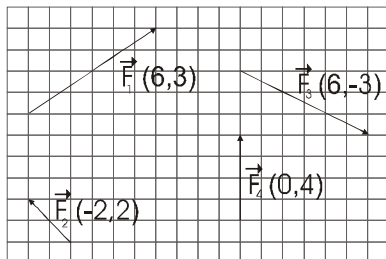
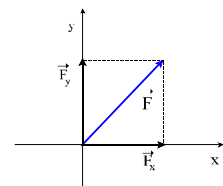
✓ Para dos fuerzas dadas cualesquiera. Puede obtenerse la suma geoméricamente aplicando la regla del paralelogramo o del polígono, como se ve en la figura adjunta.



### 4.4. Descomposición de fuerzas. Componentes.

En ocasiones es necesario proceder de modo contrario, y descomponer una fuerza en cuestión en otras dos fuerzas perpendiculares equivalentes.

Para conseguirlo basta con trazar un sistema de ejes perpendiculares en el punto de aplicación de la fuerza a descomponer. Por el extremo de la fuerza se trazan dos rectas paralelas a cada uno de los ejes. De este modo se obtienen dos componentes o coordenadas del vector inicial como se observa en el dibujo (componente "x" y componente "y":  $F_x$  y  $F_y$ ).



A continuación tienes un ejemplo en el que se expresan las componentes cartesianas de cuatro fuerzas, representadas en papel gráfico:

Si sobre un cuerpo actuasen, por ejemplo, simultáneamente las fuerzas  $\vec{F}_1$  y  $\vec{F}_2$ , el resultado final sería:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = (6,3) + (-2,2) = (4,5)$$

En las situaciones de problemas reales, no tenemos las fuerzas representadas tan lindamente sobre papel milimetrado, ni suelen tener coordenadas enteras. Para realizar el cálculo de las componentes es necesario aplicar razones trigonométricas, aunque cuando el ángulo con los ejes sea de  $45^\circ$  el cálculo será más sencillo ya que ambas componentes  $F_x$  y  $F_y$  son iguales, y podemos calcularlas aplicando el teorema de Pitágoras.



**Ejemplo 1:** Dos niños empujan, con direcciones perpendiculares a una caja. Las fuerzas son 20 y 40 N. Calcula el valor de la fuerza resultante.

Según el teorema de Pitágoras: **hipotenusa = (cateno 1)<sup>2</sup> + (cateto 2)<sup>2</sup>**

Podemos considerar un triángulo rectángulo en el que los catetos serían las fuerzas impresas por los niños y la hipotenusa la resultante. Así se cumplirá que:

$$R^2 = (20N)^2 + (40N)^2 \Rightarrow R = \sqrt{400 N^2 + 1600N^2} = 44,72 N$$

Quizás te parezca sorprendente que dos fuerzas de 20 y 40 N hayan sumado menos de 45N, pero es que los vectores funcionan así.

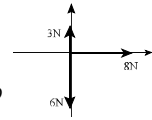


**Ejercicio 1.-** Sobre una caja actúan dos fuerzas horizontales de 20 y 30 N. Razona cuál es el valor máximo y el valor mínimo que puede tomar la fuerza resultante. ¿Cuánto valdrá la fuerza resultante si el ángulo que forman las fuerzas es  $90^\circ$ ?

**Ejercicio 2.-** Calcula la fuerza resultante para el sistema de la derecha.

**Ejercicio 3.-** Calcula las componentes de una fuerza de 10 N que forma un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal.

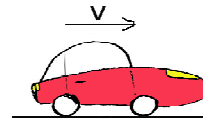
**Ejercicio 4.-** Obtén la resultante de las cuatro fuerzas de la página anterior, tanto analíticamente como utilizando la regla del polígono.



## 5 EL ROZAMIENTO

Podemos encontrar infinidad de situaciones en las que el principio de inercia “parece” no funcionar. Por ejemplo, si en un coche que viaje a 80 km/h el conductor deja de pisar el acelerador o lo pone en punto muerto... obviamente en pocos segundos quedará parado ¿Por qué se detiene el coche si el primer principio afirma que no es necesaria fuerza para mantener una velocidad?

La respuesta es sencilla. Tanto en este como en otros muchos casos es fácil reconocer que sí que existen fuerzas actuando en contra del movimiento del móvil: los **rozamientos**. De no existir ningún rozamiento, ni con el aire ni con la calzada, el coche no se detendría jamás, y mantendría los 80 km/h moviéndose en línea recta.



Por tanto, ahora podemos desmentir la visión aristotélica del movimiento: los objetos no se detienen porque “quieran” estar en reposo sino porque alguna fuerza (el rozamiento) actúa sobre ellos. En consecuencia, el estado natural de un cuerpo no es el reposo sino el que tiene (si está en reposo, será el reposo, pero si se mueve será el movimiento, eso sí, rectilíneo y uniforme).

El **rozamiento** puede ser de **deslizamiento**, como ocurre al desplazar una caja sobre el suelo, o de **rodadura**, como el de una rueda o una bola sobre el suelo. En este curso sólo afrontaremos rozamientos por deslizamiento, dejando para cursos superiores el de rodadura. Las leyes que rigen el rozamiento por deslizamiento fueron estudiadas por Leonardo Da Vinci y concretadas posteriormente, en el siglo XVII, por el físico francés Guillaume Amontons según el cual:

*“La fuerza de rozamiento que se opone al movimiento de un bloque que desliza sobre un plano, es proporcional a la fuerza normal que ejerce el plano sobre el bloque y no depende del área de contacto”.*

Además podemos señalar, en acuerdo total con nuestra experiencia cotidiana, que existen dos situaciones diferentes:

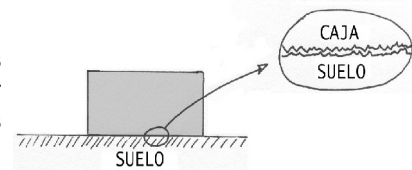
1º.- El rozamiento **estático** o adherente: es el que tiene un cuerpo en contacto con una superficie sin que se deslice. Por ejemplo una caja quieta sobre el suelo.

2º.- El rozamiento **dinámico** o cinético se presenta cuando un objeto desliza sobre una superficie... por ejemplo una caja que transportamos empujándola sobre el suelo o una rueda de un vehículo cuando derrapa.

El rozamiento estático puede llegar a ser el doble que el dinámico, de ahí que nos cueste más trabajo iniciar el movimiento de un cuerpo que mantenerlo en movimiento. Por último, nos queda una pregunta fundamental:

### ¿A qué se debe el rozamiento?

Cualquier superficie, incluso las consideradas pulidas, es extraordinariamente rugosa a escala microscópica. Por eso, al poner dos cuerpos en contacto, se produce un encajamiento entre dichas irregularidades que quedan empotradas (ver dibujo). De ahí que si los cuerpos están moviéndose, no llegan a empotrarse las irregularidades y el rozamiento sea menor.



Para disminuir el rozamiento hay dos procedimientos: pulir las superficies o utilizar lubricantes. El pulimento disminuye las rugosidades mientras que los lubricantes tapan los poros, evitando que encajen las superficies. No obstante, hay que apuntar que NO en todos los casos el rozamiento es

indeseable. ¿Cómo conseguirías salir del instituto si tus zapatos no rozasen con el suelo?



**Cuestión 1:** Si se lanza un objeto en el espacio exterior qué pasaría

R: Si lanzamos un objeto en el espacio exterior, es decir, lejos de todo planeta o estrella y en ausencia total de aire (vacío) el objeto se movería indefinidamente en línea recta con la velocidad con que lo arrojamos. Cuando se acercase a algún planeta, éste lo atraería y podría atraparlo o no, dependiendo de la velocidad y la distancia a la que pase del planeta.

**Cuestión 2:** ¿Por qué la Luna lleva millones de años girando alrededor de la Tierra si el estado natural de un cuerpo es el de mantener un movimiento rectilíneo uniforme?

R: La Luna está girando, y eso supone que su movimiento está variando ya que su velocidad cambia continuamente de dirección y para ello debe existir una fuerza. La fuerza que actúa es la atracción gravitatoria de la Tierra. Esa fuerza es perpendicular al movimiento de la Luna y por ello la rapidez con que se mueve la Luna no cambia pero sí su dirección.

**Cuestión 3:** De qué factores depende el rozamiento de un cuerpo.

R: Fundamentalmente de la naturaleza de las superficies y del peso del cuerpo. Es curioso saber que la superficie de contacto afecta mínimamente.

**Cuestión 4:** ¿Entonces un coche con neumáticos más anchos no "agarra" más?

R: Un coche con neumáticos más anchos tiene más estabilidad (dificultad de vuelco), ya que su base de apoyo es mayor, pero el agarre depende mucho más del buen estado de los neumáticos que de su anchura.

**Cuestión 5:** ¿Por qué al viajar en un coche que curva tendemos a irnos hacia el exterior de la curva si nadie nos empuja hacia allá?

R: Por inercia. Nuestro cuerpo, así como todo el coche y los objetos que transporta, tienden a seguir en la dirección rectilínea que llevaban antes de entrar en la curva.

El conductor actúa sobre el volante y esa fuerza, multiplicada por la dirección, actúa sobre las ruedas que, gracias a la adherencia con la carretera, generan una fuerza hacia el interior de la curva (fuerza centrípeta) que permiten curvar al vehículo. Como los viajeros estamos en contacto con el coche, "posaderas en asiento", la carrocería nos hace curvar y nuestra cabeza no sale por la ventanilla porque está pegada al cuerpo-espalda-trasero...

**RECUERDA:** el estado natural de un cuerpo es el MRU, esto es continuar una línea recta y velocidad uniforme. Todo lo que sea variar la velocidad, tanto en dirección como en sentido o módulo, requiere la acción de una fuerza que deberá ser mayor cuanto mayor sea la masa del objeto.



**Ejercicio 5.-** Es habitual oír en la retransmisión de un partido de fútbol que el campo está muy rápido porque lo han regado. También es común que el comentarista haga la observación de que la pelota "coge" mucha velocidad al botar. Analiza cada una de las dos afirmaciones desde un punto de vista dinámico a la luz de lo que ahora conoces.



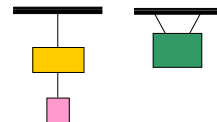
**Ejercicio 6.-** Dibuja las fuerzas que actúan sobre una bola que rueda sobre el suelo (sin rozamiento) a velocidad constante (MRU)

**Ejercicio 7.-** Realiza la actividad anterior (bola rodando a velocidad constante), pero considerando el rozamiento con el suelo.

**Ejercicio 8.-** Explica cómo razonaría un aristotélico el hecho de que un ciclista deba seguir pedaleando para moverse con velocidad constante, sin acelerar? ¿Cómo lo explica Galileo, a partir de la 1ª ley de la dinámica?

**Ejercicio 9.-** Tenemos tres cajas apiladas una sobre otra. La de abajo es más grande y pesada, y la de arriba es la más pequeña y ligera. Dibuja y nombra las fuerzas que actúan sobre la caja de enmedio.

**Ejercicio 10.-** Dibuja las fuerzas que actúan sobre las masas suspendidas en los dos casos mostrados.



## 6 TERCER PRINCIPIO: LEY DE ACCIÓN-REACCIÓN (Ley de la Interacción)

Como es fácil comprender, es imposible que un cuerpo toque a otro sin ser tocado a su vez. Por ejemplo, una bola de billar (blanca) que golpea a otra (negra) recibe a su vez un impacto, simultáneamente, que le produce un efecto como puede ser frenado y/o cambio de dirección.

Además, y aunque suele ser difícil de reconocer por los alumnos en los primeros años de estudio de física, un cuerpo por si mismo no puede ejercer una fuerza sin la existencia de un segundo cuerpo. Y al hacerlo, ese segundo cuerpo también ejerce una fuerza sobre el primero. **Podemos afirmar, considerando esto, que la fuerza no se tiene, la fuerza se ejerce.**

Piensa que si golpeas un objeto, por ejemplo un balón, el balón también te golpea a ti. Cuando Chuck Norris da un puñetazo al malo de la peli, también a él le duele el puño, es decir, podemos decir que simultáneamente el malo le da un "carazo" al puño de Chuck... claro ¡que no es lo mismo recibir el golpe en la mandíbula que en un puño consistente y duro!

Para caminar necesitamos la acción del suelo. Empujamos al suelo hacia atrás y, sin embargo, avanzamos hacia adelante ¿no es sorprendente? ... ¡piénsalo detenidamente!

Supón que, dotado de unos patines, empujas a una pared ¿hacia dónde sales despedido? ¿hacia atrás!... pero bueno, ¡tú has empujado hacia adelante y sales hacia atrás! ¿por qué ocurre esto?

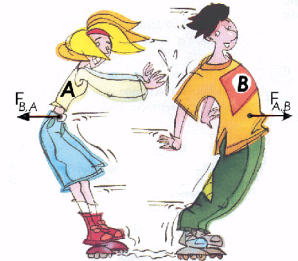
La respuesta a estos y otros muchos supuestos llevaron a Newton a formular su **tercer principio de la dinámica**, que podemos enunciar así:

**"Cuando un cuerpo ejerce una fuerza (acción) sobre otro, simultáneamente recibe una fuerza igual y opuesta denominada reacción"**

La situación queda ilustrada en el dibujo al margen y en la siguiente expresión:

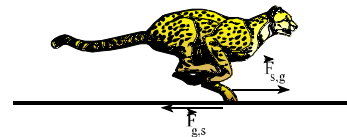
$$\vec{F}_{A,B} = -\vec{F}_{B,A}$$

La chica ejerce una fuerza (acción) sobre el chico, lo que supone que ella también recibe una fuerza de reacción del mismo valor y sentido contrario. Si la chica estaba en reposo la velocidad con que salen despedidos dependerá de la masa de ambos. Así, por ejemplo, si el chico tiene mayor masa la chica saldrá despedida hacia atrás con mayor velocidad que el chico hacia adelante ya que, como veremos a continuación, **el efecto que produce una fuerza es inversamente proporcional a la masa.**



Estas dos fuerzas que actúan inseparablemente se suelen denominar acción y reacción, ya que ninguna de ellas podría existir sin la presencia de la otra, ninguna es "la primera" y la otra "surge como consecuencia de ella".

Acción y reacción **actúan sobre la misma línea** y tienen el **mismo módulo, pero se ejercen en sentidos opuestos y sobre cuerpos distintos**. Esto explica que sea posible el movimiento de dos cuerpos que interactúan. Fíjate bien en el guepardo de la figura y observa cómo la fuerza que el guepardo aplica sobre el suelo ( $F_{g,s}$ ) es igual y de sentido opuesto a la fuerza que el suelo devuelve al guepardo. A él únicamente le afecta  $F_{s,g}$ , y por eso avanza.



Tomemos dos dinamómetros y enganchémoslos. Dos alumnos tomarán los extremos de los dinamómetros y alguno de ellos o los dos tirará(n) de su dinamómetro (realizamos la experiencia repetidas veces). ¿Qué se observa en cada una de las experiencias? ¿Qué conclusión sacamos?

## 7 SEGUNDO PRINCIPIO: LEY FUNDAMENTAL DE LA DINÁMICA.

Como hemos visto, la fuerza es el agente causante de las variaciones en cualquier movimiento. Dicho de otro modo, las fuerzas producen variaciones en la velocidad (bien por variar la rapidez, bien por producir giros), de modo que resulta obvio que TODA FUERZA PRODUCE UNA ACELERACIÓN.

Nos podemos preguntar ¿qué relación existe entre la fuerza aplicada y la aceleración que aparece?. Pues bien, es fácil admitir que ambas son directamente proporcionales. A mayor fuerza mayor aceleración. Pero ¿cuál es la constante de proporcionalidad entre ambas magnitudes? Es decir, cuál es el nexa que relaciona fuerza y aceleración... la respuesta es casi evidente: LA MASA.

La expresión que relaciona fuerza y efecto dinámico producido (aceleración) es posiblemente la ecuación más importante de toda la física. Esta expresión, matemática, nos la suministró Newton en su segundo principio, que dice:

**“la aceleración experimentada por un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa e inversamente proporcional a la masa del cuerpo”.**  
**Matemáticamente se expresa así:  $a = F/m$**

Aunque es más correcto así:  $\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$ <sup>2</sup>

El símbolo  $\sum \vec{F}$  significa que hemos de considerar la suma vectorial de todas las fuerzas actuantes. Obviamente, aunque actúen varias fuerzas sobre un cuerpo, este sólo adquirirá una aceleración y no varias. Por tanto, hemos de reducir todas las fuerzas a una fuerza neta o resultante.

☞ Según la ecuación, la unidad de fuerza en S.I. será el Kg•m/s<sup>2</sup>, también llamado **Newton (N)** en honor de Sir Isaac Newton.

**“Un Newton es la fuerza que hay que aplicar a 1 kg de masa para que adquiera una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup>”**

La unidad técnica de fuerza, por excelencia, es el *kilopondio* o kilogramo-fuerza. Equivale a la fuerza con que la Tierra atrae a un kilogramo de masa. De ese modo, un cuerpo de 30 kg de masa será atraído por la tierra con una fuerza de 30 Kp (30 kg-f).



**Ejemplo 2:** Un vehículo de 1200 kg de masa, acelera desde el reposo alcanzando los 100 km/h en 12 segundos. Calcula la fuerza, media, que ejerció su motor.

Primero cambiamos unidades:  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 27,8 \text{ m/s}$

Luego calculamos la aceleración media ejercida por el motor:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{27,8 \text{ m/s}}{12 \text{ s}} = 2,3 \text{ m/s}^2$$

Y aplicando la segunda ley de Newton, calculamos la fuerza:

$$F = m \cdot a = 1200 \text{ kg} \cdot 2,3 \text{ m/s}^2 = 2760 \text{ N}$$

*Observa que hemos calculado la fuerza necesaria para acelerar, pero en realidad no hemos considerado que el motor también debe vencer un rozamiento, por lo que la fuerza ejercida por el motor será, evidentemente, 2760 N + el rozamiento.*

<sup>2</sup> En esta ecuación hay cuatro hechos que rápidamente llaman la atención:

- 1º.- Esta ecuación recoge el efecto dinámico producido por las fuerzas, de modo que toda fuerza produce una aceleración.
- 2º.- Es una ecuación vectorial, de modo que la aceleración que experimenta el sistema tiene el mismo sentido y dirección que la fuerza actuante, por ser  $m$  un escalar.
- 3º.- La fuerza que hemos de considerar para calcular la aceleración del sistema es la fuerza neta o resultante que actúa sobre el sistema estudiado.
- 4º.- La aceleración que experimenta el sistema es inversamente proporcional a su masa, y por eso hablamos de masa inercial.



## 8 CASOS PARTICULARES DE FUERZAS

### 8.1. La fuerza peso.

Llamamos peso a la fuerza con que un cuerpo es atraído por gravedad, o sea a la fuerza con que la Tierra atrae hacia sí a los cuerpos que se encuentran en su radio de acción. Se estudiará con más detenimiento en el siguiente apartado. Por ahora diremos que la fuerza peso en la superficie de la Tierra puede calcularse a través de la expresión:

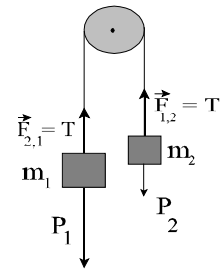
$$P = m \cdot g$$

siendo  $g$  el valor del campo gravitatorio generado por la Tierra en su superficie:  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ . Para los problemas aproximaremos el valor de  $g$  a  $10 \text{ m/s}^2$ .

No confundas el concepto de masa con el de peso. La masa la constituye la suma de las partículas que forman un cuerpo, y ésta es independiente del lugar en que se encuentre el cuerpo y se mide en Kilogramos (kg). El peso es la fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo (se mide en N). Al contrario que la masa, el peso sí depende del lugar en el que se encuentre el cuerpo. Así, un astronauta tiene igual masa en la Tierra que en la Luna (la suma de todas las partículas que constituyen su cuerpo), pero su peso es muy inferior en la Luna ya que esta lo atrae con menor fuerza por ser mucho menor que la Tierra.

### 8.2. Tensiones.

Las tensiones son fuerzas de acción-reacción que aparecen cuando tenemos dos cuerpos en contacto o unidos por algún sistema material como puede ser una cuerda. Observa el caso de la polea de la figura (también llamada máquina de Atwood). En éste caso la cuerda que une las dos masas interviene como transmisor de la interacción, y puesto que la masa "1" actúa sobre la "2" con una fuerza ( $F_{1,2}$ ) la masa "2" reacciona con una fuerza igual y de sentido contrario sobre la "1" ( $F_{2,1}$ ). Tanto  $F_{1,2}$  como  $F_{2,1}$  se transmiten a través de la cuerda (tensión= $T$ ) que vale lo mismo en ambos extremos.



### 8.3. La fuerza centrípeta.

Como estudiamos en el tema de cinemática, todo movimiento curvilíneo supone un cambio en la dirección de movimiento, y esos cambios los mide la componente normal de la aceleración. O sea, que en cualquier movimiento que transcurra con cambios de dirección existe una aceleración centrípeta (cuya dirección es normal a la trayectoria), y cuyo módulo viene dado por la expresión:

$$a_c = v^2/R = \omega^2 \cdot R$$

Resulta claro que la presencia de una aceleración centrípeta, sobre un cuerpo de masa  $m$ , implica la existencia de una fuerza, denominada también **fuerza centrípeta** (que será por tanto la fuerza que obliga a la masa a curvar), y que tiene por valor:

$$F_c = m \cdot a_c = m \cdot v^2/R$$

O también:

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

Así pues, la fuerza centrípeta es la que hace curvar a los móviles. Por ejemplo, en el caso de un cuerpo atado a una cuerda que describe círculos, la fuerza centrípeta la suministra la tensión de la cuerda que lo sujeta. En el caso de la Luna, que gira alrededor de la Tierra, la fuerza centrípeta la suministra la atracción gravitatoria ejercida por la Tierra. En el caso de un vehículo que toma una curva, la fuerza que le permite curvar es el rozamiento, y si la curva está peraltada es suministrada por el rozamiento más la tendencia a caer hacia el interior de la curva como consecuencia del peralte.

Seguramente no habías oído hablar hasta este curso de la fuerza centrípeta, pero sí recordarás la expresión “fuerza centrífuga”. Algunas expresiones de uso cotidiano nos hacen creer en la existencia de una misteriosa fuerza por la que “el coche se salió de la curva” o “la ropa expulsa el agua en la lavadora”. Sin embargo esa fuerza centrífuga no es real, es lo que los físicos llaman una fuerza ficticia. Es decir, el coche sale de la curva porque el rozamiento fue suficiente para hacerlo curvar y prosiguió en línea recta por INERCIA, y el agua de la ropa sale, igualmente, porque no está adherida a la ropa que gira en el tambor, por lo que escapa del movimiento circular al que está sometida, saliendo en línea recta.

#### 8.4. La fuerza elástica: Ley de Hooke

Como apuntábamos anteriormente, las fuerzas pueden producir efectos dinámicos (variaciones en el movimiento) o deformaciones. La deformación que experimenta un cuerpo sometido a una fuerza depende de su naturaleza. Así hablamos de cuerpos **plásticos**, que son aquellos que se deforman permanentemente, cuerpos **elásticos**, aquellos que recuperan su forma al cesar el esfuerzo o **rígidos** que no sufren deformaciones apreciables al someterlos a fuerzas, aunque en realidad todos las sufren aunque sean muy pequeñas.

Los cuerpos elásticos, que pasamos a estudiar por su interés técnico, dejan de serlo superado un determinado valor de fuerza a la que denominamos límite de elasticidad. A partir de ahí el cuerpo no recupera su forma primitiva y queda permanentemente deformado, comportándose plásticamente.

**La deformación sufrida por un cuerpo elástico es directamente proporcional al esfuerzo causante de la misma.** Esto es un hecho, que constituye una ley fundamental de la naturaleza descubierto, experimentalmente, por Robert Hooke. Se conoce como **ley de Hooke**, que expresada matemáticamente queda:

$$F = K \cdot \Delta L \quad 3$$

- Donde  $\Delta L$  es la magnitud de la deformación sufrida por el material y
- $K$  se denomina constante de elasticidad o constante de recuperación del material, y depende de las características del material. Su unidad en S.I. es el N/m.

Así pues, un muelle “fuerte” tendrá una  $K$  grande y un muelle “flojo” tendrá una  $K$  pequeña.

Por ejemplo, un muelle con una  $K = 100 \text{ N/m}$  significa que el muelle ejercerá una fuerza de 100 N por cada metro que lo alargemos... así,  $2 \text{ m} \Rightarrow 100 \text{ N}$ ;  $0,5 \text{ m} \Rightarrow 50 \text{ N}$ , etc.



**Ejercicio 11.-** Tenemos un muelle al que colgamos una masa de 3 kg y se alarga 25 cm. Calcula su constante de elasticidad.

**Ejercicio 12.-** Si colgamos una masa de 350 g del muelle del ejercicio anterior, qué cantidad se alargará.

**Ejercicio 13.-** De un muelle de 10 cm se cuelgan pesos de 1, 3, 5 y 7 N y el muelle se estira hasta 12, 16, 20 y 24 cm, respectivamente.

- Representa esos resultados en una gráfica y analiza el significado.
- Cuánto vale la constante elástica del muelle.
- Lee en la gráfica qué masa habrá que colgar para que el muelle se alargue hasta 30 cm.

**Ejercicio 14-** Un vehículo de 1200 kg entra en una curva a 70 km/h y mantiene la velocidad. Suponiendo que el trazado de la curva tiene un radio de 50 m, calcula:

- La fuerza necesaria para que el coche curve (fuerza centrípeta).
- Suponiendo que el rozamiento máximo de los neumáticos con la carretera sea de 7000 N, ¿qué ocurrirá?

<sup>3</sup> La ecuación apuntada no es muy correcta ya que no recoge el hecho de que la fuerza elástica es de sentido contrario a la deformación sufrida por el material. Es decir, si tiramos de un muelle horizontal hacia la derecha, por ejemplo, el muelle ejerce una fuerza recuperadora hacia la izquierda. Se opone a la deformación que le hemos producido. Este hecho si lo respeta la expresión vectorial de la ley de Hooke, que queda así:

$$\vec{F} = -K \cdot \Delta \vec{x}$$

## 9 LA LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Según Newton, TODO ejerce fuerza sobre TODO LO DEMÁS. Mientras lees esto, la Tierra está tirando de ti hacia abajo, atrayéndote hacia su centro... de ahí que no estés flotando y puedes notar cómo tus nalgas se deforman contra el asiento. Pero además de la Tierra, también tiran de ti las paredes, el techo, el edificio de al lado, una persona que está viendo la TV en Granada, Júpiter, el Sol y la estrella  $\alpha$ -Centaurio... y tú también atraes gravitatoriamente a todos esos objetos y a la propia Tierra.

A nivel práctico, podemos olvidarnos de la atracción gravitatoria ejercida por todos los objetos mencionados con excepción de la de la Tierra. Las innumerables fuerzas que podemos subrayar suman pequeñísimas cantidades, que además suelen contrarrestarse entre sí, pero la atracción gravitatoria de la Tierra es tremendamente superior a las demás y no hay otro objeto en dirección opuesta que la contrarreste.

No entraremos en profundidades en este curso, pero si vamos a emplear la ley de gravitación de Newton para realizar algunos cálculos interesantes. Newton descubrió que los objetos se atraen entre sí, gravitatoriamente, por una fuerza que es:

- directamente proporcional a la masa de ambos cuerpos e
- inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

La expresión que Newton encontró para la atracción gravitatoria es:

Donde:

- \*  $m_1$  y  $m_2$  son las masas de los objetos que interaccionan, y se miden en kg.
- \*  $d$  es la distancia entre los centros de gravedad de ambos cuerpos, y se expresa en metros.
- \*  $G$  es una constante, denominada constante de gravitación universal. Su valor es  $6,67 \cdot 10^{-11}$  N m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>.

Newton fue incapaz de realizar una determinación del valor de G. Lo hizo Henry Cavendish, un genial físico británico. Al parecer **Cavendish** responde a un caso excepcional de genio autista. La determinación del valor de G, realizada por Cavendish, permitió calcular la masa de la Tierra. Por eso solemos referirnos a él como el hombre que “pesó” la Tierra<sup>4</sup>.



**Ejercicio 15.-** Calcula la fuerza con que se atraen dos personas, de masas 50 y 100 kg, si están hablando a una distancia de 1m. Recoge dichas fuerzas en un esquema.

**Ejercicio 16.-** Repite el cálculo para calcular la fuerza con que se atraen un petrolero de 20 millones de toneladas y una lancha de 2000 kg separadas de 20 metros de distancia.

**Ejercicio 17.-** Explica por qué en el párrafo en el que se habla de Cavendish se ha encerrado la palabra *pesó* entre comillas.

**Ejercicio 18.-** Sabiendo que el peso de un cuerpo podemos ahora calcularlo con  $P=m \cdot g$  (donde  $g=9,8$  m/s<sup>2</sup>), y también podemos hacerlo con la ley de gravitación universal, combina las expresiones para determinar la masa de la Tierra. Datos:  $G=6,67 \cdot 10^{-11}$  N·m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>;  $R_T=6370$  km

<sup>4</sup> Observa que si queremos calcular la fuerza con que la Tierra atrae a algo en su superficie, ahora también podemos utilizar la ley de gravitación universal de Newton, además de la más rápida y práctica:  $P=m \cdot g$

Para resolver el caso de la masa de la Tierra, resuelto por Cavendish al determinar el valor de G, precisamente podemos conseguir esto igualando ambas ecuaciones, sabido que  $g=9,8$  m/s<sup>2</sup>

## FRASES DE CIENTÍFICOS CÉLEBRES

**Galileo Galilei (1564-1642)** Astrónomo y físico italiano:

- \* Nunca me he encontrado con alguien tan ignorante de quien no pudiese aprender algo*
- \* En cuestiones de ciencia, la autoridad de mil no vale lo que el humilde razonamiento de un solo individuo.*
- \* Las matemáticas son el alfabeto con el cual Dios ha escrito el Universo*

**Johannes Kepler (1571-1630)** Astrónomo alemán:

*¿Por qué las cosas son como son y no de otra manera?*

**Blaise Pascal (1623-1661)** Físico y matemático francés:

*He redactado esta carta más extensa de lo usual porque no he tenido tiempo para escribirla más breve.*

**Isaac Newton (1642-1727).** Físico y matemático Británico

*Si he conseguido ver más lejos que los demás, fue porque me aupé sobre hombros de gigantes.*

**William Thomson Kelvin (1824-1907)** Matemático y físico escocés:

*Cuando puedes medir aquello de lo que hablas, y expresarlo con números, sabes algo acerca de ello; pero cuando no lo puedes medir, cuando no lo puedes expresar con números, tu conocimiento es pobre e insatisfactorio.*

**Thomas Alva Edison(1847-1931)** Inventor estadounidense

*El genio es un uno por ciento de inspiración, y un noventa y nueve por ciento de transpiración.*

**Niels Henrik David Bohr (1885-1962)** Físico danés

*Su teoría es descabellada, pero no lo suficiente como para ser correcta. [A un joven físico]*

**Albert Einstein (1879-1955)** Físico Alemán-estadounidense.

- \* No entiendes realmente algo si no eres capaz de explicárselo a tu abuela.*
- \* Algo he aprendido en mi larga vida: que toda nuestra ciencia, contrastada con la realidad, es primitiva y pueril; y, sin embargo, es lo más valioso que tenemos.*
- \* La Ciencia es una tentativa en el sentido de lograr que la caótica diversidad de nuestras experiencias sensoriales corresponda a un sistema de pensamiento lógicamente ordenado.*
- \* ¿Por qué esta magnífica tecnología científica, que ahorra trabajo y nos hace la vida mas fácil, nos aporta tan poca felicidad? La repuesta es simple: porque aún no hemos aprendido a usarla con tino.*
- \* Hay dos cosas infinitas: el Universo y la estupidez humana. Y del Universo no estoy seguro.*
- \* El que no posee el don de maravillarse ni de entusiasmarse más le valdría estar muerto, porque sus ojos están cerrados.*
- \* Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo.*

**Stephen William Hawking(1942- )** Físico inglés

*Dios no solo juega los dados sino que a veces los tira donde no se pueden ver.*

**Isaac Asimov(1920-1992)** Bioquímico y escritor científico ruso- estadounidense

*La frase más excitante que se puede oír en ciencia, la que anuncia nuevos descubrimientos, no es "¡Eureka!" sino "...es extraño ...".*

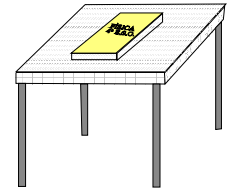
**Glenn Theodore Seaborg (1912-1999)** Físico estadounidense

*La educación científica de los jóvenes es al menos tan importante, quizá incluso más, que la propia investigación.*

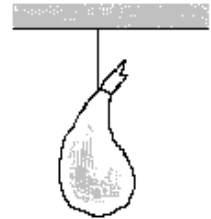
# PROBLEMAS DE DINÁMICA

## PRIMER PRINCIPIO

- 1.- Dibuja las fuerzas que actúan sobre el libro que se encuentra sobre la mesa.
- 2.- Realiza otro dibujo con las fuerzas que actúan sobre la mesa.



- 3.- Dibuja las fuerzas que actúan sobre la pelota en los instantes que representa el dibujo, desde que se golpea la pelota hasta que ésta se detiene.



- 4.- Dibuja las fuerzas que actúan sobre una cuerda que cuelga del techo. ¿Y si de la

cuerda, a su vez, pende un jamón?

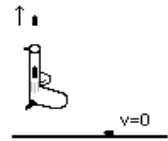
- 5.- Un paracaidista está cayendo en la atmósfera sometido a dos fuerzas verticales: su peso hacia abajo y la resistencia del aire hacia arriba. Al abrir el paracaídas dichas fuerzas se equilibran. Justifica razonadamente cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:

- a) El paracaidista quedará parado en el aire.
- b) El paracaidista seguirá cayendo con menor velocidad.
- c) El paracaidista seguirá cayendo con la velocidad (constante) que tenga en el momento de abrirse el paracaídas.
- d) El paracaidista seguirá cayendo con una aceleración de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

•  $v=0$

•  $\downarrow v$

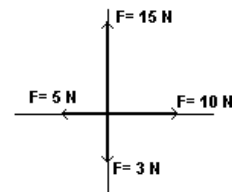
- 6.- Dibuja las fuerzas que actúan sobre la bala desde el momento del disparo hasta que la bala se encuentra sobre el suelo.



## COMPOSICIÓN DE FUERZAS

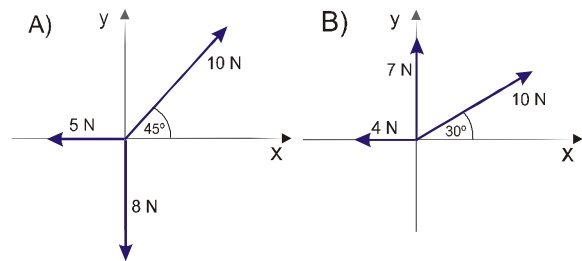
- 7.- Dibuja dos fuerzas concurrentes de 9 y 12 N, respectivamente, que formen un ángulo de  $90^\circ$ . Construye gráficamente la resultante. Calcula su módulo aplicando el teorema de Pitágoras (Res: 15N)

- 8.- Calcula la resultante del sistema de fuerzas de la figura. Dibuja una fuerza que equilibre a las anteriores. Utilizando tus fundamentos de trigonometría, calcula el ángulo que forma la resultante con el eje x.

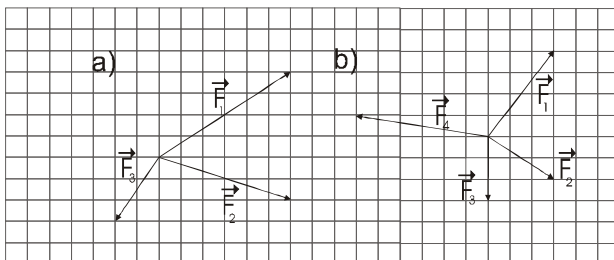


- 9.- Dos caballos tiran de una barca a lo largo de un canal mediante sendas cuerdas que forman un ángulo de  $90^\circ$ . Los módulos de las fuerzas son, respectivamente, 1000 N y 900 N. Calcula el módulo de la resultante.

- 10.- Calcula la fuerza resultante en los siguientes sistemas de fuerzas:



- 11.- En la imagen adjunta se presentan dos grupos de fuerzas. Indica las coordenadas de cada una de ellas y obtén la resultante gráfica y analíticamente. (Consejo: para obtener el resultado gráfico lo mejor es utilizar la regla del polígono)



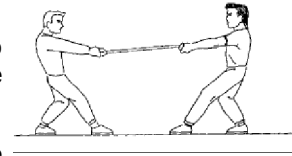
- 12.- Una fuerza de 20 N forma un ángulo de  $30^\circ$  con la horizontal. Calcula sus componentes vertical y horizontal. Escribe la fuerza como vector.

### TERCER PRINCIPIO (La fuerza como interacción)

13.- Dibuja las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo en las siguientes interacciones (recuerda que la longitud de los vectores debe ser proporcional a su magnitud, siendo iguales para los pares de fuerzas).

- Un libro sobre la mano
- Las manos de un alumno empujando la pared sin conseguir derribarla.
- El balón lanzado por un niño rompiendo el cristal de una ventana.

14.- Dibuja las fuerzas que actúan sobre dos niños que tiran de una cuerda intentando arrastrar uno al otro, pero sin que ninguno se mueva. Razona qué jugador crees que tendrá ventaja en este juego.



15.- Aplicando la 3ª ley de Newton, explica qué le ocurrirá a un patinador en reposo que dispara un fusil.

16.- Dibuja las fuerzas que actúan sobre una persona que camina. Identifica qué fuerza es la que lo impulsa hacia delante y saca alguna conclusión. (Consejo: es importante para conseguir resolver la actividad centrarse en las interacciones que se dan entre los zapatos y el suelo).

17.- Explica y fundamenta físicamente cómo consigue avanzar un cohete espacial o un avión a reacción.

18.- Explica cómo es posible que un caballo haga moverse a un carro si ocurre que al tirar el caballo con una fuerza (hacia delante) el carro tirará hacia atrás exactamente con la misma fuerza (reacción). ¿Falla el tercer principio de la dinámica? Explícalo y realiza un dibujo de fuerzas que aclare la situación.

### SEGUNDO PRINCIPIO (Ley fundamental de la dinámica)

19.- Utiliza la segunda ley de Newton para determinar (si es posible razónalo evitando calcular):

- La fuerza a aplicar para que una masa de 5 kg se desplace a 20 m/s, con un rozamiento de 10 N.
- La fuerza a aplicar para que una masa de 0,5 kg acelere a 2 m/s<sup>2</sup> si hay un rozamiento de 5 N.
- La masa que puede moverse con una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup>, aplicando una fuerza de 5 N.
- La masa que puede moverse con una aceleración de 1 m/s<sup>2</sup>, aplicando una fuerza de 5N, siendo el rozamiento de 2 N.

20.- Calcula la fuerza que ha de ejercer el motor de un coche de 2000 kg de masa para alcanzar los 100 km/h en 10 segundos partiendo del reposo. El rozamiento con la carretera vale 1500 N.

21.- Nos dicen que al aplicar a un cuerpo fuerzas de 10, 25, 40 y 60 N, las aceleraciones que han producido son de 24, 60, 80 y 144 m/s<sup>2</sup> respectivamente. Una de esas aceleraciones está equivocada, ¿Cuál es? Realiza los cálculos convenientes y explícalo.

22.- Al aplicar a un cuerpo en reposo una fuerza constante de 100 N adquiere, en 10 segundos, una velocidad de 20 m/s. ¿Cuál es su masa?

23.- Un coche que se mueve a 72 Km/h frena deteniéndose en 100 m. Sabiendo que la masa del coche es de 1100 Kg, calcula:

- La fuerza que ejercen los frenos.
- el tiempo y distancia de frenado.

24.- Realiza un diagrama de fuerzas y calcula la aceleración con que se mueven las cajas, de 10 Kg de masa, suponiendo rozamientos de 5 N.

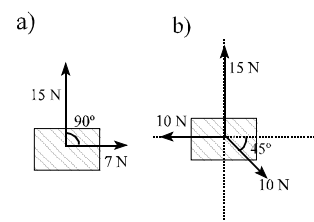
25.- Dos niños tiran de un coche de 30 kg, que ha quedado atascado en el barro, con cuerdas formando un ángulo de 90°. Si el rozamiento del coche vale 45 N, y los niños tiran con 30 N cada uno: realiza un diagrama que recoja las fuerzas actuantes y determina si conseguirán sacar el cochecito del barro.

26.- Si aplicamos 5 N a un cuerpo de 5 Kg de masa observamos que la aceleración alcanzada es de 0,75 m/s<sup>2</sup> (y no de 1 m/s<sup>2</sup>). ¿Se está cumpliendo la segunda ley de Newton? ¿Por qué? ¿Cuánto vale la fuerza de rozamiento cinético?

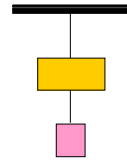
27.- Un automóvil de 1 tonelada marcha a 72 Km/h en llano, desconecta el motor y queda parado en 800 metros. ¿Cuánto vale el rozamiento? ¿Cuánto tardó en detenerse?

28.- Un coche que se mueve a 25 Km/h, acelera por acción de una fuerza de 2500 N ejercida por su motor. Si el rozamiento es de 900 N y el coche pesa 8500 N ¿cuál será su velocidad 10 segundos después?

29.- Empujamos un objeto de 5 kg con 2N de fuerza y no se mueve. Después con 3 N y sigue sin moverse. Al empujar con 4 N, adquiere una velocidad de 8 km/h en 10 s. Calcula el rozamiento.

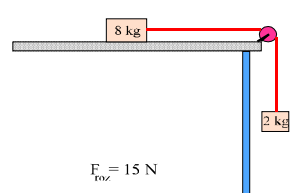
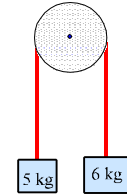


- 30.- a) Dibuja y nombra todas las fuerzas que actúan sobre la masa de arriba en el sistema indicado en el dibujo.  
 b) Suponiendo que la masa de arriba es de 10 kg y la de abajo de 5 kg, razona cuánto valdrán las tensiones de las dos cuerdas



31.- Si el valor de la fuerza del motor de un camión es 0,1 veces el valor de su peso, ¿cuánto tiempo tardará en alcanzar los 36 km/h, partiendo del reposo? Dato:  $g = 10 \text{ m/s}^2$

32.- Una polea es una máquina simple que cambia la dirección de las fuerzas que se aplican, de manera que existen dos direcciones posibles de movimiento, derecha o izquierda. Suponiendo que no presenta rozamiento y que la masa de la cuerda es despreciable, calcula la aceleración con que se moverá el sistema de masas conectadas en la polea y la tensión del cable.

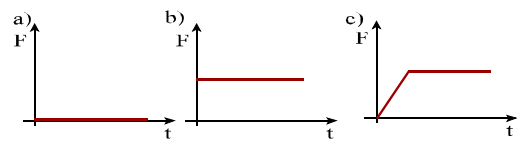


33.- Dibuja todas las fuerzas actuantes en el sistema de la figura. Calcula el valor de la fuerza resultante y la aceleración con que se movería el sistema sabiendo que el rozamiento de la caja de 8 kg con la mesa vale 15 N. ¿Qué tensión soporta el cable?

34.- Un coche de 850 kg viaja a 126 km/h. ¿Qué fuerza deben ejercer los frenos para conseguir detenerlo en 7 s? ¿Cuál es la distancia de frenado?

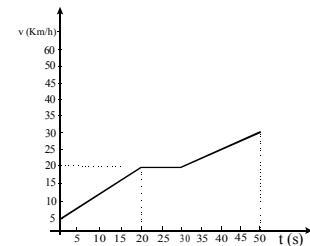
35.- Razona qué efecto producirán sobre el movimiento

de un cuerpo las fuerzas representadas en las gráficas. En todos los casos la fuerza tiene la misma dirección y sentido del movimiento.



36.- Un chico viaja en una bicicleta según la siguiente gráfica v-t. La masa total chico-bicicleta es de 100 kg

- a) Describe el movimiento de la bicicleta, indicando velocidades, duraciones y aceleración en cada tramo.  
 b) Si la fuerza de rozamiento vale 100 N, calcula qué fuerza debe ejercer el chico en cada tramo.  
 c) Calcula los metros que recorre durante los 20 primeros segundos.



37.- Un muelle de 12 cm se estira hasta los 16 cm cuando le colgamos una masa de 500 g. Calcula la constante de elasticidad y su longitud si colgamos 1,2 kg.

38.- En el parque de las Ciencias de Granada se puede utilizar una báscula que nos indica nuestro peso en varios planetas a la vez. ¿Cuánto pesará una persona de 70 kg en la Luna (cuya gravedad es 6 veces menor que la terrestre) y en Júpiter (con una gravedad once veces mayor que la terrestre).

39.- Dejamos caer dos bolas del mismo tamaño, una de papel (15,0 g) y otra de hierro (150 g). Aunque una es más lisa y otra un poco más rugosa, supongamos que ambas ofrecen el mismo rozamiento, constante, al aire de 0,010N. Calcula la aceleración con que caerá cada bola y el tiempo que tardarían en caer desde 1 metro de altura. Resuelve el problema utilizando una  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

40.- Un chico tira de una caja de 22 kg, inicialmente en reposo, con una fuerza de 25 N mediante una cuerda que forma un ángulo con la horizontal de  $30^\circ$ . Si el rozamiento vale 15 N ¿qué velocidad adquiere la caja en 20 s?

41.- En una carretera existe una curva con 75 m de radio. Suponiendo que el “agarre” con la carretera para un vehículo medio es 0,2 veces su peso:

- a) Realiza los cálculos necesarios para determinar que velocidad máxima habría que establecer para dicha curva (40, 50, 60...)  
 b) Razona cómo modificaría la situación anterior, con respecto a la velocidad máxima, el que la curva tuviese el un radio cuatro veces mayor.

42. Calcula la aceleración con la que cae un cuerpo de 10 kg por un plano inclinado de  $45^\circ$ :

- a) si no existe fuerza de rozamiento.  
 b) Suponiendo un rozamiento de 10 N.

## GRAVITACIÓN

43.- Calcula el peso de un chico de 70 kg de dos modos distintos: mediante la expresión de la fuerza peso y utilizando la ley de gravitación universal sabiendo que la masa de la Tierra es de  $6 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$  y su radio 6400 Km.

44.- La Luna se encuentra a una distancia de 385.000 km. Sabiendo que el período de rotación alrededor de la Tierra es de 27 días:

- a) Calcula la velocidad angular y lineal de rotación lunar.

- b) Dibuja, nombra y calcula las fuerzas con que interaccionan Tierra y Luna.  
 c) Calcula la fuerza centrípeta sobre la Luna y comenta el resultado obtenido.  
 d) Explica por qué la Luna no cae hacia la Tierra.

Datos:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ ;  $M_T = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ ;  $M_L = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$

45.- La Tierra atrae a una manzana con una fuerza de 2 N. ¿Cuál es la fuerza con que la manzana atrae a la Tierra? Dibújalo. Bajo la acción de la fuerza anterior, al dejar la manzana en libertad sabemos que ésta se pone en movimiento con una aceleración de  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Pero ¿Qué aceleración experimentará la Tierra?

46.- Un cuerpo A, pesa 500 N en la Tierra ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ) y otro B, pesa 100 N en la luna (donde  $g = 1,63 \text{ m/s}^2$ ). ¿Cuál de los dos posee mayor masa?

AUTOEVALUACIÓN:

Al final del tema deberías ser capaz de dar una respuesta razonada, a cuestiones como:

1. Si los cuerpos con mayor masa pesan más... cómo es posible que, en ausencia de rozamientos, todos los cuerpos caigan con la misma aceleración constante de  $9,8 \text{ m/s}^2$
2. Si es cierto que la Tierra atrae a la Luna con la misma fuerza con que la Luna atrae a la Tierra, por qué gira la Luna alrededor de la Tierra y no es al contrario.
3. Si la Tierra atrae a la Luna con una fuerza tan "bestial" (cálculo del ejercicio 44) ¿por qué no cae hacia la Tierra?
4. Si una bola que rueda impacta con otra de menor masa, por qué continúan las dos hacia delante si se supone que la bola que rodaba ha recibido una fuerza en sentido contrario al movimiento. ¿Por qué la bolita pequeña sale disparada con tanta velocidad?
5. ¿Por qué en física se define la masa como "la medida de la inercia de un cuerpo"?
6. ¿Sería posible que los tripulantes de un velero lo hiciesen avanzar, en un día sin viento, haciendo llegar a la vela el aire procedente de varios fuelles?

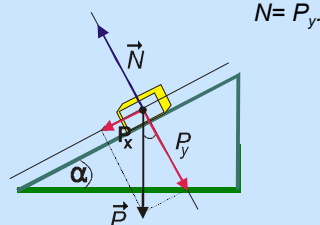
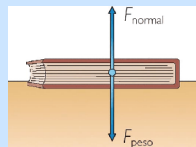
## AMPLIACIÓN

### LA FUERZA NORMAL

La fuerza normal, o simplemente la normal, es la fuerza que ejerce una superficie sobre un cuerpo apoyado sobre la misma. Es de la misma magnitud a la que ejerce el cuerpo sobre la superficie y es perpendicular a la superficie (en matemáticas normal significa perpendicular).

El valor de la fuerza depende de las condiciones dinámicas del caso. Por ejemplo, en el caso de una caja sobre el suelo la normal equivale al peso de la caja (obviamente  $N=P$ , ya que de lo contrario la caja caería o saltaría).

Sin embargo, en el caso de un plano inclinado, la Normal tiene un valor inferior al peso del cuerpo. En ese caso la normal equivale a la componente vertical del peso:



### LA FUERZA DE ROZAMIENTO

Un estudio detallado de la fuerza de rozamiento pone de manifiesto que dicha fuerza:

- ✓ depende de la naturaleza de las superficies (material del que se trate)
- ✓ es directamente proporcional a la normal (en caso de un cuerpo sobre una superficie horizontal, la normal equivale al peso del cuerpo)
- ✓ Es independiente del área de contacto y de la velocidad con que se deslice el cuerpo.
- ✓ Es una fuerza que siempre se opone al movimiento.

Matemáticamente, esos factores indicados pueden resumirse en la expresión:

$$F_{\text{roz}} = \mu \cdot N \quad (\text{donde } \mu \text{ es el coeficiente de rozamiento que es una característica que depende de los materiales del cuerpo y la superficie. Su valor está comprendido entre 0 y 1})$$

- 47.- a) Dibuja las fuerzas que actúan sobre un cuerpo que se encuentra sobre un plano inclinado  $30^\circ$ , suponiendo que el cuerpo no desciende.  
 b) Suponiendo que el rozamiento máximo del cuerpo es de 20 N, y que la caja tiene una masa de 10 kg, ¿con qué aceleración desciende por el plano?

48.- Se define como "coeficiente de rozamiento" (representado por la letra griega  $\mu$ ) al cociente entre la fuerza de rozamiento y la normal (fuerza que el suelo ejerce sobre el cuerpo para sostenerlo). Calcula los coeficientes de rozamiento de los móviles de los ejercicios 27, 29 y 30.