

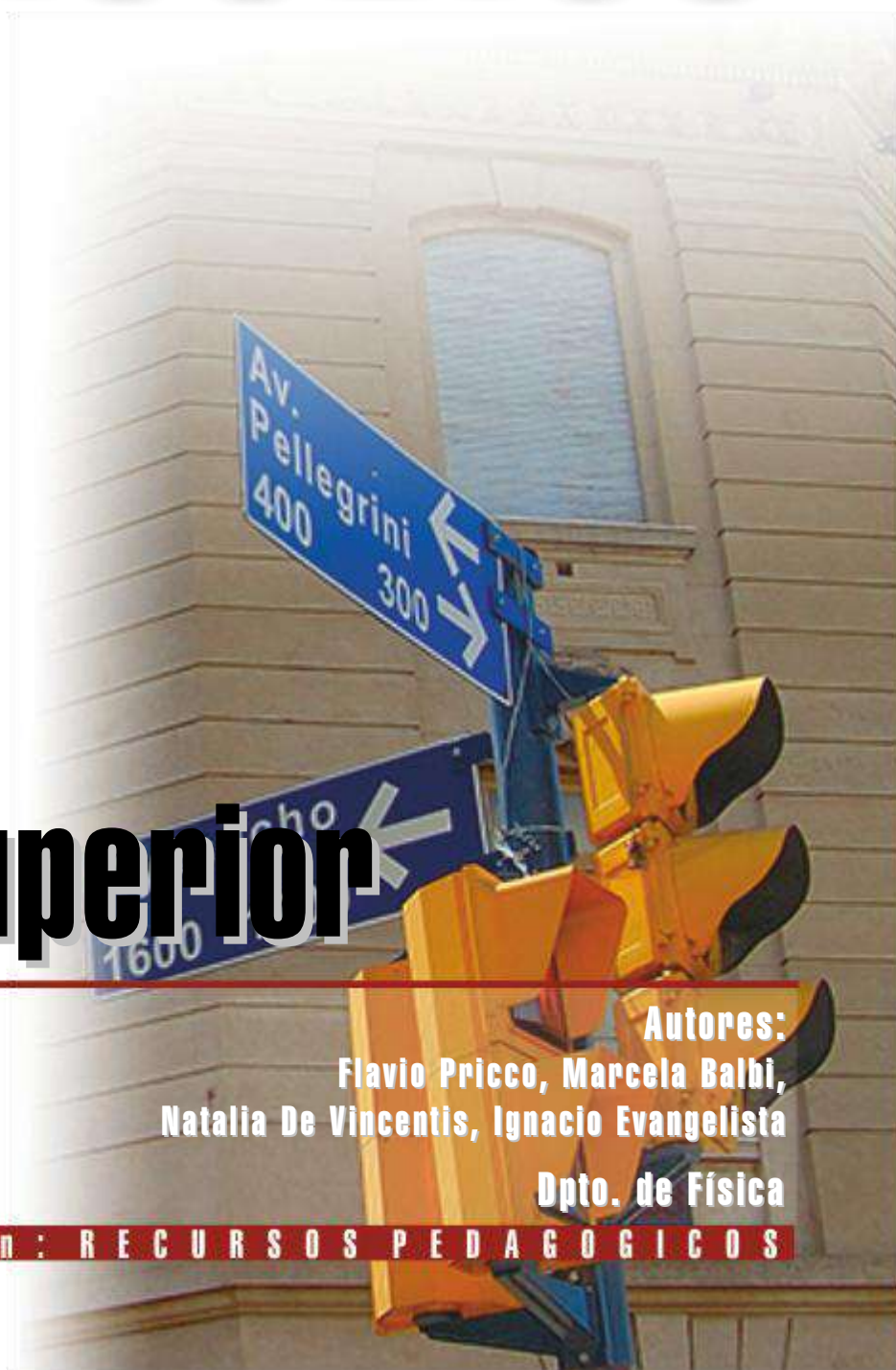
Instituto Politécnico

Universidad Nacional de Rosario Universidad Nacional de

Capítulo 3 Ingreso Nivel Superior

Física

Masterización: RECURSOS PEDAGÓGICOS



Autores:
Flavio Pricco, Marcela Balbi,
Natalia De Vincentis, Ignacio Evangelista
Dpto. de Física



3.1. Introducción

En el capítulo anterior establecimos relaciones entre el desplazamiento, la velocidad y la aceleración de una partícula puntual (cinemática de la partícula).

Lo que no analizamos en el capítulo anterior fue el origen del movimiento de los cuerpos. La experiencia cotidiana nos 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.

Lo que haremos en este capítulo es considerar las relaciones de causa y efecto entre las fuerzas que se aplican a los cuerpos y los movimientos de los mismos.

3.2. Fuerza

La fuerza es una magnitud vectorial, por lo tanto, posee dirección, sentido y módulo (cantidad de fuerza).

La unidad de fuerza en el Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA) es el Newton:

$$[\vec{F}] = \text{N} \quad (3.1)$$

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 de fuerzas como $\sum \vec{F}$.

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

Ejemplo 1

Analice conceptual y gráficamente la suma de fuerzas y la determinación de la fuerza resultante en distintas situaciones cotidianas.

Resolución:

La fuerza resultante $\vec{R} = \sum \vec{F}$ es la fuerza equivalente al conjunto de fuerzas aplicadas sobre un cuerpo:

- Fuerzas colineales de igual sentido: sus intensidades se suman directamente y se mantiene el sentido.
- Fuerzas colineales de sentidos opuestos: sus intensidades se restan. Si tienen igual módulo y sentido contrario, la resultante es nula.

- Fuerzas concurrentes en distintas direcciones: la resultante se obtiene mediante la suma vectorial aplicando la regla del paralelogramo o el polígono de fuerzas.

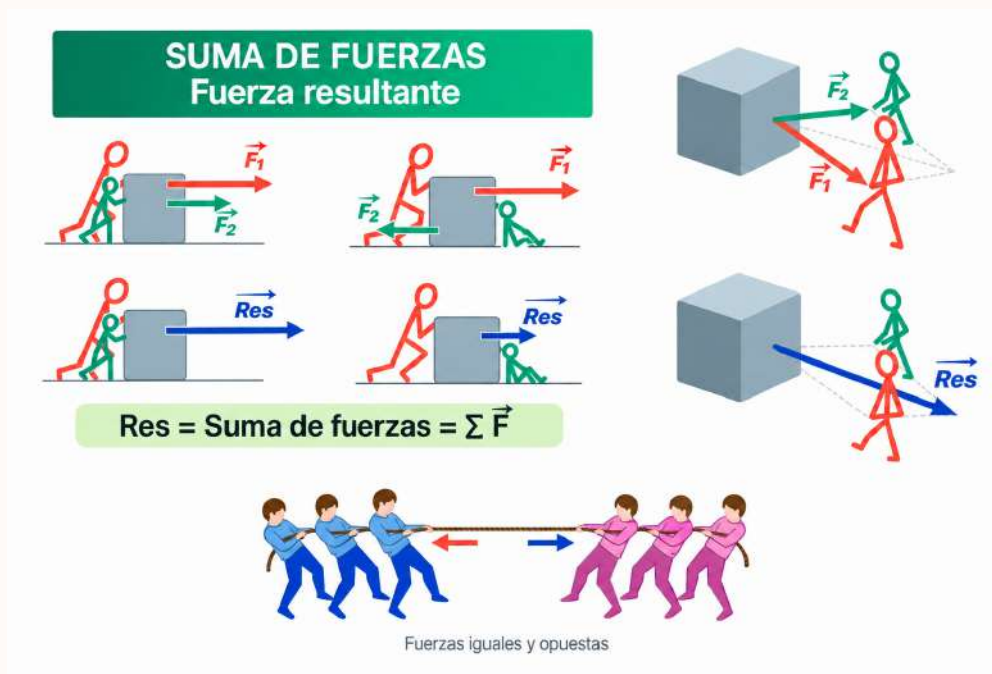


Figura 3.1: Suma de fuerzas y determinación de la fuerza resultante.

Ejemplo 2

En las siguientes situaciones analice:

- a) qué fuerzas actúan sobre los objetos,
- b) cuál es la resultante de dichas fuerzas,
- c) qué tipos de movimientos adquieren éstos.

- **Situación 1:** Un libro apoyado sobre una mesa. Se halla en reposo, no se mueve.
- **Situación 2:** Una persona tira de una caja que está apoyada sobre el piso y la hace deslizar desde el reposo.

Resolución:

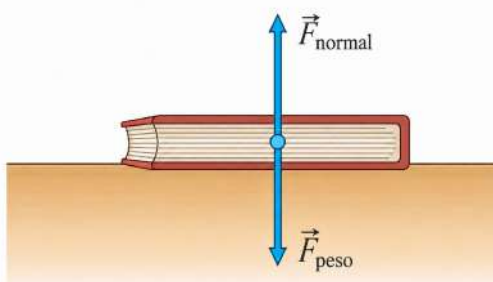


Figura 3.2: Fuerzas actuantes sobre un libro apoyado en una mesa.

Situación 1: Un libro apoyado sobre una mesa.

- Las fuerzas que actúan sobre el libro son el peso del cuerpo y la fuerza con que la mesa lo sostiene impidiéndole que se desplace hacia abajo.
- y c) Como el libro no se mueve, las fuerzas están equilibradas. Entonces, ambas fuerzas deben tener igual dirección, igual módulo o intensidad y distinto sentido:

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \implies \vec{F}_{\text{normal}} + \vec{F}_{\text{peso}} = \vec{0}$$

Simbolizaremos:

- $\vec{F}_{\text{peso}} = \vec{P}$ al peso, fuerza que ejerce la Tierra sobre todos los cuerpos.
- $\vec{F}_{\text{normal}} = \vec{N}$ 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.

Situación 2: Una persona tira de una caja apoyada sobre el piso.

- En este caso, 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 del piso $\vec{F}_{\text{roce}}$.
- Para obtener la resultante de las fuerzas que actúan sobre la caja, debemos sumar vectorialmente:

$$\sum \vec{F} = \vec{N} + \vec{P} + \vec{F} + \vec{F}_{\text{roce}}$$

Para realizar esta suma deberemos descomponer cada fuerza en sus componentes x e y. Si las intensidades de las fuerzas dadas son:

$$F = 214 \text{ N} \quad N = 285 \text{ N} \quad P = 392 \text{ N} \quad F_{\text{roce}} = 142 \text{ N}$$

Descomponiendo cada fuerza en sus componentes cartesianas:

$$\vec{P} \begin{cases} P_x = 0 \\ P_y = -392 \text{ N} \end{cases} \quad \vec{N} \begin{cases} N_x = 0 \\ N_y = 285 \text{ N} \end{cases}$$

$$\vec{F}_{\text{roce}} \begin{cases} (F_{\text{roce}})_x = -142 \text{ N} \\ (F_{\text{roce}})_y = 0 \end{cases} \quad \vec{F} \begin{cases} F_x = F \cos 30^\circ = 214 \text{ N} \cdot \cos 30^\circ = 185,3 \text{ N} \\ F_y = F \sin 30^\circ = 214 \text{ N} \cdot \sin 30^\circ = 107 \text{ N} \end{cases}$$

Ahora sí podemos realizar la suma de componentes:

$$\sum F_x = 0 + 0 - 142 \text{ N} + 185,3 \text{ N} = 43,3 \text{ N}$$

$$\sum F_y = -392 \text{ N} + 285 \text{ N} + 0 + 107 \text{ N} = 0 \text{ N}$$

¿Es correcto que $\sum F_y = 0$? ¡¡SÍ!! Esto nos indica que la caja sólo desliza en forma horizontal. Si $\sum F_y \neq 0$ la caja además tendría que moverse en el eje y (subiendo o bajando).

Por lo tanto:

$$\vec{F}_{\text{resultante}} = (43,3 \text{ N}; 0)$$

c) La caja desliza en forma horizontal, paralela al suelo.

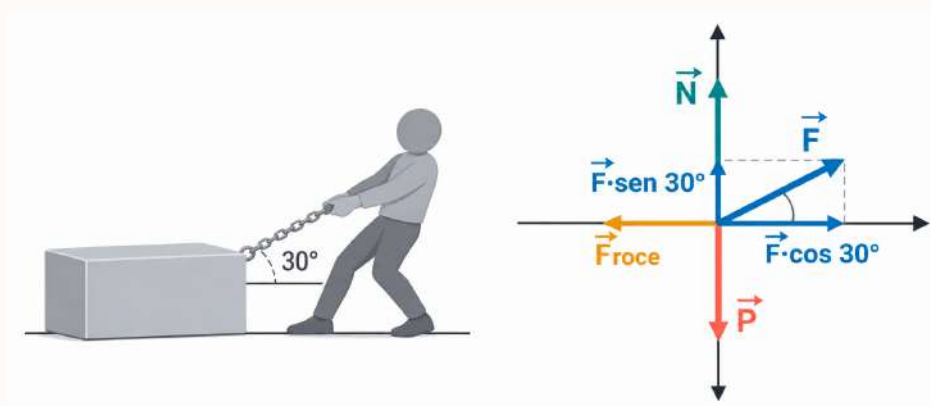


Figura 3.3: Fuerzas actuantes y descomposición vectorial sobre una caja arrastrada.

3.3. Leyes de Newton

3.3.1. Primera Ley de Newton

Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo con velocidad constante (MRU), a menos que sobre él actúen fuerzas cuya resultante no sea nula.

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 una pista de hielo, en ésta recorrerá mayor distancia antes de detenerse.

Este comportamiento se debe a la fuerza de roce o de fricción que se opone a la dirección del movimiento del cuerpo y hace que se frene. Las otras fuerzas que



actúan sobre el cuerpo serían el peso y la normal que 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 algo (una pared, por ejemplo) que lo detuviera. Si no existiera fricción entre el cuerpo y la superficie, la resultante de las fuerzas sería nula y el cuerpo continuaría moviéndose con MRU.

La Primera Ley de Newton puede escribirse de la siguiente forma:

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \iff \vec{v} = \vec{0} \vee \vec{v} = \text{cte} \quad (3.2)$$

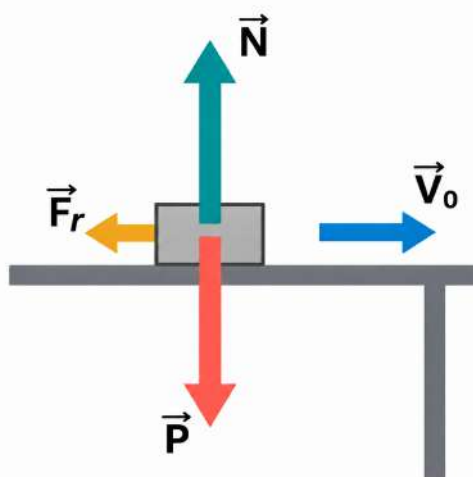


Figura 3.4: Primera Ley de Newton: cuerpo deslizando sobre una superficie horizontal.

3.3.2. Segunda Ley de Newton

La fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo le imprime una aceleración directamente proporcional a ésta y de igual dirección y sentido.

La ecuación que representa a esta ley es:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (3.3)$$

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

Esta ecuación es una ecuación vectorial que no sólo nos brinda la relación existente entre resultante de fuerzas y aceleración adquirida, además expresa que la sumatoria de fuerzas y la aceleración tienen igual dirección y sentido.

Unidades de fuerza y masa La unidad de masa en el Sistema Internacional (SI) es el kilogramo (kg) y la unidad de fuerza el Newton (N), quedando:

$$[\sum \vec{F}] = [m][\vec{a}]$$

$$[\sum \vec{F}] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = \text{N} \quad (3.4)$$

Por tradición aún se conservan en los libros los nombres de otras unidades correspondientes a otros sistemas de unidades, si adoptamos el centímetro, el gramo, y el segundo como unidades de longitud, masa y tiempo respectivamente, es obvio que la unidad de fuerza, que en este caso se llama dina es:

$$[\text{dn}] = \frac{\text{g cm}}{\text{s}^2}$$

Es simple ver que su equivalencia con el Newton está dada por: $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dn}$

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 1 \cdot 10^5 \frac{\text{g cm}}{\text{s}^2} = 1 \cdot 10^5 \text{ dn}$$

3.3.3. Tercera Ley de Newton

Las fuerzas actúan siempre por pares. Si un cuerpo A ejerce una fuerza sobre el objeto B; éste ejerce sobre el A una fuerza igual, pero de sentido contrario.

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad (3.5)$$

Si una persona empuja una pared con las manos, veremos que ni la persona ni la pared se desplazan. Si la persona se coloca patines y empuja nuevamente la pared, veremos que la pared permanece en reposo, pero la persona se 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 el roce 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 acción y reacción** (reciben indistintamente el nombre de acción una de ellas y reacción la otra).



Las fuerzas que forman el par acción y reacción están aplicadas en cuerpos distintos y, por lo tanto, no se anulan entre sí.

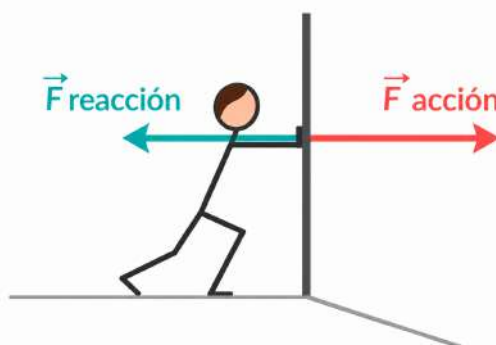


Figura 3.5: Tercera Ley de Newton: par de acción y reacción al empujar una pared.

Analicemos el ejemplo de empujar con la mano una caja apoyada sobre la 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 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.

Interacción caja-Tierra	Interacción caja-mano	Interacción caja-suelo
$\vec{P}$ y $\vec{P}'$ forman un par acción y reacción. $\vec{P}$: fuerza que hace la Tierra sobre la caja. $\vec{P}'$: fuerza que la caja hace sobre la Tierra.	$\vec{F}$ y $\vec{F}'$ forman un par acción y reacción. $\vec{F}$: fuerza que la mano ejerce sobre la caja. $\vec{F}'$: fuerza que la caja ejerce sobre la mano.	$\vec{N}$ y $\vec{N}'$ forman un par acción y reacción. $\vec{N}$: fuerza que el suelo ejerce sobre la caja. $\vec{N}'$: fuerza que la caja ejerce sobre el suelo.
		$\vec{F}_{\text{roce}}$ y $\vec{F}'_{\text{roce}}$ ejercen un par acción y reacción. $\vec{F}_{\text{roce}}$: fuerza que el suelo ejerce sobre la caja (al deslizarse). $\vec{F}'_{\text{roce}}$: fuerza que la caja ejerce sobre el suelo.

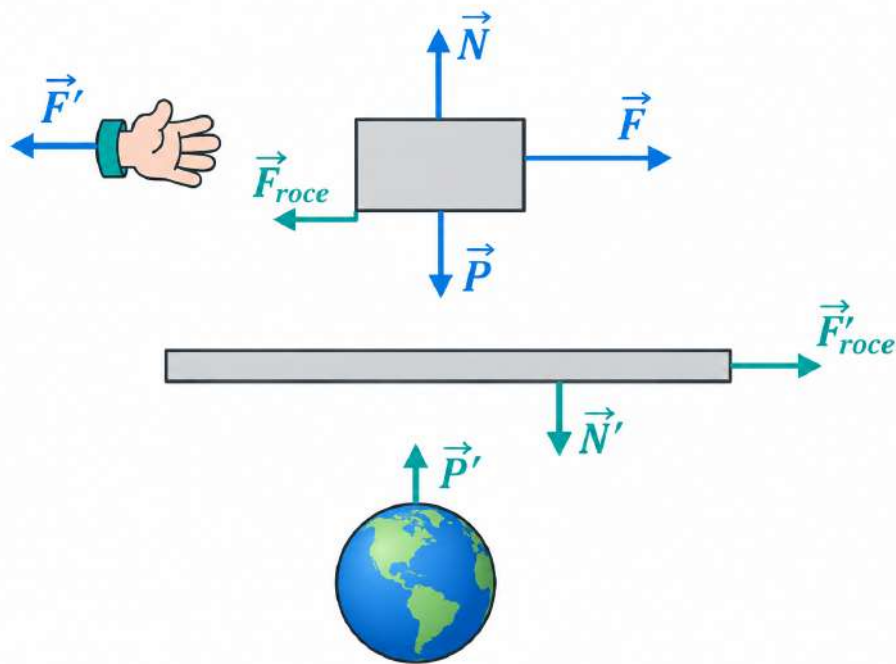


Figura 3.6: Pares de acción y reacción para una caja apoyada sobre una mesa.

Diagrama de Cuerpo Libre

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

Considerando la caja como una partícula, representamos todas las fuerzas que actúan sobre ella desde el punto representativo de la caja.

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

Para estudiar la dinámica (el movimiento) de una partícula, necesitamos conocer la resultante de fuerzas que actúan sobre ésta:

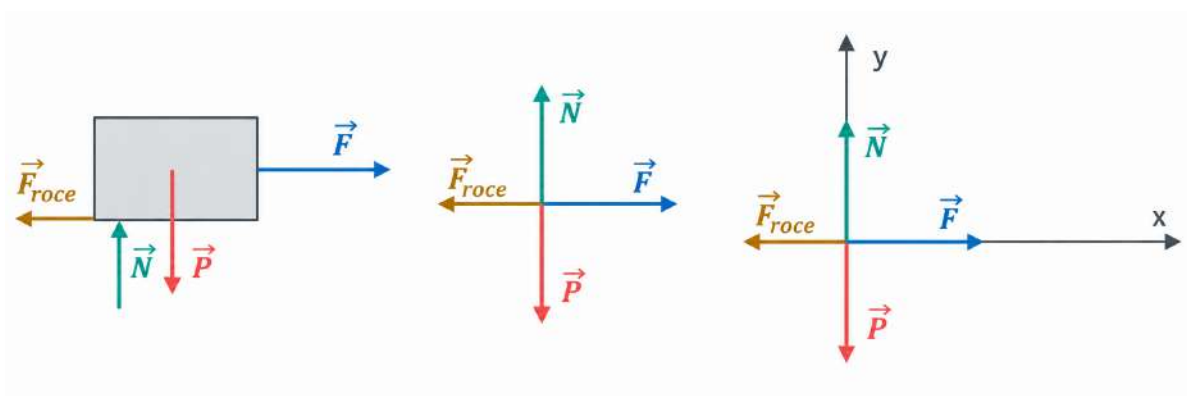


Figura 3.7: Representaciones progresivas del Diagrama de Cuerpo Libre (DCL): cuerpo aislado, partícula puntual y sistema de coordenadas cartesianas.



$$\sum \vec{F} = \vec{F} + \vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{roce}}$$

- Si $\sum \vec{F} = \vec{0}$, la caja estará en reposo o se moverá con velocidad constante (MRU).
- Si $\sum \vec{F} \neq \vec{0}$, la caja se moverá con aceleración. Por la Segunda Ley de Newton $\sum \vec{F} = m\vec{a}$. Esta es una ecuación vectorial, por lo tanto, habrá que plantear:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

Ejemplo 3

En cada caso dibuje las fuerzas actuando en el objeto en estudio con sus reacciones:

- Un mate reposa sobre la mesa (objeto en estudio: el mate).
- Un ropero es arrastrado por una persona sobre el piso (objeto en estudio: el ropero).
- Un cono de tránsito reposa sobre la rampa (plano inclinado) de entrada a un garaje (objeto en estudio: el cono de tránsito).

Resolución:

a) Mate reposando sobre la mesa:

- $\vec{P}$: fuerza que la Tierra ejerce sobre el mate.
- $\vec{P}'$: fuerza que el mate ejerce sobre la Tierra.
- $\vec{N}$: fuerza que la mesa ejerce sobre el mate.
- $\vec{N}'$: fuerza que el mate ejerce sobre la mesa.

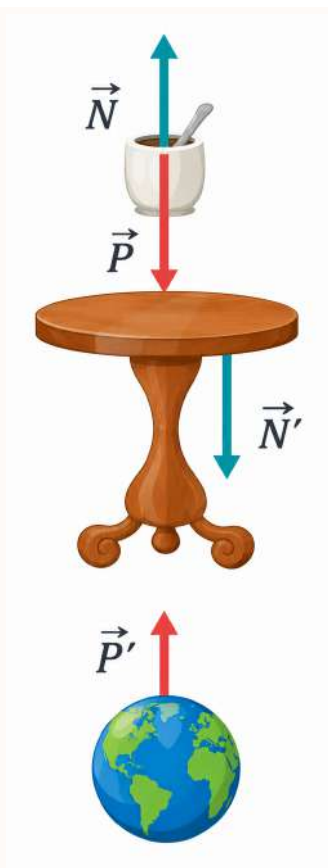


Figura 3.8: Fuerzas y reacciones sobre un mate apoyado en una mesa.

b) Ropero arrastrado por una persona sobre el piso:

- $\vec{P}$: fuerza que la Tierra ejerce sobre el ropero.
- $\vec{P}'$: fuerza que el ropero ejerce sobre la Tierra.
- $\vec{N}$: fuerza que el suelo ejerce sobre el ropero.
- $\vec{N}'$: fuerza que el ropero ejerce sobre el suelo.
- $\vec{F}$: fuerza que el hombre ejerce sobre el ropero.
- $\vec{F}'$: fuerza que el ropero ejerce sobre el hombre.

c) Cono de tránsito reposando sobre una rampa:

- $\vec{P}$: fuerza que la Tierra ejerce sobre el cono.
- $\vec{P}'$: fuerza que el cono ejerce sobre la Tierra.
- $\vec{N}$: fuerza que la rampa ejerce sobre el cono.
- $\vec{N}'$: fuerza que el cono ejerce sobre la rampa.



- $\vec{F}_{roce}$: fuerza de rozamiento estático que la rampa ejerce sobre el cono (impidiendo que deslice).
- $\vec{F}'_{roce}$: fuerza que el cono ejerce sobre la rampa.

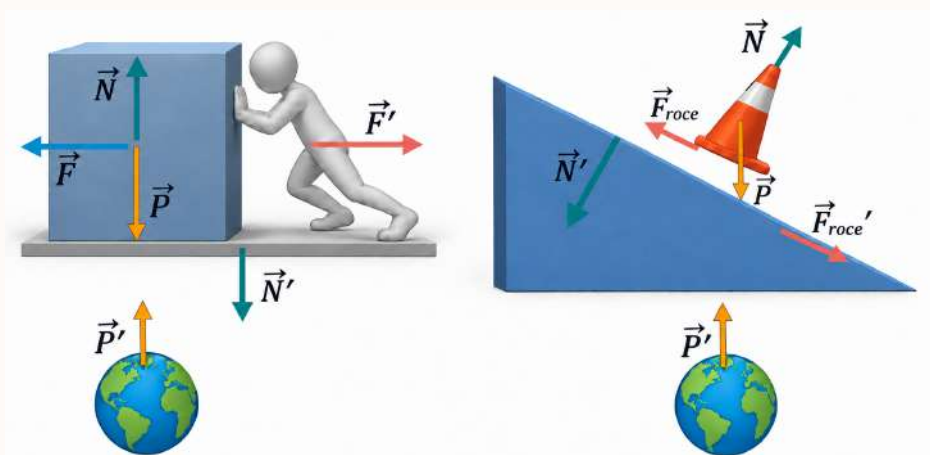


Figura 3.9: Fuerzas y reacciones sobre un ropero arrastrado y sobre un cono en una rampa.

3.4. Ley de Gravitación Universal

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:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3.6)$$

Donde $G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$ es la llamada Constante de Gravitación Universal.

Si esta ley nos dice que entre dos cuerpos, por el sólo hecho de ser masivos, existe una fuerza de atracción entre ellos, ¿por qué no estamos pegados al compañero?

Si realizamos el cálculo de la fuerza de atracción, suponiendo que:

- Masa de la chica: $m_1 = 60 \text{ kg}$
- Masa del chico: $m_2 = 80 \text{ kg}$
- Separación entre ellos: $r = 1 \text{ m}$

resulta:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = 6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{60 \text{ kg} \cdot 80 \text{ kg}}{(1 \text{ m})^2} = 3,2 \times 10^{-7} \text{ N}$$

Debido a que el valor de la fuerza de atracción es muy chico no estamos “todos amontonados”.

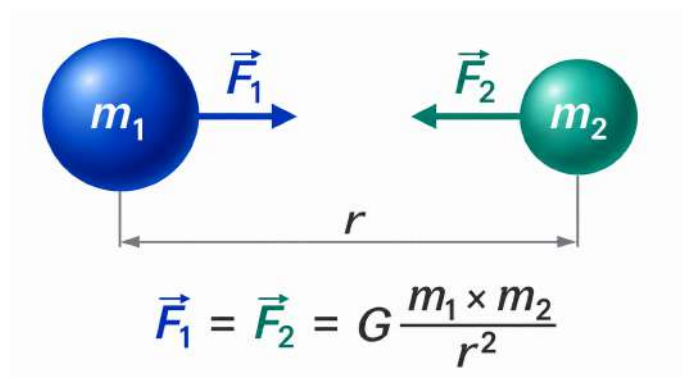


Figura 3.10: Ley de Gravitación Universal entre dos masas m_1 y m_2 separadas una distancia r .

3.5. Aceleración de la gravedad

La expresión de la ley de gravitación universal nos explica, además, por qué los cuerpos tienen peso; simplemente llamamos **peso a la fuerza con que la Tierra atrae a cada uno de los cuerpos**.

Imaginemos un hombre sobre la superficie de la Tierra...como nosotros.

De acuerdo a la ley de atracción universal, existe entre el hombre y la Tierra una fuerza de atracción F entre ellos, que está dada por la expresión:

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

En este caso uno de los cuerpos es la Tierra, cuya masa es M_T y la del hombre es m . El hombre al estar sobre la superficie de la Tierra, la distancia de separación entre el centro de la Tierra y el hombre es el radio de la Tierra: R_T , quedando entonces:

$$F = \left(G \frac{M_T}{R_T^2} \right) m$$

Ahora bien,

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

Por lo tanto, el **término entre paréntesis es constante**, que se denomina **aceleración de la gravedad y se simboliza con la letra g** :

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

El valor de g es variable según las regiones del planeta en que nos encontramos. Varía con la altitud, porque varía el valor medido del radio terrestre; varía con la latitud, por la no esfericidad perfecta de la Tierra que es un esferoide y no una esfera, y varía con las características del subsuelo, ya que en las zonas donde la densidad es mayor la atracción es mayor. Esto último es tan importante que uno de los métodos para la búsqueda de petróleo se basa en la variación del valor de g , ya que la densidad del petróleo es menor que la del agua cuando los valores de g son reducidos hay posibilidades que haya petróleo en la zona.



Si, como dijimos, llamamos **peso a la fuerza con que la Tierra atrae un cuerpo**, de lo expresado anteriormente:

$$P = m \cdot g \quad (3.7)$$



Figura 3.11: Fuerza de atracción gravitatoria sobre un cuerpo en la superficie terrestre.

Acá debemos destacar una diferencia importante entre el lenguaje coloquial y el lenguaje técnico de la física. Cuando vamos a un almacén y compramos un “kilo” de azúcar pretendemos que el almacenero lo “pese”. Seguramente vamos a seguir hablando así en el almacén, pero desde el punto de vista de la física lo que el almacenero hace es “masar” un “kilogramo” de azúcar ya que las balanzas determinan masas y no pesos que se deben determinar con un dinamómetro. Por otra parte, si el almacenero realmente vendiera al peso dependeríamos del valor de g en el lugar.

Esta costumbre ha originado un sistema de unidades antiguo y totalmente en desuso denominado “técnico” donde las magnitudes fundamentales elegidas son longitud, fuerza y tiempo y las unidades respectivas son el metro, el segundo y el “kilo fuerza” tomando el peso de la unidad de masa del Sistema Internacional cuando el valor de g es $9,8 \frac{m}{s^2}$. En consecuencia la relación entre un kilogramo fuerza y un Newton es:

$$1 \text{ kgf} = 9,8 \text{ N}$$

Esto origina una fuerte confusión ya que el mismo objeto, la masa patrón, sirve de unidad para dos magnitudes diferentes en dos sistemas de unidades distintos que tienen el mismo nombre. Para evitar semejante confusión algunos autores llaman al kilo fuerza kilopondio. Nosotros evitaremos la confusión simplemente cumpliendo con la ley que obliga desde hace más de veinte años a usar el Sistema Internacional.

Cuestiones

- A Si se tiene un cuerpo sobre el que no actúan fuerzas, ¿permanece en reposo?
- B Si una partícula se mueve con velocidad constante, ¿es porque no actúan fuerzas sobre ella?
- C Si sólo actúa una fuerza sobre un cuerpo ¿deberá este acelerarse? ¿Puede tener velocidad cero? ¿Es posible que un objeto describa una curva cualquiera sin que se ejerza una fuerza?
- D Si la aceleración de la gravedad en la Luna es un sexto de la terrestre, ¿cuál es la masa en la Luna de una persona que en la Tierra tiene una masa de 80 kg?
- E Al izar un cuerpo pesado con una cuerda que tiene la resistencia justa para sostenerlo, debe tirarse con cuidado, pues si se da un tirón fuerte la cuerda se romperá. ¿Por qué?
- F Ud. ingresa a un laboratorio de física y encuentra un objeto cilíndrico, pequeño, de color amarillo que tiene grabado “500 g” y alguien le dice que es una pesa. ¿Puede Ud. explicar qué significan esos 500 g y qué aplicación tiene ese objeto?
- G Utilizando la primera ley de Newton explique:
 - a) ¿Por qué el cuerpo de un pasajero parado en el pasillo de un ómnibus es despedido hacia atrás cuando el ómnibus acelera a partir del reposo?
 - b) Un hombre está parado en el pasillo de un ómnibus que va por la calle a una cierta velocidad v . El ómnibus frena bruscamente ¿qué le pasa al hombre? ¿Por qué?
 - c) ¿Qué le ocurre al pasajero de un ómnibus que da vuelta una curva con velocidad de módulo constante?
- H Si la acción y la reacción son siempre iguales en magnitud y sentido opuesto ¿por qué no se anulan mutuamente de modo que no quede fuerza para acelerar el cuerpo?
- I “No es la caída lo que lesiona; es la parada repentina contra el suelo”. Tradúzcase este dicho al lenguaje de las leyes de Newton del movimiento.
- J Un burro se niega a arrastrar un carro con el siguiente pretexto: “según la tercera ley de Newton, la fuerza que yo ejerzo sobre el carro es siempre igual y opuesta a la que el carro hace sobre mí, luego si nunca puedo ejercer sobre el carro una fuerza mayor que la que él ejerce sobre mí, ¿cómo puedo ponerlo en movimiento?” Explíquelo al burro que no tiene razón.
- K Cuando se acelera un automóvil partiendo del reposo ¿dónde se encuentra la fuerza aplicada al mismo que le comunica su aceleración? ¿Qué otro cuerpo ejerce esta fuerza?



12. La constante de gravitación universal G ¿sería diferente si la midiéramos en otro planeta?
13. La tensión en la cuerda a que está atada la masa m en la Figura 3.12 es $T = mg/2$. La aceleración de la masa m es:
- a) $g/2$, dirigida hacia abajo.
 - b) $g/2$, dirigida hacia arriba.
 - c) $3g/2$, dirigida hacia abajo.
 - d) Ninguna de las anteriores.

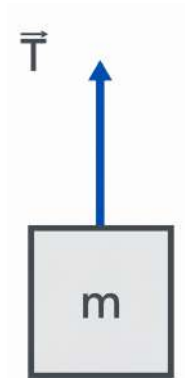


Figura 3.12: Masa m atada a una cuerda con tensión T .

Problemas

1. Realice un diagrama de cuerpo libre correspondiente a:
 - a) Un cuerpo en caída libre.
 - b) Un cuerpo en tiro vertical ascendente.
 - c) Un cuerpo en reposo sobre una mesa.
 - d) Un cuerpo suspendido de una soga sujeta al techo.
2. Realice los diagramas de cuerpo libre y determine los pares de acción y reacción para cada uno de los siguientes casos. Indique las fuerzas que actúan sobre los cuerpos y sobre los vínculos en cada caso.

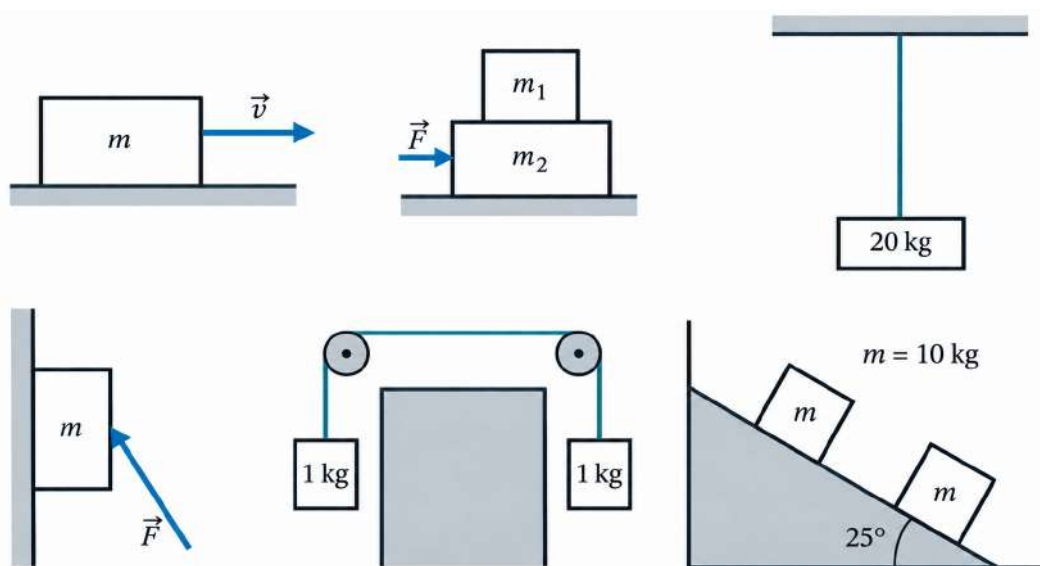
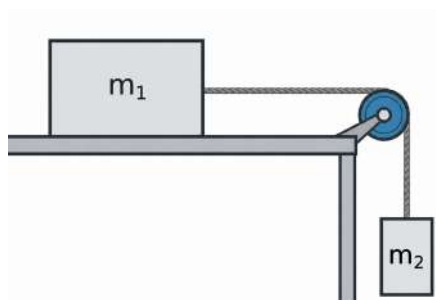


Figura 3.13: Esquemas del problema 2 para realizar los diagramas de cuerpo libre y pares de interacción.

3. Sobre una mesa sin rozamiento se tienen dos bloques de masa 3 kg y 5 kg conectados por una cuerda de masa despreciable y el de 5 kg es tirado por una segunda cuerda horizontal que realiza una fuerza $F = 10 \text{ N}$. Determine la aceleración de cada uno de los bloques y la tensión a la que está sometida cada una de las cuerdas.
4. Un bloque cuelga de una cuerda que pasa por una polea sin rozamiento y está conectada a otro bloque situado sobre una superficie sin rozamiento. Determine la aceleración de cada uno de los bloques y la tensión de la cuerda si $m_1 = m_2 = 10 \text{ kg}$.



5. Analice el peso aparente de una persona que se encuentra en un ascensor en todos los casos posibles, algunos de los cuales son:
- a) Ascensor en reposo.
 - b) Ascensor con velocidad constante hacia arriba.
 - c) Ascensor con aceleración hacia arriba.
 - d) Ascensor con velocidad constante hacia abajo.
 - e) Todos los demás casos que hay.
6. Determine la aceleración de una persona durante el acto de saltar verticalmente para arriba. Determine cualitativamente los pares de acción y reacción.
7. Dos bloques se encuentran en contacto de manera que uno es empujado por una fuerza horizontal y a su vez empuja a otro. Determine el valor de la fuerza de contacto entre ellos si la superficie sobre la que se desplazan no tiene rozamiento.

$$F = 150 \text{ N} \quad m_1 = 10 \text{ kg} \quad m_2 = 20 \text{ kg}$$

8. Dos cuerpos de masa m_1 y m_2 penden de los extremos de una cuerda sin masa que pasa por una polea sin masa y sin rozamiento. Determine la aceleración del sistema y la tensión en la cuerda.

$$m_1 = 10 \text{ kg} \quad m_2 = 20 \text{ kg}$$

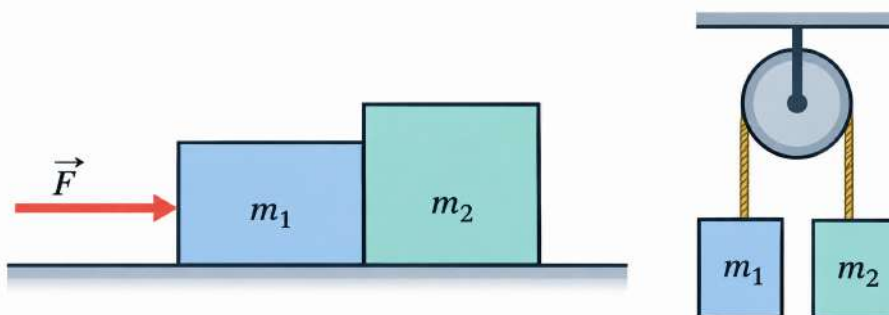


Figura 3.14: Esquemas de los problemas 7 y 8: dos bloques en contacto y máquina de Atwood.

Respuestas

1. Diagramas de cuerpo libre e interacciones:

- Cuerpo en caída libre:** Sobre el cuerpo actúa únicamente su peso $\vec{P}$ (ejercido por la Tierra hacia abajo). La reacción $\vec{P}'$ se aplica en el centro de la Tierra (hacia arriba).
- Cuerpo en tiro vertical ascendente:** Despreciando el rozamiento con el aire, la única fuerza actuante durante el ascenso es su peso $\vec{P}$ (hacia abajo). Su reacción $\vec{P}'$ se aplica sobre la Tierra (hacia arriba).
- Cuerpo en reposo sobre una mesa:** Sobre el cuerpo actúan su peso $\vec{P}$ (hacia abajo) y la fuerza normal $\vec{N}$ ejercida por la mesa (hacia arriba). Pares de acción y reacción: $\vec{P}$ sobre el cuerpo y $\vec{P}'$ sobre la Tierra; $\vec{N}$ sobre el cuerpo y $\vec{N}'$ sobre la mesa.
- Cuerpo suspendido de una soga:** Sobre el cuerpo actúan su peso $\vec{P}$ (hacia abajo) y la tensión $\vec{T}$ de la soga (hacia arriba). Pares de acción y reacción: $\vec{P}$ sobre el cuerpo y $\vec{P}'$ sobre la Tierra; $\vec{T}$ sobre el cuerpo y $\vec{T}'$ sobre la soga.

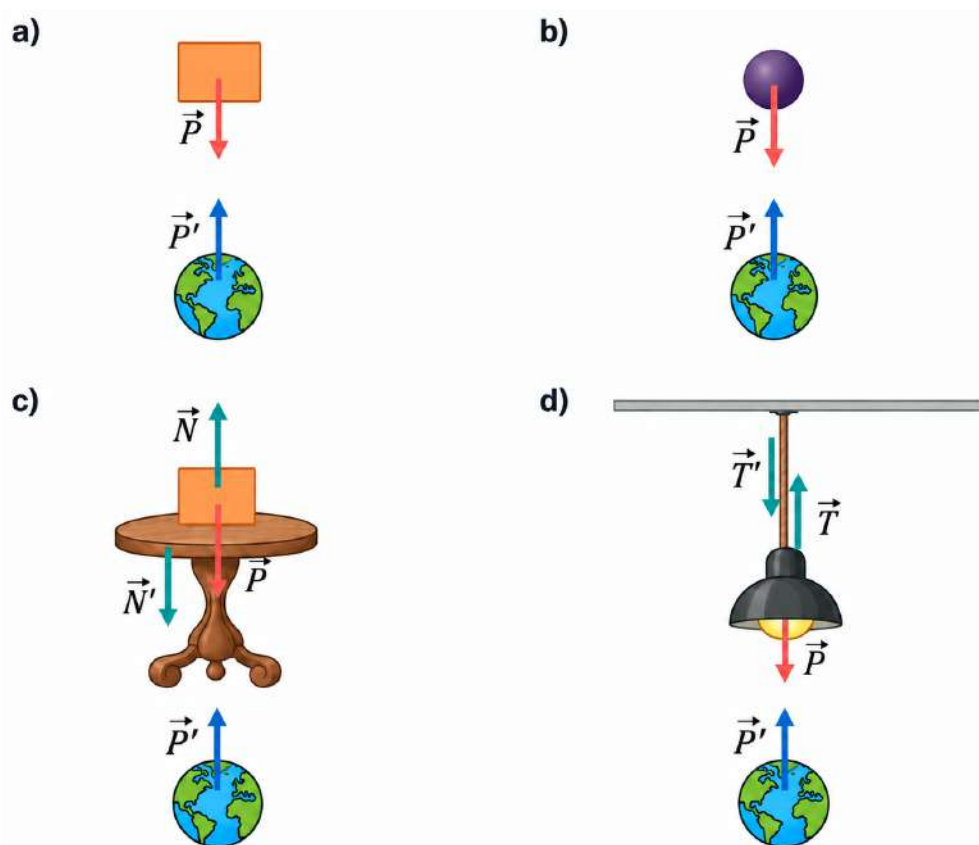


Figura 3.15: Diagramas de cuerpo libre y pares de reacción para los cuatro casos del problema 1.

2. Los diagramas de cuerpo libre y pares de acción y reacción se determinan de

forma análoga al problema 1, identificando las fuerzas normales, pesos, tensiones y fuerzas de contacto junto con sus respectivas reacciones sobre la Tierra y los vínculos correspondientes.

3. **Bloques conectados sobre mesa sin rozamiento** ($m_1 = 3 \text{ kg}$, $m_2 = 5 \text{ kg}$, $F = 10 \text{ N}$):

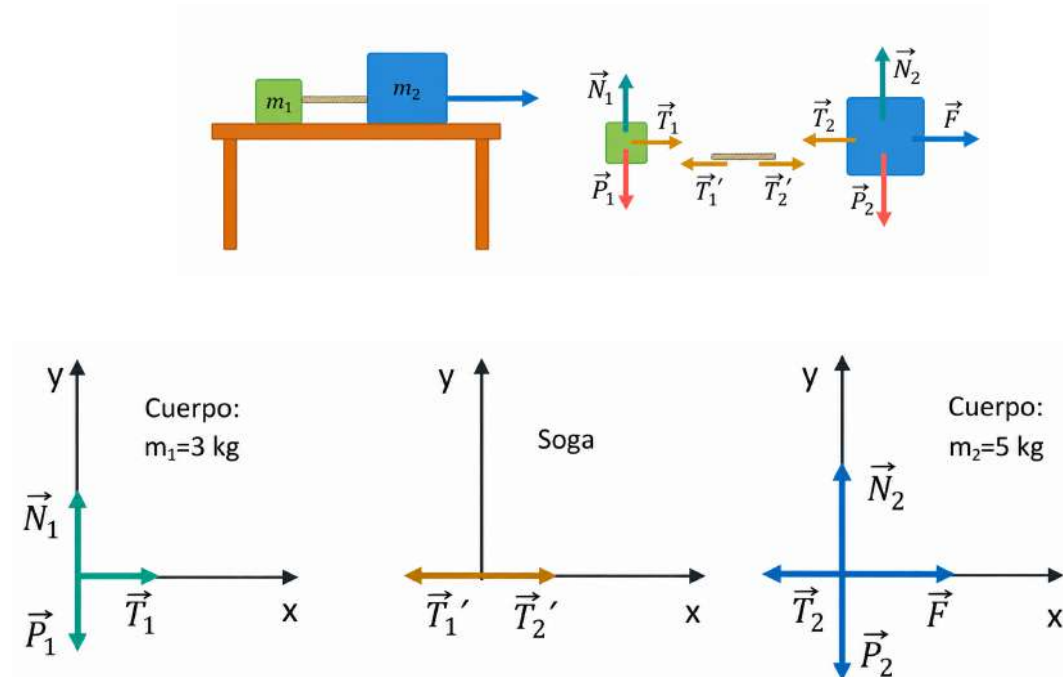


Figura 3.16: Diagramas de cuerpo libre en ejes cartesianos para los cuerpos m_1 , soga y m_2 .

Planteamos la 2ª Ley de Newton para los cuerpos en estudio m_1 y m_2 :

- **Cuerpo $m_1 = 3 \text{ kg}$:** Este cuerpo solamente se desplaza en forma horizontal (paralela al eje x), por lo tanto, no tiene movimiento en el eje y :

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N_1 - P_1 = 0 \Rightarrow N_1 = P_1 = m_1 \cdot g = 3 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 29,4 \text{ N}$$

$$\sum F_x = m_1 \cdot a_1 \Rightarrow T_1 = 3 \text{ kg} \cdot a_1 \quad (\text{Ecuación con dos incógnitas})$$

- **Cuerpo $m_2 = 5 \text{ kg}$:** Este cuerpo solamente se desplaza en forma horizontal (paralela al eje x), por lo tanto, no tiene movimiento en el eje y :

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N_2 - P_2 = 0 \Rightarrow N_2 = P_2 = m_2 \cdot g = 5 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 49 \text{ N}$$

$$\sum F_x = m_2 \cdot a_2 \Rightarrow F - T_2 = 5 \text{ kg} \cdot a_2 \Rightarrow 10 \text{ N} - T_2 = 5 \text{ kg} \cdot a_2 \quad (\text{Ecuación con dos incógnitas})$$

Hasta aquí no podemos resolver el problema pues tenemos 2 ecuaciones y 4 incógnitas. Analicemos el problema:

Los bloques están unidos por una cuerda $\Rightarrow a_1 = a_2 = a$

$$\begin{cases} T_1 = 3 \text{ kg} \cdot a \\ 10 \text{ N} - T_2 = 5 \text{ kg} \cdot a \end{cases} \quad \text{Dos ecuaciones, 3 incógnitas} \Rightarrow \text{no se puede resolver}$$

¿Para qué el enunciado nos dice que la soga que une los cuerpos tiene masa despreciable? Analicemos la soga que une los cuerpos planteando la 2° Ley de Newton: Como la masa de la soga es despreciable, el peso de la misma es prácticamente nulo ($P_{\text{soga}} \approx 0$), de modo que no hay fuerzas actuando en la dirección y ($\sum F_y = 0$). En la dirección horizontal:

$$\sum F_x = m_{\text{soga}} \cdot a_{\text{soga}} \Rightarrow T'_2 - T'_1 = m_{\text{soga}} \cdot a_{\text{soga}}$$

Como $m_{\text{soga}} \approx 0$:

$$T'_2 - T'_1 = 0 \Rightarrow T'_1 = T'_2$$

Ahora bien, T_1 y T'_1 , así como T_2 y T'_2 representan pares de fuerza acción-reacción, por lo tanto:

$$T_1 = T'_1 \quad \text{y} \quad T_2 = T'_2 \Rightarrow T_1 = T_2 = T$$

Quedando ahora las ecuaciones a resolver de la siguiente forma:

$$\begin{cases} T = 3 \text{ kg} \cdot a \\ 10 \text{ N} - T = 5 \text{ kg} \cdot a \end{cases} \quad \text{Dos ecuaciones, 2 incógnitas} \Rightarrow \text{se puede resolver}$$

Utilizando el método de sustitución:

$$10 \text{ N} - 3 \text{ kg} \cdot a = 5 \text{ kg} \cdot a \Rightarrow 10 \text{ N} = 5 \text{ kg} \cdot a + 3 \text{ kg} \cdot a \Rightarrow 10 \text{ N} = 8 \text{ kg} \cdot a$$

$$a = \frac{10 \text{ N}}{8 \text{ kg}} = 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Reemplazando, obtenemos T :

$$T = 3 \text{ kg} \cdot a = 3 \text{ kg} \cdot 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3,75 \text{ N}$$

4. Bloque apoyado y bloque colgando ($m_1 = m_2 = 10 \text{ kg}$):

$$a = 4,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; \quad T = 49 \text{ N}$$

5. Peso aparente en un ascensor: Para resolver este problema supongamos un hombre de masa m que está de pie sobre una balanza sujeta al suelo de un ascensor. La balanza está calibrada en Newtons. La lectura de la balanza es el módulo de la fuerza normal N ejercida por la balanza sobre el hombre, lo que sería el peso aparente que debemos calcular en cada caso:



a) **Ascensor en reposo:** $v = 0 \Rightarrow a = 0$. Por lo tanto:

$$\sum F = 0 \Rightarrow N - P = 0 \Rightarrow N = P = m \cdot g$$

b) **Ascensor con velocidad constante hacia arriba:** $v = \text{cte} \Rightarrow a = 0$. Por lo tanto:

$$\sum F = 0 \Rightarrow N - P = 0 \Rightarrow N = P = m \cdot g$$

(El mismo resultado se obtiene con velocidad constante hacia abajo).

c) **Ascensor con aceleración constante hacia arriba:**

$$\sum F = m \cdot a \Rightarrow N - P = m \cdot a \Rightarrow N = m \cdot a + P$$

$$N = m(a + g) \quad \text{El peso aparente es mayor que el real}$$

d) **Ascensor con aceleración constante hacia abajo:**

$$\sum F = m \cdot a \Rightarrow N - P = -m \cdot a \Rightarrow N = -m \cdot a + P$$

$$N = m(g - a) \quad \text{El peso aparente es menor que el real}$$

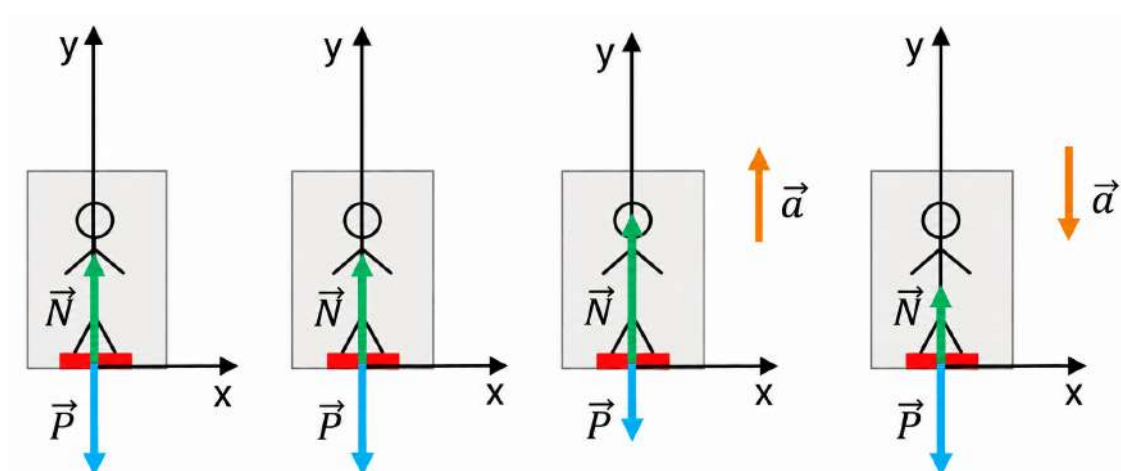


Figura 3.17: Peso aparente de una persona en un ascensor: a) reposo, b) velocidad constante, c) aceleración constante hacia arriba, d) aceleración constante hacia abajo.

6. **Aceleración al saltar verticalmente:** Cuando saltamos hacemos fuerza hacia abajo...entonces, ¿por qué nos alejamos del suelo? Analicemos las fuerzas involucradas en la persona:

- $\vec{P}$: peso de la persona.
- $\vec{F}$: fuerza que el suelo ejerce sobre la persona.

Esta fuerza $\vec{F}$ es la reacción a la fuerza que hacemos sobre el suelo para saltar:

$$\sum F = m \cdot a \Rightarrow F - P = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F - P}{m}$$

7. **Dos bloques en contacto empujados por una fuerza horizontal** ($F = 150 \text{ N}$, $m_1 = 10 \text{ kg}$, $m_2 = 20 \text{ kg}$):

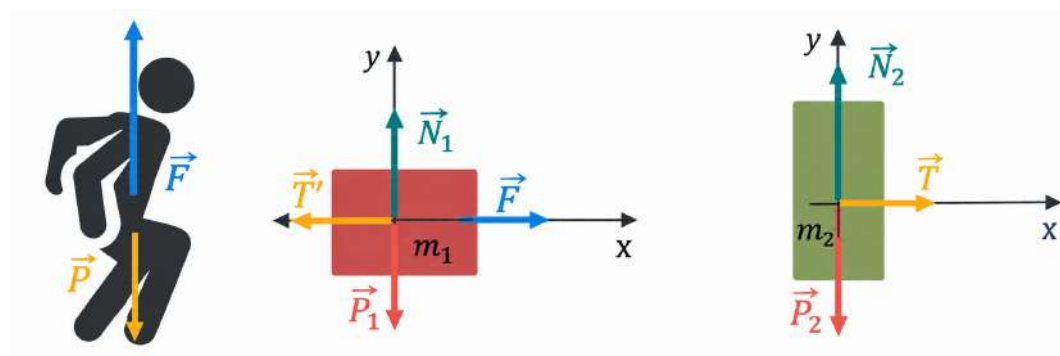


Figura 3.18: Diagramas para las respuestas de los problemas 6 (salto vertical) y 7 (bloques en contacto).

Como observamos en los diagramas de cuerpo libre de ambos cuerpos, $\vec{T}$ y $\vec{T}'$ (fuerzas de contacto mutuo entre bloques) son un par acción-reacción, por lo tanto $T = T'$. Como ambos cuerpos se encuentran en contacto, tendrán la misma aceleración:

$$a_1 = a_2 = a$$

Escribimos la 2ª Ley de Newton para ambos cuerpos:

- **Cuerpo $m_1 = 10 \text{ kg}$:** Este cuerpo solamente se desplaza en forma horizontal (paralela al eje x), por lo tanto, no tiene movimiento en el eje y :

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N_1 - P_1 = 0 \Rightarrow N_1 = P_1 = m_1 \cdot g = 10 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 98 \text{ N}$$

$$\sum F_x = m_1 \cdot a_1 \Rightarrow F - T = 10 \text{ kg} \cdot a \Rightarrow 150 \text{ N} - T = 10 \text{ kg} \cdot a \quad (\text{Ecuación con dos incógnitas})$$

- **Cuerpo $m_2 = 20 \text{ kg}$:** Este cuerpo solamente se desplaza en forma horizontal (paralela al eje x), por lo tanto, no tiene movimiento en el eje y :

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N_2 - P_2 = 0 \Rightarrow N_2 = P_2 = m_2 \cdot g = 20 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 196 \text{ N}$$

$$\sum F_x = m_2 \cdot a_2 \Rightarrow T = 20 \text{ kg} \cdot a \quad (\text{Ecuación con dos incógnitas})$$

Resolvemos el sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$\begin{cases} 150 \text{ N} - T = 10 \text{ kg} \cdot a \\ T = 20 \text{ kg} \cdot a \end{cases}$$

Utilizando el método de sustitución para resolver el sistema:

$$150 \text{ N} - 20 \text{ kg} \cdot a = 10 \text{ kg} \cdot a \Rightarrow 150 \text{ N} = 10 \text{ kg} \cdot a + 20 \text{ kg} \cdot a \Rightarrow 150 \text{ N} = 30 \text{ kg} \cdot a$$



$$a = \frac{150 \text{ N}}{30 \text{ kg}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Reemplazando en la segunda ecuación, obtenemos la fuerza de contacto T :

$$T = 20 \text{ kg} \cdot a = 20 \text{ kg} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 100 \text{ N}$$

8. **Máquina de Atwood** ($m_1 = 10 \text{ kg}$, $m_2 = 20 \text{ kg}$):

$$a = 3,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; \quad T = 130,7 \text{ N}$$