

# Instituto Politécnico

Universidad Nacional de Rosario Universidad Nacional de

## Fuerza y Movimiento

3<sup>o</sup> Año

### Física III

Masterización: RECURSOS PEDAGÓGICOS

Cód. 7302-26

Prof. Lilliana Grigioni  
Prof. Marcela Palmegiani  
Prof. Adriana Schafir



Dpto. de Física





## CAPITULO 2

### FUERZA Y MOVIMIENTO

Hasta ahora se ha estudiado la cinemática de la partícula para movimientos rectilíneos con aceleración constante, sin atender a las causas de los mismos. La experiencia cotidiana indica que un cuerpo no modifica su movimiento a menos que se realicen ciertas acciones sobre éste, ¿qué motiva este cambio en el movimiento de los cuerpos?, ¿qué acciones deben realizarse para lograr dichas modificaciones? Responder a estas preguntas nos lleva a plantear el concepto de fuerza. Ingresamos así al estudio de la Dinámica.

Al hablar de fuerza pensamos en el esfuerzo muscular que significan alzar una valija o cambiar de lugar un mueble. También asociamos este concepto con empujar a un compañero, tirar de una soga o golpear una bolsa de boxeo.

El concepto de fuerza surge de reconocer su existencia a partir de los efectos provocados en los cuerpos que experimentan cambios en su estado de movimiento o en su forma. No consideraremos las deformaciones, estiramiento, acortamiento o aplastamiento, producidos en los cuerpos por acciones de las fuerzas y nos ocuparemos de estudiar la relación existente entre las fuerzas ejercidas sobre un objeto y la aceleración que adquiere.

El movimiento de un cuerpo resulta de las interacciones con otros cuerpos de su medio ambiente: al patear una pelota, interactúan el pie y la pelota, se modifica su velocidad, la pelota se mueve por el aire con una trayectoria curva, que se debe a su interacción con la Tierra y al ser atrapada por otro jugador, puede adquirir una velocidad distinta a la que traía o bien ser detenida.



# Capítulo II: Fuerza y movimiento

## Materia: Física III

En cada uno de los ejemplos recién planteados con la pelota, distintas fuerzas aplicadas a ésta introdujeron cambios en su velocidad. ¿Cómo distinguir una fuerza de otra?, ¿cómo describir a partir de conocer las fuerzas que actúan sobre un cuerpo el tipo de movimiento que adquiere?, ¿cómo se vinculan los cambios de velocidad con las fuerzas aplicadas?

### Fuerzas

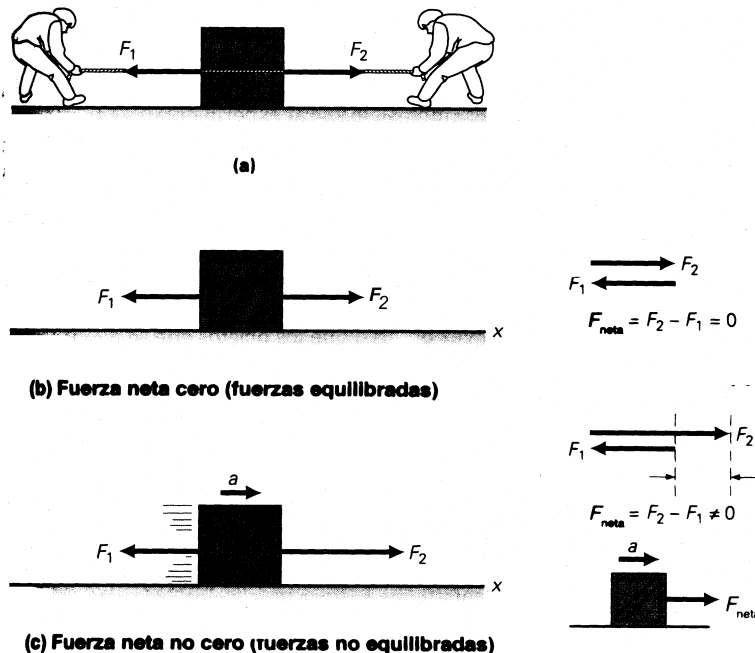
Comencemos por decir que la fuerza es una magnitud vectorial por lo tanto posee dirección, sentido e intensidad (cantidad de fuerza). La cantidad de fuerza está representada por el módulo del vector a través de una escala.

La unidad de fuerza en el SIMELA es el newton:  $[\vec{F}] = \text{N}$

Generalmente las modificaciones en el movimiento de un objeto resultan del efecto combinado de varias fuerzas. Este conjunto de fuerzas puede ser reemplazado por una única fuerza que produzca el mismo efecto que dicho conjunto.

Se denomina **resultante o fuerza neta** a la fuerza equivalente al conjunto de fuerzas que están aplicadas a un cuerpo. La calcularemos sumando vectorialmente todas las fuerzas que actúan sobre el mismo. Representaremos a la resultante:  $\Sigma \vec{F}$

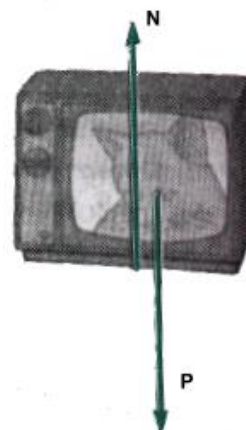
La fuerza neta puede ser nula, en tal caso diremos que las fuerzas actuantes están equilibradas.





Dadas las siguientes situaciones a modo de ejemplo, analicemos: a) qué fuerzas actúan sobre los objetos, b) cuál es la resultante de dichas fuerzas y c) qué tipo de movimientos adquieren éstos:

1. Observamos un televisor apoyado sobre una mesa, se halla en reposo con respecto a la mesa:



La figura muestra al televisor separado de los cuerpos con los que interactúa y a las fuerzas que están aplicadas a éste.

- a) Las fuerzas que actúan son el peso del cuerpo y la fuerza con que la mesa lo sostiene impidiéndole que se desplace verticalmente hacia abajo.
- b) - c) Anticipamos que las fuerzas están equilibradas ya que el televisor no se mueve, entonces ambas fuerzas deben tener igual dirección, distinto sentido e igual intensidad. La suma vectorial de ambas fuerzas es el vector nulo:  $\mathbf{N} + \mathbf{P} = \mathbf{0}$ .

Simbolizaremos:

- con  $\mathbf{P}$  al peso, fuerza que ejerce la Tierra sobre todos los cuerpos que se hallan dentro del campo gravitatorio terrestre y está aplicada en un punto del cuerpo llamado centro de gravedad.
- con  $\mathbf{N}$  a la fuerza normal, acción de la mesa sobre el objeto, La fuerza normal resulta del vínculo entre el cuerpo apoyado y la superficie de apoyo y es siempre perpendicular a la superficie de apoyo.

2. Una persona tira de una caja que está apoyada sobre el piso y la hace deslizar desde el reposo.

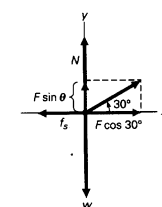
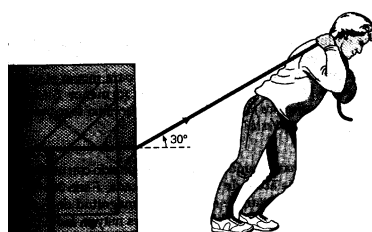


Diagrama de cuerpo libre

a) En este caso veremos que además del peso ( $\vec{P}$ ) y de la normal ( $\vec{N}$ ) actúan otras fuerzas que son la acción de la persona que tira de la caja ( $\vec{F}$ ) y el rozamiento con el piso ( $\vec{f}$ ).

## Capítulo II: Fuerza y movimiento

### Materia: Física III

b) Sumamos vectorialmente  $\vec{F} + \vec{f} + \vec{P} + \vec{N} = \Sigma \vec{F}$ , obtenemos la resultante de las fuerzas que actúan sobre la caja.

Las intensidades de las fuerzas dadas son:

$$F = 214 \text{ N}$$

$$P = 392 \text{ N}$$

$$N = 285 \text{ N}$$

$$f = 142 \text{ N}$$

Para calcular analíticamente  $\Sigma \vec{F}$  representamos a la caja por un punto y dibujamos aplicados en dicho punto los vectores representativos de cada una de las fuerzas que actúan sobre la caja (fuerzas concurrentes). Elegimos un sistema de referencia cartesiano ortogonal con origen en el punto y uno de los ejes en la dirección del desplazamiento de la caja (eje x).

Observamos que las fuerzas normal (**N**) y peso (**P**) tienen la dirección del eje y, la fuerza de rozamiento (**f<sub>s</sub>**) tiene la dirección del eje x, pero la fuerza que hace la persona sobre la caja no se halla representada sobre los ejes, esto hace necesario descomponerla en sus componentes rectangulares **F<sub>x</sub>** y **F<sub>y</sub>** como está indicado en la figura.

**Al estar todas las fuerzas representadas sobre los ejes podemos trabajar escalarmente y operar con vectores colineales, de tal forma que:**

$$\Sigma F_x = F \cos 30^\circ - f_s = 214 \text{ N} \cdot 0,87 - 142 \text{ N} = 43,33 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = N + F \sin 30^\circ - W = 285 \text{ N} + 214 \text{ N} \cdot 0,5 - 392 \text{ N} = 0$$

La fuerza neta sobre la caja es la suma vectorial de  $\Sigma \mathbf{F}_x + \Sigma \mathbf{F}_y$

En este ejemplo la resultante coincide con la  $\Sigma \mathbf{F}_x$ : dirección horizontal, sentido igual que el del desplazamiento, intensidad igual a 43,33N

$$\Sigma \vec{F} = \begin{cases} \text{horizontal} \\ \text{hacia la derecha} \\ \Sigma F = 43,33 \text{ N} \end{cases}$$

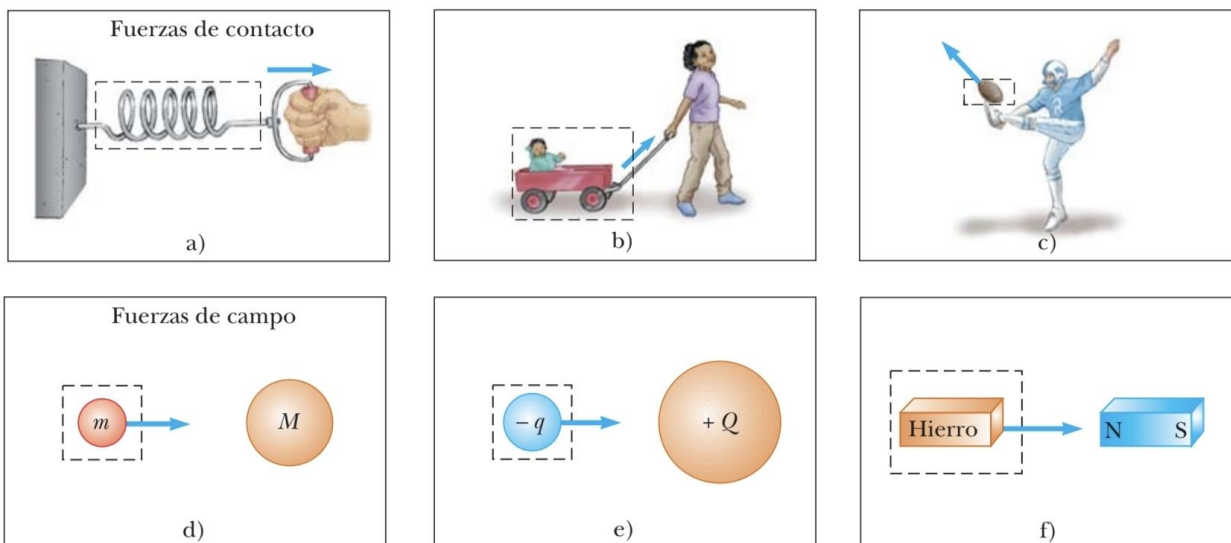
**Debemos distinguir dos tipos de fuerzas:**

- **Fuerzas de acción a distancia**

El peso es una fuerza de acción a distancia ya que no es necesario que los cuerpos estén en contacto con la Tierra para que ésta interactúe con los mismos. El campo gravitatorio terrestre es un campo de fuerzas: cualquier partícula material colocada en el mismo es atraída hacia el centro de la Tierra.

- **Fuerzas por contacto**

La fuerza normal, la fuerza del hombre sobre la caja, el rozamiento, son fuerzas por contacto, representan el resultado del contacto físico entre dos cuerpos.



En cada uno de estos ejemplos se muestra una fuerza que se ejerce sobre el objeto enmarcado con un recuadro en líneas de trazo.

Los ejemplos a),b),c), muestran que sobre cada objeto se ejerce una fuerza por contacto: mano sobre el resorte, nena sobre el carrito, pie sobre el balón.

Los ejemplos d),e),f), muestran que sobre cada objeto se ejerce una fuerza a distancia: interacción gravitatoria, interacción eléctrica, interacción magnética.

### Enunciado de las tres leyes de Newton para la Mecánica Clásica

El físico y matemático **Isaac Newton** enuncia las leyes fundamentales del movimiento en el siglo XVII, las que constituyen los pilares de la Mecánica Clásica.

#### Primera Ley de Newton: PRINCIPIO DE INERCIA

**Un cuerpo permanece en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme si sobre éste no actúan fuerzas o actúan fuerzas cuya resultante es nula.**

Los científicos anteriores a Newton consideraban que el estado natural de los cuerpos era el reposo y que para modificarlo había que aplicar una fuerza exterior. En el siglo XVI, Galileo ya había anticipado que la velocidad constante no requería la aplicación de fuerza alguna que la sostuviera.

## Capítulo II: Fuerza y movimiento

### Materia: Física III

Imaginemos que lanzamos un cuerpo para que deslice sobre una superficie horizontal, recorrerá una cierta distancia antes de detenerse por acción de la fricción con el mismo; imaginemos que lo hacemos deslizar por un piso encerado y que repetimos el hecho en una pista de hielo; sin duda, sobre la pista de hielo recorrerá mayor distancia antes de detenerse. ¿Cómo explicamos este comportamiento?, ¿qué diferencia existe entre cada caso? Si sólo se ha variado la superficie de apoyo podemos pensar que algún atributo de la misma interviene.

Estudiemos las fuerzas que actúan sobre el cuerpo: la fricción es la única fuerza no equilibrada en la dirección del movimiento, la normal y el peso no tienen componentes horizontales y por lo tanto se equilibran entre sí.

¿Qué sucedería si no existiera rozamiento entre el cuerpo que desliza y la superficie de apoyo? Evidentemente el objeto continuaría moviéndose sin variar su velocidad hasta encontrar una pared que lo detuviera. Si no existiera la fricción entre el cuerpo y la superficie, la resultante de las fuerzas sería nula y el cuerpo continuaría moviéndose con MRU.

Imaginemos ahora que es posible aislar una partícula de tal forma que no interaccione con otras partículas, esto significa que ninguna fuerza actúa sobre ella, si esta partícula está en reposo, continuará en reposo y si esta partícula está en movimiento, dicho movimiento tiene que ser MRU.

Como ya lo había anticipado Galileo: un cuerpo libre de acciones exteriores se mueve con velocidad constante o está en reposo.

La expresión simbólica del Principio de Inercia es:

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v} = \vec{0} \vee \vec{v} = c\vec{e}$$

Decimos que:

- una partícula con velocidad nula o con velocidad constante se halla en equilibrio mecánico de traslación
- si la resultante de las fuerzas que actúan sobre una partícula es nula entonces la partícula se halla en equilibrio mecánico de traslación.

#### Segunda Ley de Newton: Principio de Masa

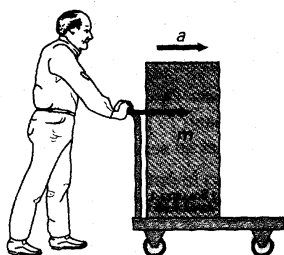
Si un cuerpo “no modifica su movimiento” significa que su velocidad permanece constante (en particular puede ser constantemente igual a cero). Si se quiere modificar este estado hay que variar su velocidad, es decir imprimirle una aceleración “accionando” sobre él.

Observamos que al lanzar un objeto que desliza por el piso del aula, la velocidad del objeto disminuye hasta que el mismo llega al reposo, en este caso la fuerza que modifica la velocidad es la fuerza de rozamiento entre el objeto y el piso.



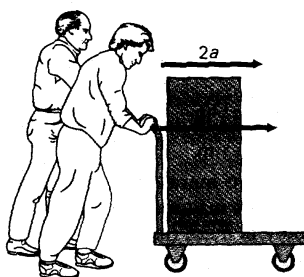
En el ejemplo presentado anteriormente de la persona que tira de una soga atada a una caja, que está apoyada sobre el piso, la fuerza neta que actúa sobre la caja es horizontal, hacia la derecha y de 43,33N, esta fuerza modifica el estado de reposo de la caja y le permite deslizarse.

El Principio de Masa establece la relación existente entre la resultante, no nula, y la variación de velocidad.



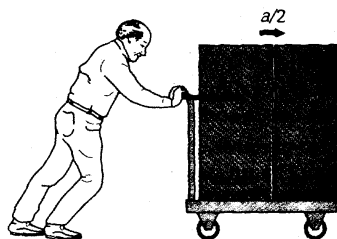
(a)

Una fuerza neta acelera el cajón:  $a \propto F/m$ .



(b)

Si se duplica la fuerza neta, se duplica la aceleración.



(c)

Si se duplica la masa, la aceleración se reduce a la mitad.

Experimentalmente se observa que:

- para acelerar un objeto grande de determinado material es necesario ejercer mayor fuerza que para acelerar un cuerpo pequeño de igual material.
- el mismo objeto adquiere mayor aceleración cuando se le somete a fuerzas mayores.
- la misma fuerza aplicada a cuerpos de igual tamaño y distinto material, produce en los mismos distintas aceleraciones.

Se verifica que:

- la intensidad de la fuerza neta aplicada es directamente proporcional a la cantidad de aceleración adquirida por el cuerpo.
- la constante de proporcionalidad  $m$  entre la sumatoria de fuerzas y la aceleración, depende del cuerpo en cuestión.
- la fuerza neta y la aceleración tienen igual dirección y sentido.

## Capítulo II: Fuerza y movimiento

---

### Materia: Física III

**Toda fuerza no equilibrada aplicada a una partícula le imprime una aceleración directamente proporcional a ésta y de igual dirección y sentido.**

La ecuación que representa a esta ley es:

$$\boxed{\Sigma \vec{F} = m\vec{a}}$$

La constante de proporcionalidad  $m$  recibe el nombre de **masa** del cuerpo y representa la facilidad o dificultad del cuerpo para modificar su velocidad.

La ecuación del Principio de Masa es una ecuación vectorial que no sólo nos brinda información acerca de la proporcionalidad existente entre la fuerza no equilibrada y la aceleración adquirida, además expresa que la sumatoria de fuerzas y la aceleración tienen igual dirección y sentido.

#### Unidades de fuerza y de masa

La unidad de masa en el SI es el kilogramo (kg), unidad de base o fundamental, tiene un patrón que la representa.

La unidad de fuerza en el SI es el Newton (N), unidad derivada con nombre propio, se obtiene a partir de

$$[\Sigma \mathbf{F}] = [m] \cdot [a]$$

$$[\Sigma \mathbf{F}] = \text{kg m s}^{-2} = \mathbf{N}$$

La unidad de fuerza es el Newton (N) cuando la masa se mide en kilogramos (kg) y la aceleración en metros por segundos al cuadrado ( $\text{m/s}^2$ ).

#### **Tercera ley de Newton: Principio de Acción y Reacción**

Siempre que sobre un cuerpo actúe alguna fuerza significa que algún agente externo está accionando sobre él, este cuerpo también acciona sobre el agente externo, es decir ambos cuerpos interactúan.

**Si dos cuerpos interactúan, la fuerza ejercida por uno sobre el otro es de igual intensidad, igual dirección y sentido opuesto a la que ejerce el segundo sobre el primero.**

Con otras palabras: **“las acciones mutuas son iguales y opuestas”**

Si una persona empuja la pared con las manos, veremos que ni la persona ni la pared se desplazan, si la persona se coloca patines y ahora empuja nuevamente la pared, veremos que la pared permanece en reposo pero la persona desliza hacia atrás separándose de la pared. En ambos casos la persona empuja la pared y la pared empuja a la persona. La persona primero no se mueve porque la fuerza no alcanza a



vencer la adhesión entre el calzado y el piso, pero al ponerse patines disminuye la fricción y la acción de la pared sobre ella la desplaza en sentido opuesto a la acción realizada por la persona sobre la pared.

Distinguimos:

- La fuerza de la persona sobre la pared: la ejerce la persona y está aplicada en la pared.
- La fuerza de la pared sobre la persona: la ejerce la pared y está aplicada en la persona.

Estas fuerzas forman un **par de acción y reacción**.

Las acciones mutuas se dan de a pares, son simultáneas y reciben indistintamente el nombre de acción una de ellas y reacción la otra. Es imposible hallar fuerzas aisladas o individuales.

Al patear una pelota, al alzar una valija, al martillar un clavo, al disparar un arma, al estar en un bote y remar, se hacen evidentes los efectos de las interacciones y en estos casos nos resulta sencillo identificar los pares acción y reacción.

Las fuerzas que forman el par de **acción y reacción** están aplicadas en cuerpos diferentes y, por lo tanto, **no se equilibran entre sí**.

Analicemos el siguiente ejemplo: empujamos con la mano una caja apoyada sobre una mesa



Las fuerzas que actúan sobre la caja surgen de la interacción de la caja con otros cuerpos: con la Tierra, con la mesa y con la mano.

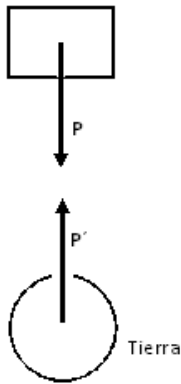
Las fuerzas que actúan sobre la caja son: peso, normal, la fuerza que hace la mano sobre la caja al empujarla y la fuerza de rozamiento.

Si sobre la caja actúan cuatro fuerzas, hay cuatro pares de acción y reacción. De cada par, una fuerza actúa en la caja y la otra actúa en el cuerpo con el que la caja interactúa.

# Capítulo II: Fuerza y movimiento

## Materia: Física III

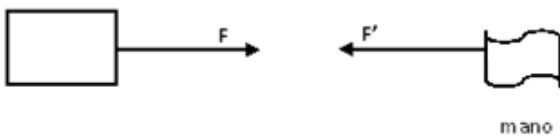
### 1) Interacción caja - Tierra



$$\vec{P} = -\vec{P}'$$

**P** y **P'** forman un par de acción y reacción  
**P**: fuerza que hace la Tierra sobre la caja  
**P'**: fuerza que hace la caja sobre la Tierra

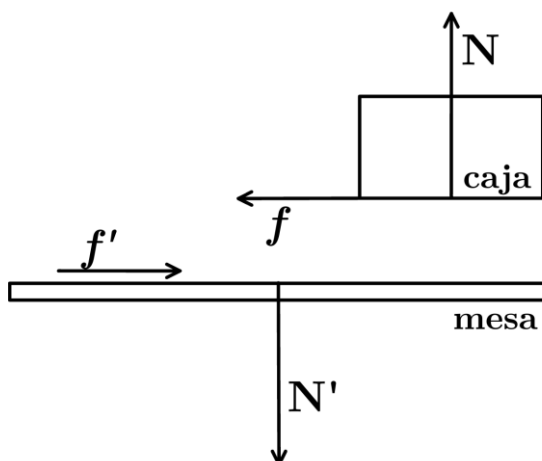
### 2) Interacción caja – mano



$$\vec{F} = -\vec{F}'$$

**F** y **F'** forman un par de acción y reacción  
**F**: fuerza que hace la mano sobre la caja  
**F'**: fuerza que hace la caja sobre la mano

### 3) Interacción caja – mesa



$$\vec{N} = -\vec{N}'$$

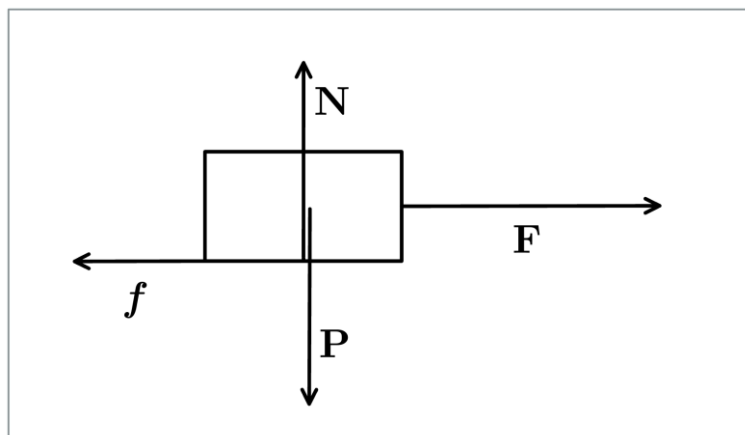
**N** y **N'** forman un par de acción y reacción  
**N'**: fuerza que hace la caja sobre la mesa al apoyarse sobre ella  
**N**: fuerza que hace la mesa sobre la caja

$$\vec{f} = -\vec{f}'$$

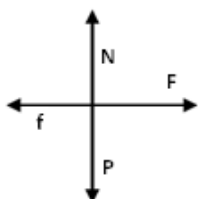
**f** y **f'** forman un par de acción y reacción  
**f'**: fuerza que hace la caja sobre la mesa al deslizarse sobre ella  
**f**: fuerza que hace la mesa sobre la caja



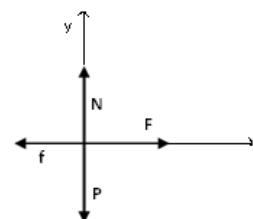
Si aislamos la caja y representamos gráficamente las cuatro fuerzas que actúan sobre ella, obtenemos el **diagrama de cuerpo libre** o **diagrama de cuerpo aislado**



Usando el **modelo de partícula**, dibujamos la partícula aislada y representamos todas las fuerzas que actúan sobre ella, de modo que el origen de cada fuerza coincida con el punto representativo de la caja, la partícula



Si utilizamos un sistema de referencia, a la partícula la ubicamos en el origen de coordenadas



Para estudiar la **dinámica** de una partícula necesitamos conocer la resultante de las fuerzas que actúan sobre ésta.

Si sumamos vectorialmente  $\vec{F} + \vec{f} + \vec{P} + \vec{N} = \Sigma\vec{F}$  obtenemos la resultante de las fuerzas que actúan sobre la caja.

- ✓ Si  $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$  la caja estará en reposo o se moverá con velocidad constante
- ✓ Si  $\Sigma\vec{F} \neq \vec{0}$  la caja se moverá con velocidad variable tal que  $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$   
En particular, si la fuerza resultante  $\Sigma\vec{F}$  es constante y no nula durante el movimiento, la aceleración  $\vec{a}$  será constante y el movimiento será MRUV

# Capítulo II: Fuerza y movimiento

## Materia: Física III

### Masa y peso

La masa es una propiedad fundamental de la materia. Operacionalmente se define como un número asignado a cada partícula o cuerpo que fue obtenido mediante la comparación con un cuerpo patrón, utilizando una balanza de brazos iguales.

Analizando experimentalmente las interacciones entre las partículas se observa

- a) que la partícula con mayor masa sufre un cambio menor de velocidad como resultado de esta interacción
- b) la masa de una partícula determina cómo cambia su velocidad cuando interactúa con otras partículas.

La masa así estudiada se define como la cantidad de inercia que posee un cuerpo.

En el SI la masa se mide en kilogramos (símbolo: kg) que es una unidad de base en este sistema y posee un patrón que la representa.

Todos los objetos son atraídos hacia el centro de la Tierra por fuerzas gravitatorias de diferente intensidad. La fuerza de gravedad sobre cada objeto recibe el nombre de peso del objeto y su intensidad puede medirse utilizando un dinamómetro calibrado en newtons.

Un cuerpo que cae por acción de su peso experimenta una aceleración  $\vec{g}$  que, según el Principio de Masa, tiene igual dirección y sentido que el peso y resulta:

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Consideramos despreciable el rozamiento con el aire.

La expresión  $P = m \cdot g$  permite calcular cualquiera de las cantidades de magnitud intervinientes, conociendo las otras dos.

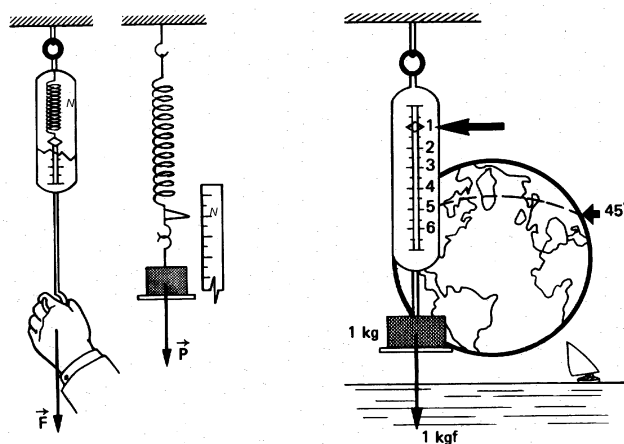
La aceleración de la gravedad  $g$  varía con la distancia al centro de la Tierra por lo tanto el peso también, no así la masa.

Una masa de un kilogramo pesa un kilogramo fuerza (unidad de fuerza y de base en el Sistema Técnico), a 45° de latitud y a nivel del mar. Esta es la razón por la cual tomamos como sinónimos kg y kgf.

En el SI un cuerpo que posee una masa de 1 kg pesa 9,8 N.

$$P = m g$$

$$1\text{kgf} = 1\text{kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ N}$$



Mediante la deformación de un resorte o cuerpo elástico podemos medir el peso de un cuerpo o la intensidad de una fuerza cualquiera.

El kilogramo fuerza (kgf) es el peso del kilogramo patrón (kg) al nivel del mar y a 45° de latitud.

## LEY DE LA GRAVITACIÓN DE NEWTON

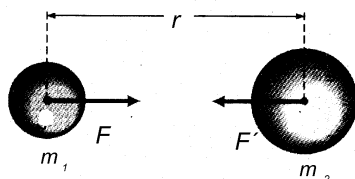
Según la leyenda la ley de Gravitación Universal fue enunciada por Newton luego de ser golpeado en la cabeza por una manzana que caía mientras dormitaba bajo un árbol. Este accidente supuestamente lo inspiró a imaginar que quizá todos los cuerpos en el universo se atraen entre sí en la misma forma que la manzana fue atraída hacia la Tierra. A Newton le preocupaba cómo explicar el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra.

A partir del análisis de la interacción entre la Luna y la Tierra formuló el audaz enunciado de que la ley de fuerza que gobierna el movimiento de los planetas tiene la misma forma matemática que la ley de fuerza que atrae una manzana que cae hacia la Tierra.

En 1686 Newton publicó su trabajo sobre la ley de la gravedad en sus Principios Matemáticos de Filosofía Natural.

La ley de la gravitación de Newton establece que:

**“Toda partícula en el Universo atrae a otra partícula con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas”.**



## Capítulo II: Fuerza y movimiento

### Materia: Física III

Si las partículas tienen masas  $m_1$  y  $m_2$  y están separadas por una distancia  $r$ , la intensidad de esta fuerza gravitacional es:

$$F = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

donde  $k$  es la constante de proporcionalidad y se la representa por  $G$ .

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

$G$  recibe el nombre de constante de gravitación universal la cual se ha medido experimentalmente. Su valor en unidades del SI es

$$G = 6.672 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

Se puede expresar esta ley en forma vectorial definiendo un vector unitario, cuya dirección y sentido dependerá de la fuerza de interacción gravitatoria, esta fuerza actúa a lo largo de la recta que une a las dos partículas.

Así la atracción ejercida sobre la masa  $m_1$  por la masa  $m_2$ , es:

$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \vec{r}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

El signo menos indica que las fuerzas de interacción gravitatoria tienen igual dirección, distinto sentido e igual intensidad, es decir estas fuerzas constituyen un par acción y reacción.

Una propiedad de la fuerza gravitatoria es que ejercida por una distribución de masa esférica sobre una partícula fuera del cuerpo esférico es la misma que si toda la masa del cuerpo esférico estuviera concentrada en su centro. Así la fuerza ejercida por la Tierra sobre cada uno de los cuerpos que se hallan en su superficie tiene una intensidad dada por:

$$F = G \frac{M_T \cdot m}{R_T^2}$$

Donde  $m$  es la masa de un cuerpo cualquiera,  $M_T$  es la masa de la Tierra y  $R_T$  es el radio terrestre.

$$M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad R_T = 6370 \text{ km}$$

Consideremos que esta fuerza es la fuerza de atracción gravitatoria que llamamos peso del cuerpo y que es igual a  $mg$ , por lo tanto podemos igualar:

$$mg = G \frac{M_T \cdot m}{R_T^2}$$

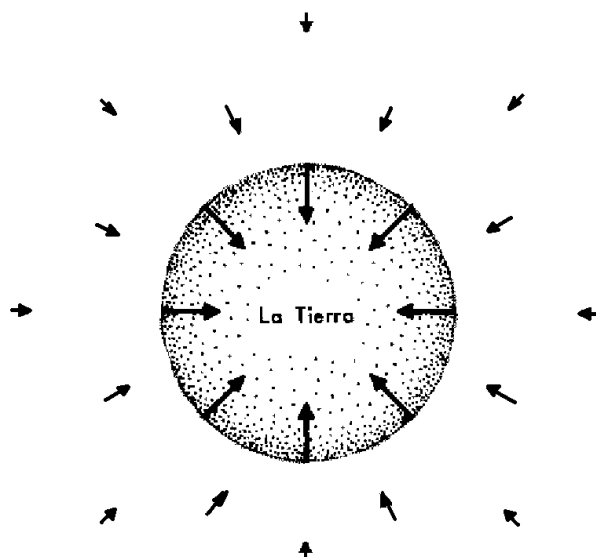


Simplificando  $m$  en esta ecuación encontramos una expresión para la aceleración de la gravedad que indica que ésta depende exclusivamente de la distancia al centro de la Tierra:

$$g = G \frac{M_T}{R_T^2}$$

Concluimos que la aceleración de caída de un cuerpo no depende de su masa. Cuerpos de distinta masa caerán a Tierra, desde la misma altura, con la misma aceleración.

El valor de la aceleración de la gravedad es diferente en los distintos puntos del campo gravitatorio terrestre, disminuye cuando aumenta la altitud y presenta pequeñas variaciones con la latitud.



Campo gravitatorio de la Tierra: Los vectores interiores representan el campo en la superficie terrestre, los vectores intermedios corresponden a una altura de  $3 \cdot 10^6$  m y los exteriores a una altura de  $6 \cdot 10^6$  m. El radio terrestre es de  $6 \cdot 10^6$  metros.

La tabla siguiente muestra valores de  $g$  en diferentes regiones de la superficie terrestre:

Lugar	Valor de "g" (m/s <sup>2</sup> )	Latitud	Altura sobre el nivel del mar (m)
Buenos Aires	9,797	34° 37' - S	19
Polos S y N	9,832	90°	0
Ecuador	9,779	0°	0
París	9,809	48° 50' - N	61
Washington	9,801	38° 53' - N	14
Méjico	9,782	19° 25' - N	2200
Bogotá	9,773	8° 55' - N	2625
Caracas	9,781	10° 30' - N	922
Greenwich	9,812	51° 29' - N	48
Panamá	9,782	9° 20' - N	6
Islas Orcadas	9,819	60° - S	0

# Capítulo II: Fuerza y movimiento

## Materia: Física III

El valor de  $g$  no es constante, sino que varía de acuerdo con los distintos lugares de la Tierra (latitud) y con la altitud o distancia al centro de la Tierra.

Observamos que las variaciones de la aceleración de la gravedad son muy pequeñas, por lo tanto la consideraremos constante, con un valor  $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$ , en las proximidades de la superficie terrestre.

### ROZAMIENTO

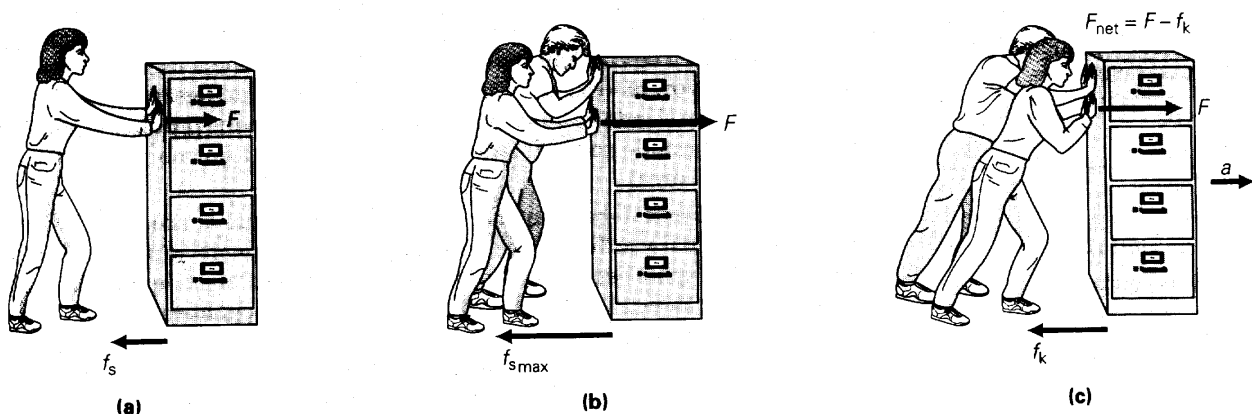
Para hacer deslizar un objeto apoyado sobre una superficie es necesario empujarlo, observamos que:

- si la fuerza aplicada no es suficiente el objeto permanecerá en reposo, hasta que logremos “despegarlo” con una fuerza mayor que la aplicada inicialmente,
- que una vez que hayamos conseguido moverlo la superficie aún ofrece una cierta resistencia al movimiento.

Esta resistencia que resulta de la interacción entre las superficies en contacto recibe el nombre de rozamiento (fricción) y está presente en todos los medios (sólidos, líquidos y gaseosos).

Todas las superficies son microscópicamente rugosas aunque aparenten ser lisas, estas rugosidades producen adhesiones locales entre las zonas de contacto que dependen del tipo de materiales y de las que resulta la resistencia natural que ofrecen al movimiento de los cuerpos.

Analizaremos el rozamiento entre sólidos y sobre objetos que están en reposo o que deslizan.



Al querer deslizar un mueble sobre el piso, se le aplica una fuerza  $F$  horizontal como indica la figura a.



Como el objeto permanece en reposo concluimos que la fuerza aplicada es equilibrada por una fuerza de rozamiento que llamaremos fuerza de rozamiento estático -  $f_s$  - (el objeto no se mueve).

Si al aumentar la fuerza con que se lo empuja no conseguimos aún moverlo significa que la fuerza de rozamiento estático ha aumentado.

Si aún no se logró el objetivo de moverlo se seguirá empujando a medida que se aumenta la intensidad de la fuerza aplicada hasta que ésta sea suficientemente grande como para “arrancarlo” del reposo ( $f_s \text{ máx}$ )—figura b- y ponerlo en movimiento- figura c-, ahora el rozamiento es cinético ( $f_k$ )

Los experimentos sobre rozamiento han demostrado que las fuerzas de roce dependen de los materiales en contacto y de la interacción entre el cuerpo y la superficie de apoyo, siendo la fuerza de rozamiento directamente proporcional a la normal.

$$f = \mu N$$

Donde  $\mu$  es la constante de proporcionalidad y cambia según el tipo de materiales en contacto.

### **Rozamiento estático y rozamiento cinético**

La fuerza de fricción estática entre dos superficies cualesquiera en contacto es una fuerza variable, que aparece cuando se quiere poner en movimiento a un cuerpo sin conseguirlo, y crece hasta un valor máximo en el instante de movimiento inminente.

Experimentalmente se demuestra que  $f_s \text{ máx}$  tiene la dirección del desplazamiento, sentido opuesto al mismo y es directamente proporcional a la intensidad de la fuerza normal.

$$f_{s \text{ máx}} = \mu_s \cdot N$$

La constante de proporcionalidad  $\mu_s$  recibe el nombre de coeficiente de fricción estática y depende, como ya dijimos, de la naturaleza de las superficies en contacto.

Se verifica que  $f_s \leq f_s \text{ máx}$ .

Cuando la fuerza de rozamiento estático alcanza el valor máximo salta bruscamente a otro valor menor  $f_k$ , poniéndose el cuerpo en movimiento.

La fuerza  $\vec{f}_k$  recibe el nombre de fuerza de rozamiento cinético, tiene la misma dirección del desplazamiento y sentido opuesto a éste y su intensidad es directamente proporcional a la intensidad de la normal.

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

La constante de proporcionalidad  $\mu_k$  recibe el nombre de coeficiente de fricción cinética y depende, como ya dijimos, de la naturaleza de las superficies en contacto.

## Capítulo II: Fuerza y movimiento

### Materia: Física III

Los coeficientes de rozamiento, tanto  $\mu_s$  como  $\mu_k$ , son adimensionales pues resultan del cociente entre dos fuerzas:

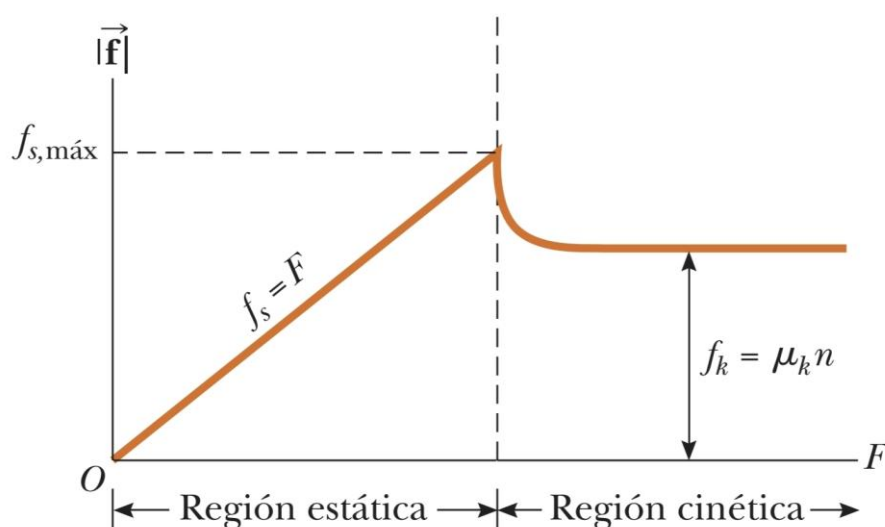
La gráfica muestra la función fuerza de rozamiento – fuerza aplicada. Se ve que:

$$f_{s\text{ máx}} > f_k$$

Al ser  $f_{s\text{ máx}} > f_k$  resulta la misma relación entre los coeficientes de fricción:

$$\mu_s N > \mu_k N$$

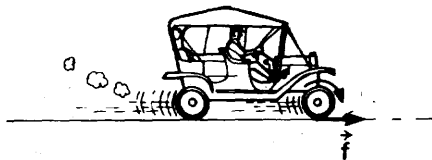
$$\mu_s > \mu_k$$



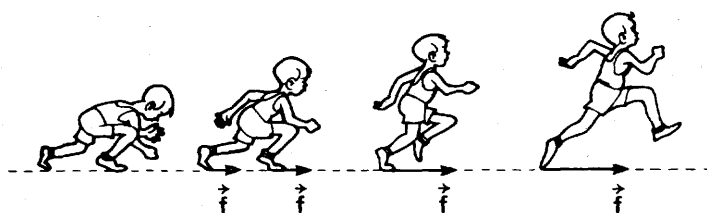
Valores aproximados de coeficientes de fricción		
Materiales en contacto	$\mu_s$	$\mu_k$
Aluminio sobre aluminio	1,05	1,40
Vidrio sobre vidrio	0,94	0,35
Caucho sobre concreto seco	1,20	0,85
Caucho sobre concreto húmedo	0,80	0,60
Acero sobre aluminio	0,61	0,47
Acero sobre acero seco	0,75	0,48
Madera sobre madera	0,58	0,40
Madera encerada sobre nieve	0,05	0,03
Articulaciones sinoviales en humanos	0,01	0,003



### LA FRICCIÓN PUEDE SER ÚTIL



Al pisar el acelerador, las ruedas de tracción (en la figura, las delanteras) comienzan a girar, empujando el suelo hacia atrás. En virtud de la fricción, el suelo reacciona sobre las ruedas empujando al auto hacia adelante. Luego es gracias a la fricción que un auto puede moverse.



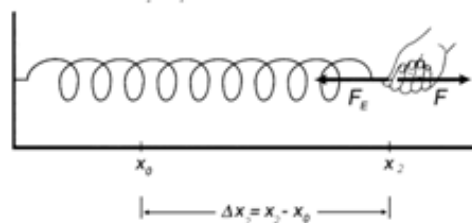
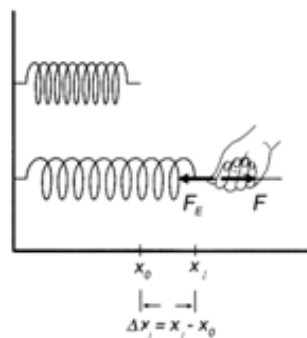
Al caminar (o correr), una persona empuja el suelo con sus pies, hacia atrás. Una fuerza de fricción se ejerce entonces por el suelo sobre la persona, empujándola hacia adelante. De modo que en una superficie sin rozamiento ninguna persona podría caminar.

### FUERZA ELASTICA

En general, las fuerzas son variables, esto es, cambian con el tiempo y/o la posición. Por ejemplo: la fuerza gravitatoria que ejerce la Tierra sobre un satélite depende de la posición de éste respecto de la Tierra, la resistencia del aire sobre un paracaídas depende de su velocidad, la fuerza en una cinchada disminuye a medida que aumenta el cansancio, la fuerza entre partículas cargadas depende de la distancia entre ellas, etc.

Un ejemplo interesante donde intervienen fuerzas variables es el caso de las fuerzas que actúan sobre un resorte cuando se lo deforma, comprimiéndolo o estirándolo.

Cuando un resorte es deformado, la resistencia que ofrece a deformarse, se hace más grande al aumentar la deformación, por lo tanto es necesario aplicar una fuerza cada vez mayor.



$x_0$  : longitud original, sin deformación

$x_1$  y  $x_2$  : longitudes con deformación

## Capítulo II: Fuerza y movimiento

### Materia: Física III

Las fuerzas elásticas, tanto la fuerza que se aplica al resorte para deformarlo ( $\bar{F}$ ) como la fuerza de restauración del resorte ( $\bar{F}_E$ ), son directamente proporcionales a la deformación (cambio en la longitud original) del resorte. Es decir que estas fuerzas dependen de la posición. Esto lo podemos expresar con las siguientes relaciones experimentales

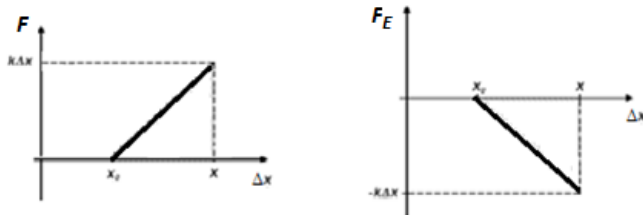
$$\bar{F} = k.\Delta\bar{x} = k(\bar{x} - \bar{x}_0)$$

$$\bar{F}_E = -k.\Delta\bar{x} = -k(\bar{x} - \bar{x}_0)$$

La constante de proporcionalidad  $k$  se llama *constante del resorte* y mide su rigidez. Mientras mayor sea el valor de  $k$ , mayor resistencia a deformarse presenta el resorte. Su unidad es **N/m**.

Esta relación se llama **Ley de Hooke** y es válida dentro de ciertos límites (límite de elasticidad).

El signo menos en la segunda ecuación indica que la fuerza de restauración del resorte  $\bar{F}_E$  (o fuerza recuperadora elástica) está en sentido opuesto al desplazamiento, a la deformación





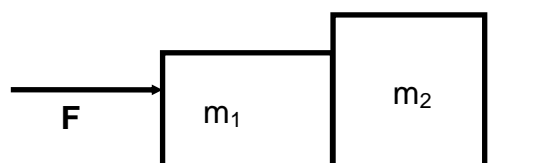
## Problemas

- 1) Realiza el diagrama de cuerpo libre, indicando los pares de acción y reacción, para cada uno de los casos siguientes:
  - a) Un cuerpo en reposo apoyado sobre una superficie horizontal.
  - b) Un cuerpo en reposo suspendido de una cuerda sujeta al techo.
  - c) Un cuerpo que se mueve sobre una superficie horizontal con rozamiento bajo la acción de una fuerza, como se indica en la figura.



- d) Cuerpo que cae por un plano inclinado con rozamiento.

- e) Los cuerpos en movimiento, de masas  $m_1$  y  $m_2$  de la figura, considerando fricción entre cada cuerpo y la superficie horizontal.



- f) Cuerpo sostenido sobre una pared vertical lisa.

- 2) Una fuerza horizontal de 15 N se aplica sobre un bloque 5 kg que se encuentra en reposo sobre una superficie horizontal sin fricción. Calcula la velocidad del bloque a los 3 s de aplicada la fuerza. R)  $v = 9$  m/s

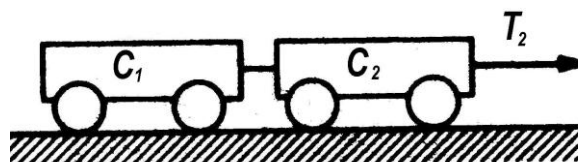
- 3) Un cable de acero sostiene un elevador de 600 kg. Calcula la tensión del cable cuando el elevador está:

- a) Acelerando hacia arriba a razón de  $3,2 \text{ m/s}^2$
  - b) Subiendo a velocidad constante
  - c) Bajando y aumentando uniformemente su velocidad a razón de  $3,2 \text{ m/s}^2$
  - d) Subiendo y disminuyendo uniformemente su velocidad a razón de  $2 \text{ m/s}^2$
- R) Vertical, ascendente y módulo: a) 7800 N b) 5880 N c) 3960 N d) 4680 N

- 4) Resuelve el ejercicio 2) pero considerando que la fuerza de 15 N se aplica con un ángulo de  $30^\circ$  por encima de la horizontal y hay una fuerza de roce de 3 N entre el bloque y la superficie horizontal. R)  $v = 6,03$  m/s

- 5) Un bloque de 2 kg desliza hacia abajo con velocidad constante por un plano inclinado  $37^\circ$  con la horizontal ¿Cuál es el valor de la fuerza de roce entre el bloque y el plano inclinado? R) 11,8 N

- 6) Los dos carritos  $C_1$  y  $C_2$  de la figura se aceleran uniformemente sobre una superficie horizontal lisa. Realiza el diagrama de cuerpo libre y aplica la Segunda Ley de Newton en los carritos y en la cuerda que los une. Las cuerdas son inextensibles y de masa despreciable. Si

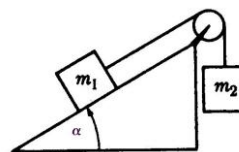


- $C_1 = 3$  kg,  $C_2 = 5$  kg y  $T_2 = 16$  N, calcula la aceleración del sistema y la tensión de la cuerda que une a los carritos. R)  $2 \text{ m/s}^2$  y 6 N

## Capítulo II: Fuerza y movimiento

### Materia: Física III

- 7) Dos masas están conectadas por una cuerda que pasa por una polea (de masa despreciable y sin fricción). La masa  $m_1 = 5 \text{ kg}$  está sobre un plano inclinado liso de  $\alpha = 20^\circ$  y la otra de  $m_2 = 1,5 \text{ kg}$  está suspendida libremente. ¿Cuál es la aceleración de las masas? R)  $0,32 \text{ m/s}^2$



- 8) Un bloque cuyo peso es  $20 \text{ N}$  descansa sobre una superficie horizontal. El coeficiente de fricción estática entre el bloque y la superficie es  $1$ . Se tira de una cuerda atada al bloque con una fuerza horizontal de  $15 \text{ N}$ . ¿Cuál o cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas?
- La fuerza de fricción que actúa sobre el bloque es de  $20 \text{ N}$ .
  - La fuerza de fricción que actúa sobre el bloque es de  $15 \text{ N}$ .
  - La fuerza de fricción que actúa sobre el bloque es de  $5 \text{ N}$ .
  - No se puede determinar la fuerza de fricción.
- 9) Resuelve el ejercicio anterior suponiendo, ahora, que la cuerda forma un ángulo de  $30^\circ$  por encima de la horizontal.
- El bloque permanece en reposo y la fuerza de roce estático es de  $20 \text{ N}$ .
  - El bloque se mueve horizontalmente.
  - El bloque permanece en reposo y la fuerza de roce estático es de  $15 \text{ N}$ .
- 10) Sobre un cuerpo de  $5 \text{ kg}$  que está en reposo sobre una superficie horizontal se aplica la fuerza de  $4 \text{ N}$  que se indica en la figura. Sabiendo que  $\mu_s = 0,2$  y  $\mu_k = 0,1$ , indica dirección, sentido y valor de la fuerza de roce que actúa sobre el cuerpo. ¿Es fuerza de roce estático o dinámico? ¿Por qué?



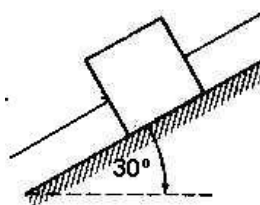
- 11) Un esquiador parte del reposo en la parte superior de una pendiente  $30^\circ$ . El coeficiente de fricción cinético entre los esquís y la nieve es  $0,12$ . Si el esquiador resbala directamente hacia abajo durante  $20 \text{ s}$ , ¿cuál es su velocidad al término de ese tiempo, sin tener en cuenta la fricción con el aire? R)  $78 \text{ m/s}$
- 12) Un hombre sube una heladera de  $115 \text{ kg}$  recostándola y empujándola sobre una rampa inclinada  $23^\circ$ . Los coeficientes de fricción estática y dinámica entre la heladera y la rampa son  $\mu_s = 0,4$  y  $\mu_k = 0,3$ .
- ¿Cuál es la fuerza, paralela a la rampa, que se debe aplicar a la heladera para comenzar a moverla hacia arriba por la rampa?
  - Si se aplica la misma fuerza después de que la heladera comienza a moverse, ¿cuál es la aceleración?
  - Si se quiere moverla a velocidad constante, ¿con qué fuerza hay que empujar para mantenerla en movimiento, una vez que ya comenzó a moverse?
  - Si después de subir parte de la rampa se quiere tomar un descanso, ¿se puede dejar con seguridad la heladera sobre la tabla?



e) Si no es así, ¿qué fuerza hay que seguir haciendo para impedir que se resbale por la rampa?

R) a) 855,3 N b) 0,9 m/s<sup>2</sup> c) 751,5 N d) no se puede soltar la heladera e) 25,3 N

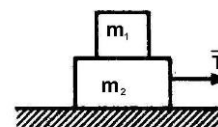
- 13) Un cuerpo de 4 kg descansa en un plano inclinado que forma un ángulo de 30° con la horizontal. Los coeficientes de rozamiento valen  $\mu_s = 0,64$  y  $\mu_k = 0,28$ . Se fijan cuerdas al cuerpo para que se pueda tirar hacia arriba o hacia abajo del plano inclinado. ¿Cuál debe ser la tensión de la cuerda para que el cuerpo comience a moverse a) hacia arriba del plano, b) hacia abajo del plano? La tensión es paralela al plano inclinado. R) a) hacia arriba de 41,3 N b) hacia debajo de 2,1 N



- 14) En la figura se muestra una tensión T de 80 N que produce una aceleración al bloque m<sub>2</sub>. Suponiendo que m<sub>1</sub> queda en reposo en relación con m<sub>2</sub>, es decir, se mueve con m<sub>2</sub>, determina la aceleración del sistema y las fuerzas de interacción entre ambos. El coeficiente de rozamiento dinámico entre la superficie horizontal y m<sub>2</sub> es 0,3.

m<sub>1</sub> = 4 kg

m<sub>2</sub> = 6 kg



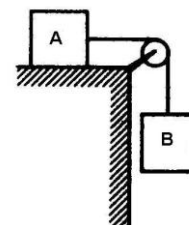
- 15) Calcula el valor de la fuerza de rozamiento que actúa sobre A.

m<sub>A</sub> = 100 kg

m<sub>B</sub> = 20 kg

$\mu_s = 0,3$

$\mu_k = 0,2$



- 16) Calcula el valor de la aceleración de la gravedad en la superficie de Marte

Masa de Marte m<sub>M</sub> = 6,4 x 10<sup>23</sup> kg

Radio de Marte r<sub>M</sub> = 3,39 x 10<sup>6</sup> m

R) 3,716 m/s<sup>2</sup>

- 17) ¿Cuál es el peso en la Luna de un objeto que en la superficie de la Tierra pesa 98 N? La masa de la Luna es de 7,35 x 10<sup>22</sup> kg y su radio es de 1740 km. R) 16,2 N

- 18) Un jet vuela a una altitud de 12,5 km sobre la superficie terrestre. ¿Cuál es el peso de un pasajero en el jet si sobre la superficie de la Tierra, en donde g = 9,8 m/s<sup>2</sup>, pesa 962,45 N?

m<sub>T</sub> = 5,98 x 10<sup>24</sup> kg, r<sub>T</sub> = 6370 km

R) 961,48 N

## Capítulo II: Fuerza y movimiento

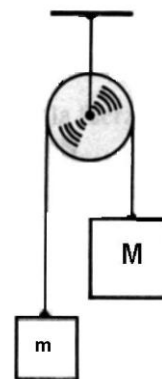
### Materia: Física III

- 19) Se requiere de una fuerza de 800 N para estirar un resorte 4 cm respecto de su longitud no deformada.
- ¿Cuál es la constante del resorte?
  - ¿Qué fuerza se necesita para estirar 6 cm el resorte desde su longitud sin estirar?
- 20) Una misma fuerza  $F$  se aplica, sucesivamente, a dos resortes diferentes, A y B. Se observa que la deformación  $X_A$  del resorte A es mayor que la deformación  $X_B$  del resorte B. La constante elástica  $k_A$ , ¿es mayor o menor que constante  $k_B$ ? Justifica.

- 21) Una máquina de Atwood se usa para determinar el valor de la aceleración de la gravedad. Dos masas conocidas  $M$  y  $m$ , siendo  $M > m$ , se cuelgan de una polea de masa despreciable y sin fricción, como se muestra en la figura.

La aceleración de la masa  $M$  hacia abajo es:

- $g$
- $\frac{M}{m} g$
- $\frac{M - m}{M + m} g$
- $\frac{M - m}{M \cdot m} g$



- 22) Un pequeño auto deportivo choca de frente con un camión. ¿Cuál vehículo experimenta la mayor fuerza de impacto? ¿Cuál experimenta la mayor aceleración? Explica tus respuestas.
- 23) ¿Hay un error en estas afirmaciones? Cuando se golpea una pelota de béisbol con un bate, hay fuerzas iguales y opuestas sobre el bate y la pelota. Las fuerzas se cancelan y no hay movimiento.
- 24) Si sobre un cuerpo actúa una única fuerza, ¿puede tener velocidad nula en algún instante? Explica tu respuesta a través de un ejemplo.
- 25) La fuerza neta sobre un objeto móvil se reduce súbitamente a cero. En consecuencia, el objeto:
- se detiene bruscamente
  - se detiene en un corto intervalo de tiempo
  - cambia de dirección
  - continúa a velocidad constante
  - cambia de velocidad en una forma desconocida.
- 26) Una persona se encuentra de pie sobre una balanza de resorte en el interior de un ascensor que desciende. Mientras se detiene al llegar a la planta baja, la lectura de la balanza sobre el peso de la persona, ¿será correcta, más alta o más baja? Para justificar tu respuesta, realiza el DCL y plantea la 2° Ley de Newton.
- 27) Puede construirse un acelerómetro sencillo colgando un cuerpo pequeño de una cuerda sujeta a un punto fijo en el objeto que se acelera, por ejemplo, en el techo de un vagón de pasajeros. Cuando exista una aceleración, el cuerpo pequeño se desviará y la



cuerda formará un ángulo determinado con la vertical. ¿En qué sentido se desviará el cuerpo suspendido respecto al de la aceleración? Realiza el DCL y plantea la 2ª Ley de Newton para justificar tu respuesta.

28) Un bloque con una velocidad inicial  $v_0$  se desliza sobre un plano horizontal y se detiene después de un desplazamiento  $d$ . El valor del coeficiente de roce cinético entre el bloque y la superficie es:

- a)  $\mu_c = v_0^2 d / 2g$       b)  $\mu_c = v_0^2 / 2dg$       c)  $\mu_c = v_0^2 g / d^2$       d) ninguno de los anteriores.

29) Un bloque de masa  $m$  se arrastra a velocidad constante sobre una superficie horizontal mediante una cuerda que forma un ángulo  $\theta$  por encima de la horizontal. El valor de la fuerza de rozamiento es:

- a)  $\mu_c mg$       b)  $T \cos \theta$       c)  $\mu_c (mg - T \sin \theta)$       d)  $\mu_c T \sin \theta$       e)  $\mu_c (T - mg)$

30) Un cohete está alejado de todo cuerpo celeste masivo, de manera que la gravedad es despreciable. El cohete utiliza sus motores para acelerar "hacia arriba" con un valor  $g$ . Sobre el piso de la cabina central hay una caja de herramientas de masa  $m$ . ¿Cuántas fuerzas actúan sobre la caja? Determina la fuerza normal sobre la caja y compárala con la fuerza normal que ésta experimentaría si estuviera en reposo sobre la superficie terrestre.

## Bibliografía

**Física**, Wilson J, Buffa A, Lou B, Prentice Hall Inc., México, 2007

**Física para la Ciencia y la Tecnología**, Volumen 1, Tipler P, Editorial Reverté, España, 2001

**Fundamentos de Física**, Volumen 1, Sexta Edición, Serway R, Faughn J, International Thomson Editores, México, 2004

**Física Conceptos y aplicaciones**, Tippens P, Mc Graw Hill, México, 2001

**Física**, Wilson J, Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1996

**Física**, Blatt F, Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1991

**Física**, Tomo 1, Serway R, Mc Graw Hill, México, 1997

**Física Principios y aplicaciones**, Giancoli D, Editorial Reverté, España, 1985

**Física EGB 3**, Liliana Reynoso, Editorial Plus Ultra, Brasil, 1998

**Física General**, Alvarenga B Máximo A, Editorial Harla, México, 1981

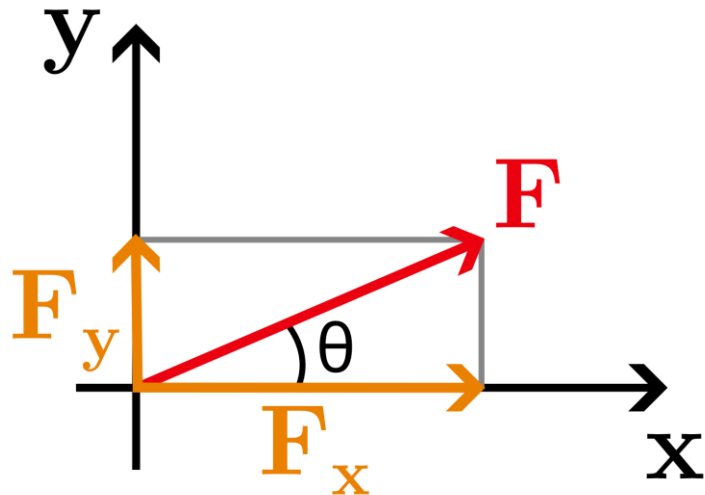
# Capítulo II: Fuerza y movimiento

## Materia: Física III

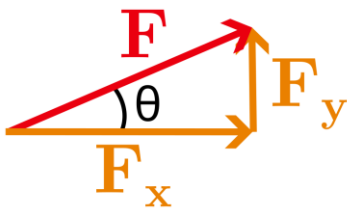
### MATERIAL COMPLEMENTARIO

#### Descomposición de magnitudes vectoriales en ejes cartesianos

En algunos problemas, no vamos a poder elegir un sistema de referencia donde todas las fuerzas se encuentren en los ejes x e y. Cuando una fuerza  $\mathbf{F}$  no es paralela a ninguno de los ejes (como en la Figura a la derecha), entonces tenemos la necesidad de **descomponer** esa fuerza en dos ejes, para que podamos realizar los cálculos de manera más sencilla.



En la Figura se muestra un vector  $\mathbf{F}$  que está formando un ángulo  $\theta$  con el eje x. Si proyectamos el vector  $\mathbf{F}$  sobre los ejes cartesianos, obtendremos dos componentes perpendiculares entre sí: una componente para el eje x ( $\mathbf{F}_x$ ) y una componente para el eje y ( $\mathbf{F}_y$ ).



Nótese que dichas descomposiciones, al sumarlas vectorialmente, nos devuelven nuevamente el vector  $\mathbf{F}$ :

$$\mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y = \mathbf{F}$$

Entonces, si trasladamos  $\mathbf{F}_y$  donde termina el vector  $\mathbf{F}_x$ , nos queda formado un triángulo rectángulo con hipotenusa igual a  $\mathbf{F}$ . Usando el teorema de Pitágoras podemos escribir:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

Para conocer las componentes a partir del ángulo y el módulo de la fuerza, podemos hacer uso de las funciones trigonométricas seno y coseno:

$$\text{sen}(\theta) = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{F_y}{F} \quad \text{cos}(\theta) = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{F_x}{F}$$

Despejando, podemos escribir (**para este caso particular**):

$$F_x = F \cos(\theta)$$

$$F_y = F \text{sen}(\theta)$$