

Dinámica de la partícula puntual

En este capítulo usaremos los conceptos de desplazamiento, velocidad y aceleración vistos en cinemática junto con dos conceptos nuevos que son fuerza y masa para analizar los principios de la dinámica, los cuales se resumen en tres leyes de movimiento que son la base de la mecánica clásica: *las leyes de Newton*. Cuando estudiamos cinemática, analizamos el movimiento de los cuerpos sin darle importancia a por qué estos cuerpos se mueven. La dinámica es la rama de la física que estudia las causas del movimiento de los cuerpos.

Fuerza e interacciones

En la experiencia de la vida cotidiana una fuerza es un empujón o un tirón. Cuando ejercemos fuerzas podemos producir el movimiento de un objeto o simplemente mantenerlo en reposo. Por ejemplo, si pateamos una pelota o levantamos una caja de zapatos, en ambos casos se produce el movimiento de los objetos. Si empujamos un ropero muy pesado es probable que no logremos moverlo. Entonces podemos entender el concepto de fuerza como toda acción capaz de mantener en equilibrio o cambiar el estado de un cuerpo. **Se debe considerar que una fuerza aparece cuando existe como mínimo una interacción entre dos cuerpos o entre un cuerpo y su entorno.**

Todas las distintas fuerzas que se observan en la naturaleza pueden explicarse en función de cuatro interacciones básicas que ocurren entre partículas elementales:

1. Fuerza gravitatoria: fuerza de atracción mutua entre los objetos.
2. Fuerza electromagnética: fuerza entre las cargas eléctricas.
3. Fuerza nuclear fuerte: fuerza entre partículas subatómicas.
4. Fuerza nuclear débil: fuerza entre partículas subatómicas durante algunos procesos radiactivos.

Las fuerzas cotidianas que observamos entre cuerpos macroscópicos se deben a la fuerza gravitatoria o a la fuerza electromagnética.

Leyes de Newton

Las leyes de Newton no pueden deducirse ni demostrarse a partir de otros principios, son leyes obtenidas a partir de un montón de pruebas experimentales. La gran importancia de las leyes de Newton radica en que permiten entender la mayor parte de los movimientos

comunes. Sin embargo, las leyes de Newton no son universales; requieren modificaciones a velocidades muy altas (cerca de la de la luz) y para tamaños pequeños (dentro del átomo).

A continuación enunciamos las tres leyes para luego analizar y entender cada una por separado.

Primera ley de Newton:

Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o la fuerza neta aplicada es igual a cero, el objeto permanecerá en reposo si estaba en reposo. Si se estaba moviendo, continuará en movimiento en línea recta con la misma velocidad constante.

Segunda ley de Newton:

Si una fuerza neta externa, \vec{F}_{Neta} , actúa sobre un objeto de masa m , la fuerza causará una aceleración \vec{a} , en la misma dirección que la fuerza:

$$\vec{F}_{Neta} = m \vec{a}$$

Tercera ley de Newton:

Si el cuerpo A ejerce una fuerza sobre el cuerpo B (una “acción”) entonces B ejerce una fuerza sobre A (una “reacción”) Estas fuerzas tienen la misma magnitud pero dirección opuesta y actúan sobre **diferentes** cuerpos:

$$\vec{F}_{A \text{ sobre } B} = - \vec{F}_{B \text{ sobre } A}$$

A continuación analizaremos algunos ejemplos y aplicaciones para poder entender mejor estas tres leyes fundamentales.

Primera ley de Newton o Ley de inercia

Para entender la primera ley de Newton, comencemos analizando el movimiento de un disco sobre una mesa horizontal. Si aplicamos sobre el disco una fuerza horizontal con la mano, el

disco comenzará a moverse hasta que en algún momento, si dejamos de empujarlo, se detendrá. Ahora imaginemos que le aplicamos la misma fuerza al disco pero lo hacemos deslizar sobre la superficie de un piso recién encerado. El disco recorrerá una distancia mucho mayor (comparado con su movimiento en la mesa) antes de detenerse. Si ahora colocamos el disco en una mesa del estilo de las mesas de tejo (Figura 1a), donde flota sobre un “colchón” de aire, el disco recorrerá una distancia aún mayor antes de frenarse. En cada caso lo que frena al disco es la fricción, una interacción entre la superficie inferior del disco y la superficie sobre la cual desliza (más adelante discutiremos más sobre esta interacción). Toda superficie ejerce una fuerza de fricción sobre el disco, la cual reduce su movimiento; la diferencia entre los tres casos es la magnitud de la fuerza de fricción. Cuanto menor sea esta fuerza de fricción, menos se frena el disco y mayor distancia recorre. Es por eso que para que el juego de tejo de mesa (o “hockey de aire”) sea divertido y dinámico, necesitamos una mesa con un colchón de aire de modo que el disco interactúe con las moléculas de aire (y no con la mesa) y la fuerza de fricción entre ambos sea mínima. Imagínense jugar al tejo en una mesa de madera, sería un juego bastante estático y aburrido (si no lo conocen acá pueden ver una [final de campeonato de tejo de mesa](#)).

Otro deporte que utiliza un principio parecido es el [Curling](#) (Figura 1b), donde el juego también hace uso de la mínima fricción entre las superficies de la piedra de granito y la pista de hielo. Si pudiéramos eliminar totalmente la fricción, el disco o la piedra nunca se detendrían y no necesitaríamos fuerza alguna para mantener el cuerpo en movimiento.

Esta experiencia y otras similares demuestran que **si ninguna fuerza neta actúa sobre un cuerpo, éste permanece en reposo o bien moviéndose con velocidad constante en línea recta** (y esto es efectivamente lo que nos dice la Primera Ley de Newton).

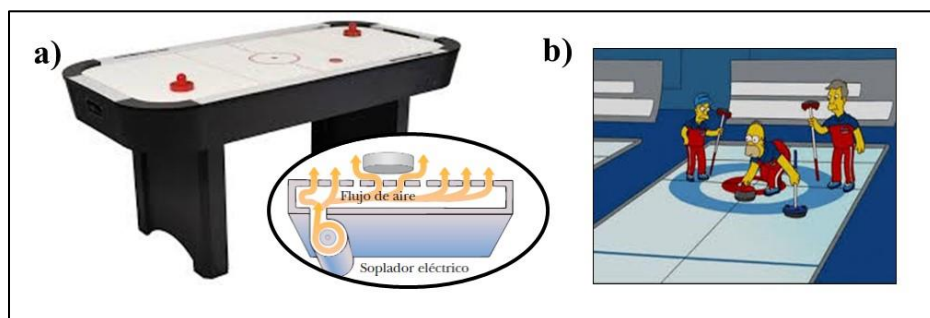


Figura 1. a) Juego de tejo de mesa o hockey de aire, b) Curling. En ambos juegos se disminuye la fuerza de fricción para permitir el movimiento continuo del disco o la piedra. Si la fuerza de fricción fuese cero el disco y la piedra se moverían con velocidad constante y nunca se detendrían.

Es de relevancia destacar que lo que importa en la primera ley de Newton es la **fuerza neta**. Sobre el cuerpo pueden actuar varias fuerzas, sin embargo, solo permanecerá en reposo o se moverá con velocidad constante si la fuerza neta (es decir la suma de todas las fuerzas aplicadas) es cero.

Si sobre un cuerpo no actúan fuerzas o actúan varias fuerzas cuya resultante es cero, decimos que el cuerpo está en equilibrio. **En equilibrio el cuerpo está en reposo o se mueve con velocidad constante:**

1^{RA} Ley de Newton (en símbolos)

Cuerpo en equilibrio $\Leftrightarrow \sum \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{v} = \text{constante}$ (en particular puede ser $\vec{v} = 0$)

Concepto de inercia

La primera ley de Newton a veces también se conoce como ley de inercia. Se llama inercia a la tendencia de un objeto a resistir cualquier intento por cambiar su estado de movimiento.

Por ejemplo, cuando viajamos en auto y este frena o acelera, nos vamos hacia adelante o hacia atrás debido a que nuestros cuerpos tienden a seguir moviéndose con el movimiento que teníamos inicialmente (Figura 2 a-b). La tendencia de un cuerpo en reposo a mantenerse en reposo también se debe a la inercia. Un ejemplo, es el famoso truco de sacar un mantel apoyado en una mesa de un tirón sin tirar la vajilla que está arriba (Figura 2 c). La fuerza ejercida sobre la vajilla no basta para moverla mucho durante el corto tiempo que toma retirar el mantel. Como la vajilla inicialmente está en reposo continuará en reposo. Para que el truco funcione, el tirón debe ser rápido y preciso. Puede salir [BIEN](#) o puede salir [MAL](#).

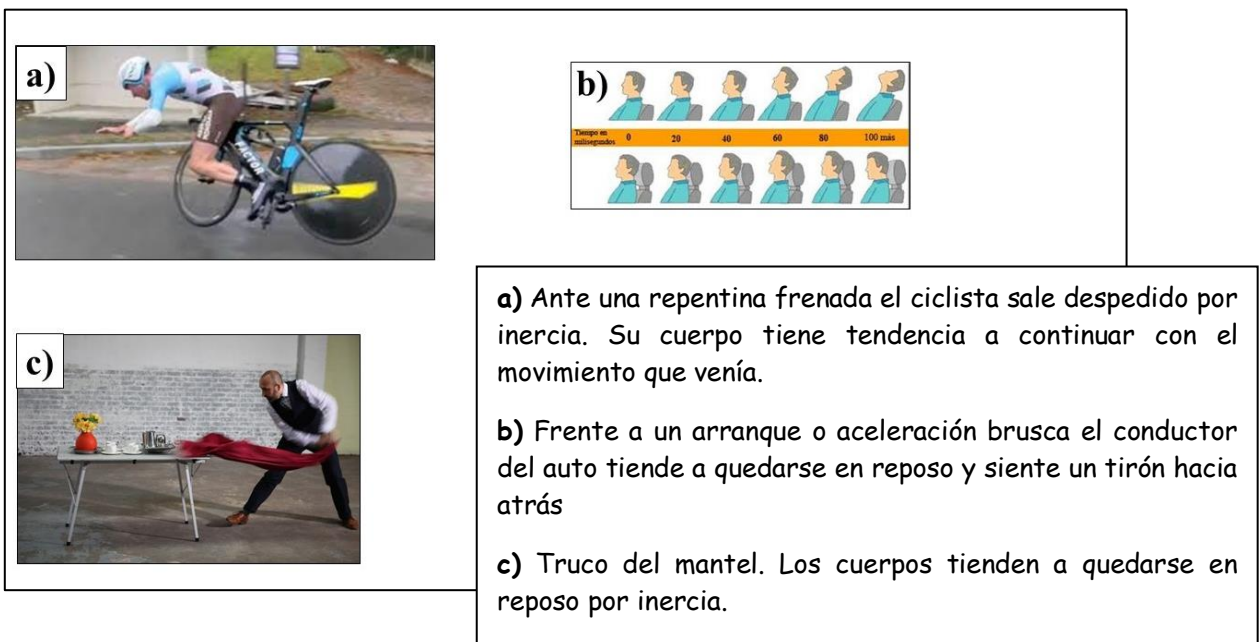


Figura 2. Algunos ejemplos de cómo influye la inercia en el movimiento de los cuerpos

Segunda Ley de Newton

La Primera Ley de Newton nos dice que cuando ninguna fuerza o una fuerza neta igual a cero actúa sobre un cuerpo, éste se mueve con velocidad constante, en particular puede estar en reposo. Pero, ¿qué sucede cuando la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo es distinta de cero?

La segunda Ley de Newton nos dice que la magnitud de la aceleración de un objeto es proporcional a la magnitud de la fuerza neta externa que actúa sobre él.

$$\vec{F}_{Neta} = m \vec{a} \quad (1)$$

También nos dice que, para una fuerza externa dada, la magnitud de la aceleración es inversamente proporcional a la masa del objeto.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{Neta}}{m} \quad (2)$$

La conclusión es que la presencia de una fuerza neta sobre un cuerpo hace que este se acelere en la misma dirección que la de la fuerza neta. Además ante la aplicación de la misma fuerza neta los objetos más masivos son más difíciles de acelerar que los objetos menos masivos. Podemos concluir que la masa es una medida cuantitativa de la inercia. Cuanto mayor es la masa de un objeto más se “resiste” un cuerpo a ser acelerado. La Figura 3 muestra algunos ejemplos de la segunda ley.

Es importante notar que las ecuaciones de la primera y segunda ley son ecuaciones vectoriales, es decir, se cumplen independientemente para cada dirección de movimiento.

2^{DA} Ley de Newton
(en símbolos)

→

$$\sum \vec{F} = m \vec{a} \quad \Rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = m a_x \\ \sum F_y = m a_y \\ \sum F_z = m a_z \end{array} \right.$$

Utilizando la notación de derivadas la segunda ley de Newton puede escribirse como

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} (m \vec{v}) \quad (3)$$

Considerando la masa como una magnitud constante en el tiempo queda:

$$\sum \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (4)$$

Utilizando $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ recuperamos la ecuación (1).

La segunda ley de Newton también se aplica a sistemas con masa variable, como por ejemplo un avión que pierde combustible en su vuelo o un cohete que se mueve debido a la expulsión de gases que se producen en la cámara de combustión. En este curso nos acotaremos a los problemas donde la masa permanece constante.

Auto en movimiento: Durante el periodo de aceleración, la velocidad y la aceleración tienen el mismo signo y ambas apuntan en sentido positivo al igual que la fuerza neta. Cuando el conductor aplica los frenos, la fuerza neta sobre el auto es negativa, por lo tanto la aceleración también lo es, mientras que la velocidad sigue siendo positiva. Finalmente cuando el auto se detiene tanto la velocidad, aceleración y la fuerza neta son cero. En todo momento la fuerza neta y la aceleración tienen la misma dirección, independientemente de la dirección de movimiento del auto.

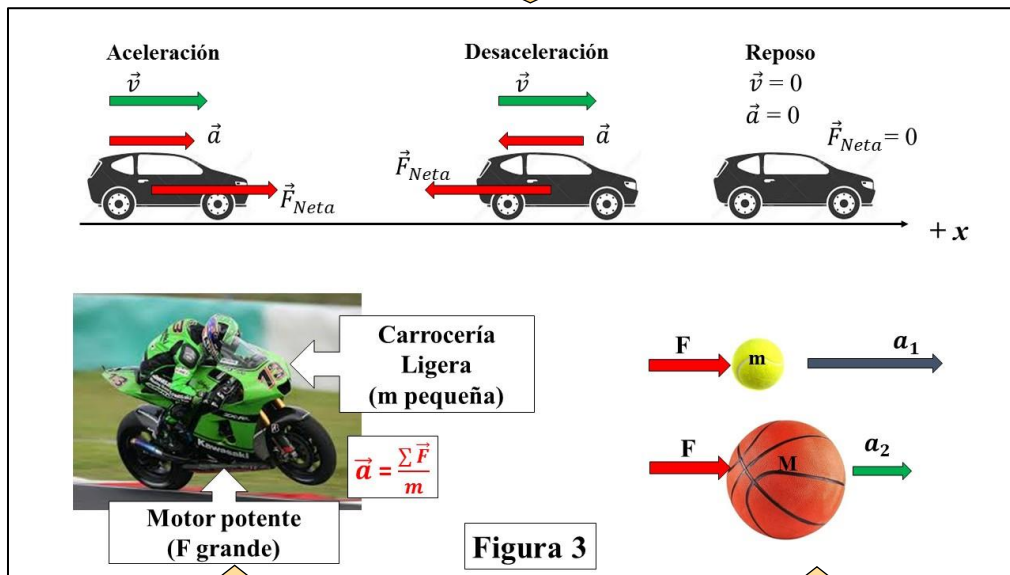


Figura 3

Motocicletas de alto desempeño. A fin de aumentar la aceleración hacia adelante, el diseñador hace a la moto lo más ligera posible y usa el motor más potente posible.

Si golpeamos una pelota de tenis y una de básquet con la misma fuerza, la pelota de básquet tendrá una aceleración menor debido a que su masa es mayor

Tercera Ley de Newton

La Tercera Ley de Newton nos dice que cuando dos cuerpos interactúan aparecen fuerzas iguales y de sentidos opuestos en cada uno de ellos. Por lo tanto **las fuerzas siempre vienen de a pares, llamados pares de acción y reacción (también pares de interacción)**.

Por ejemplo, la fuerza que actúa sobre un cuerpo en caída libre es la fuerza gravitacional que ejerce la Tierra sobre el cuerpo, \vec{F}_{TC} , y produce que el cuerpo se acelere con aceleración igual a \vec{g} . La reacción a esta fuerza es la fuerza gravitacional que ejerce el cuerpo sobre la Tierra, \vec{F}_{CT} (ver Figura 4a). La fuerza de reacción \vec{F}_{CT} debe acelerar a la Tierra hacia el cuerpo tal como la fuerza de acción \vec{F}_{TC} acelera al cuerpo hacia la Tierra. Sin embargo, debido a que la Tierra tiene una masa tan grande, la aceleración de la Tierra producida por esta fuerza de reacción es despreciablemente pequeña. Este ejemplo nos demuestra que fuerzas de igual valor no implica efectos iguales. Así, el efecto de la fuerza sobre el cuerpo es mucho más evidente que sobre la Tierra. Esto sucede en general, con el movimiento de todos los cuerpos sobre la superficie de la Tierra (incluyendo a las personas).

Por ejemplo, cuando realizamos un salto ejercemos una fuerza sobre la Tierra, la cual obviamente no genera un movimiento apreciable de la Tierra. Sin embargo la reacción a esta fuerza (fuerza que ejerce la Tierra sobre nosotros) es la que nos permite elevarnos hacia arriba. Cuando caminamos también estamos haciendo uso de la Tercera ley de Newton (Figura 4b). Podemos avanzar gracias a la fricción que existe entre el suelo y nosotros (pensemos en intentar caminar en una superficie de hielo). Cuando caminamos “empujamos a la Tierra hacia atrás” y la reacción de la Tierra sobre nuestros pies nos impulsa hacia adelante. La Figura 4 muestra algunos ejemplos de la tercera ley de Newton.

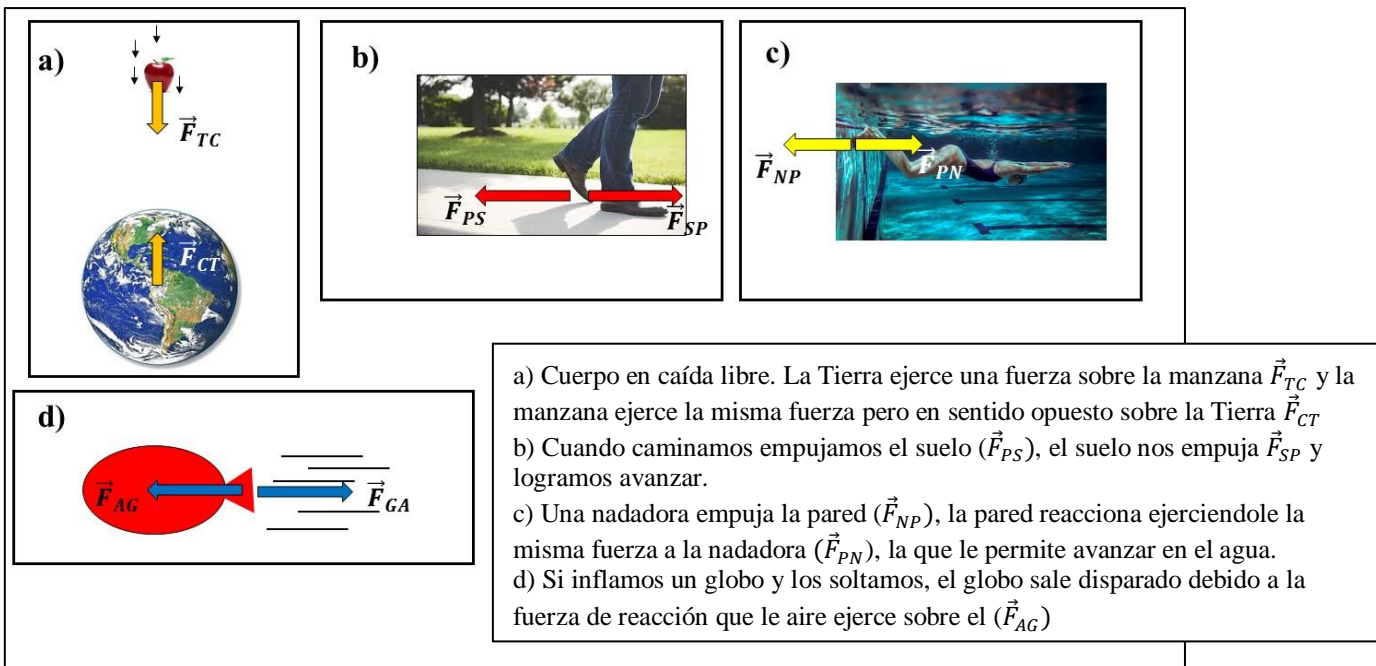


Figura 4. Ejemplos de la tercera ley de Newton.

Cuando estudiamos el movimiento de un único objeto vemos solo la mitad de los pares de fuerzas de acción y reacción. Todas las fuerzas aplicadas sobre el objeto tendrán sus pares de interacción en otros cuerpos. Este es un punto muy importante a destacar, ya que en general siempre lleva a confusión entre los estudiantes.

Los pares de acción y reacción se aplican sobre cuerpos distintos.

3^{RA} Ley de
Newton (en
símbolos)

Si \vec{F}_{AB} y \vec{F}_{BA} son pares de interacción cumplen:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$
 y además \vec{F}_{AB} y \vec{F}_{BA} **NO** están aplicadas sobre el mismo cuerpo.

\vec{F}_{AB} : Fuerza que ejerce el cuerpo A sobre el cuerpo B.
 \vec{F}_{BA} : Fuerza que ejerce el cuerpo B sobre el cuerpo A

La tercera ley de Newton es una consecuencia del requisito de que las fuerzas internas, es decir, las fuerzas que actúan entre diferentes componentes del mismo sistema, deben sumar cero; de otra manera, su suma contribuiría a una fuerza neta externa y causaría una aceleración, de acuerdo con la segunda ley de Newton. Ningún objeto ni grupo de objetos se puede acelerar por sí mismo sin interactuar con objetos externos.

Unidad de Fuerza

De la segunda Ley de Newton $\vec{F} = m \vec{a}$ podemos observar que la unidad de fuerza debe ser unidad de masa por unidad de aceleración:

$$[F] = [m] [a]$$

A continuación mencionamos las más comúnmente usadas:

Unidades de Fuerza

- En el Sistema Internacional (SI), la unidad de fuerza es el **newton** (N). Una fuerza de 1 N es la fuerza que, cuando actúa sobre un objeto de 1 kg de masa, produce una aceleración de 1 m/s². Entonces la unidad newton equivale a : $N = kg \frac{m}{s^2}$
- En el Sistema Técnico, la fuerza se mide en **kilogramo fuerza** (Kgf) y se cumple que **1 Kgf = 10 N**
- En el sistema inglés, la unidad de fuerza es la **libra** (lb). Se puede aproximar **1 lb ≈ 4,45 N**

Teniendo el concepto de las leyes de Newton ya podemos aplicarlas para la resolución de problemas. Antes de mostrar la aplicación, veremos algunos conceptos necesarios para la resolución de ejercicios de dinámica de una partícula e introduciremos algunas de las fuerzas más comunes con las que vamos a trabajar

Modelo de la partícula puntual

El modelo de estudio más simple es considerar el cuerpo como un punto (partícula puntual). Cuando consideramos un cuerpo como una partícula puntual estamos suponiendo que su estructura interna o movimientos internos son despreciables y que todas sus partes se mueven de la misma manera. Es decir, consideramos el cuerpo sin dimensiones (a diferencia del problema de cuerpo extenso) y suponemos que todas las fuerzas ejercidas sobre el cuerpo están aplicadas en un punto. Una consecuencia inmediata es que la partícula puntual solo puede tener movimientos de traslación, no puede, por ejemplo, rotar alrededor de un eje propio como sí lo puede hacer un cuerpo extenso.

Diagrama de cuerpo libre

En dinámica, antes de comenzar a resolver un ejercicio es conveniente realizar un diagrama que nos permita identificar de manera clara qué fuerzas están actuando sobre el objeto de estudio. El diagrama de cuerpo libre (D.C.L) es una representación gráfica del objeto donde se ignoran todas las conexiones con el resto del mundo y sólo se trazan los vectores fuerza que actúan sobre él.

En la Figura 5 se muestran algunos ejemplos. En cada caso aislamos el cuerpo de estudio, lo representamos por una partícula puntual y analizamos cuales son las interacciones con el entorno. Cada interacción la representamos por una fuerza.

Un paracaidista cayendo interactúa con la Tierra (interacción representada por la fuerza peso \vec{P}) y con el viento a través del paracaídas (interacción representada por la fuerza peso \vec{F}) (Figura 5a).

Un atleta en reposo en la prueba de dos argollas interactúa con la Tierra (interacción representada por la fuerza peso \vec{P}) y con las argollas y cuerda (interacción representada por la fuerza peso \vec{T}) (Figura 5a).

Una camioneta en reposo sobre un plano inclinado interactúa con la Tierra (interacción representada por la fuerza peso \vec{P}) y con el plano inclinado (interacción representada por las dos fuerzas \vec{N} y \vec{F}_{ROZ})

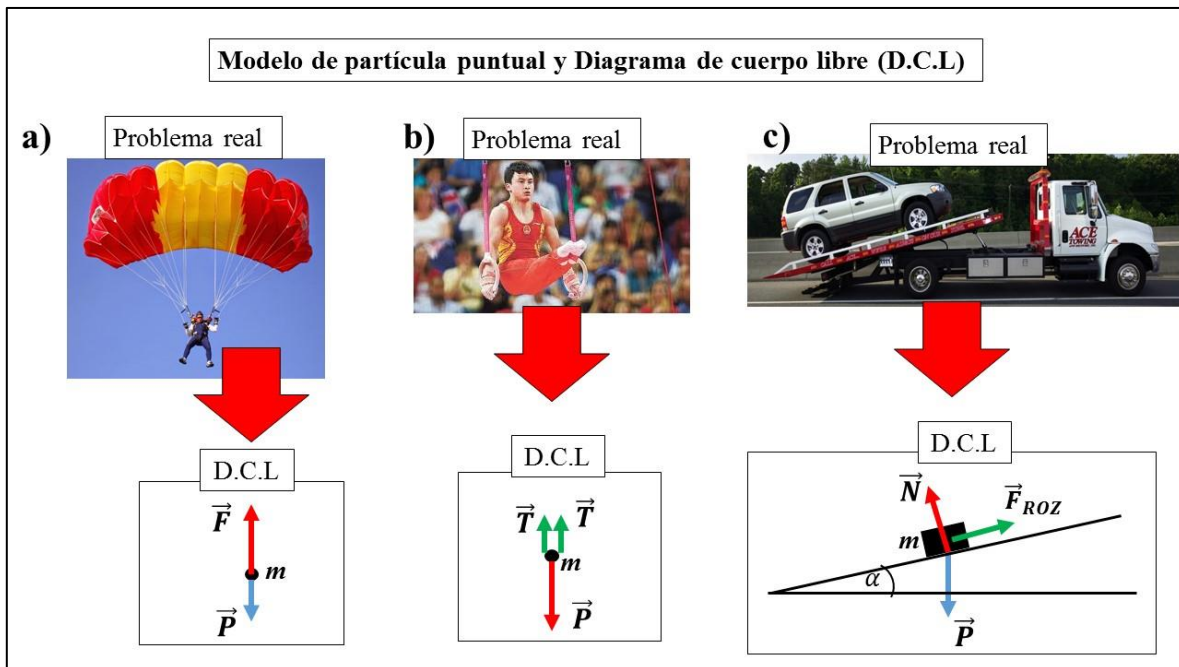


Figura 5. Ejemplos de DCL: a) paracaidista cayendo, b) atleta en reposo, c) camioneta en reposo sobre un plano inclinado. En todos los casos aislamos el cuerpo y el contexto lo representamos por las fuerzas que ejercen sobre él.

Algunas fuerzas en particular

Fuerza Tensión. Cuerdas y poleas.

Las cuerdas y poleas son elementos muy comunes en Física 1. En los problemas de partícula puntual consideraremos sólo cuerdas y poleas ideales (cuerdas y poleas sin masa y las cuerdas son inextensibles y siempre tensas). En realidad, no existen cuerdas y poleas de masa igual a cero, pero en muchos casos podemos suponer que la masa de estos elementos es despreciable frente a la masa del cuerpo de estudio.

Cuando una cuerda unida a un objeto tira sobre el objeto, la cuerda ejerce una fuerza de tracción sobre el objeto que llamamos *tensión* y la representamos por la letra **T**.

La dirección de la fuerza tensión es siempre paralela a la cuerda y con sentido de manera que siempre tira del cuerpo (Figura 6a). Las cuerdas ideales no pueden soportar una fuerza de compresión. La fuerza con la cual tiramos de una cuerda sin masa se transmite sin cambio a través de toda la cuerda, es decir la tensión es la misma a lo largo de toda la cuerda.

Si una cuerda se pasa por una **polea ideal**, la dirección de la fuerza cambia, pero la magnitud de la fuerza **es la misma** en cualquier lugar dentro de la cuerda. En la Figura 6b se muestran ejemplos de cómo son las tensiones en presencia de poleas.

Vale la pena destacar que estas características sobre las fuerzas en presencia de cuerdas y poleas son válidas siempre que estemos trabajando con cuerdas y poleas ideales. Más adelante cuando consideremos poleas con masa observaremos que el valor de la tensión ya no es la misma a lo largo de la cuerda.

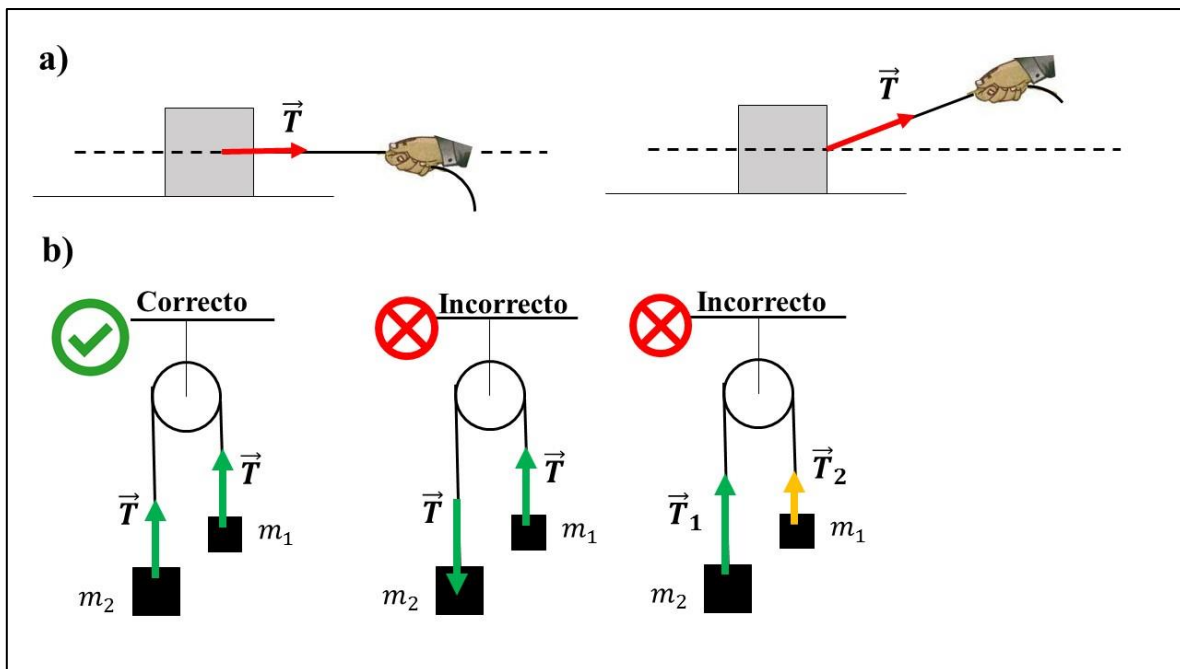


Figura 6. Cuerdas y poleas. a) La fuerza Tensión es paralela a la dirección de la cuerda y de manera que tire del cuerpo, b) en presencia de una polea ideal la tensión es la misma a lo largo de toda la cuerda

Fuerza Peso

Cuando estudiamos la caída libre de los cuerpos, aprendimos que, [si despreciamos la resistencia del aire, todos los cuerpos caen con la misma aceleración](#) (aceleración de la gravedad). La fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre los objetos se conoce como fuerza Peso. Más adelante (en otro capítulo) veremos que la fuerza peso es un caso particular de la fuerza gravitacional, que es la fuerza de atracción de dos objetos debido a su masa.

Cerca de la superficie de la Tierra (dentro de unos pocos cientos de metros sobre el suelo), la fuerza peso de un cuerpo está dada por el producto de la masa del objeto, m , y la aceleración gravitacional de la Tierra \vec{g} :

$$\vec{P} = m \vec{g} \quad (5)$$

En coherencia con la 2^{DA} Ley de Newton $\vec{F} = m \vec{a}$

La fuerza peso tiene la dirección y sentido del vector \vec{g} , siempre apunta hacia el centro de la Tierra (Figura 7).

El valor de la aceleración de la gravedad disminuye a medida que nos alejamos de la Tierra. Usaremos $g = 9,80 \frac{m}{s^2}$ para problemas sobre la superficie de la Tierra. En realidad el valor de g varía en diferentes puntos de la superficie terrestre entre $9,78$ y $9,82 \frac{m}{s^2}$ porque la Tierra no es perfectamente esférica y por efectos de su rotación y movimiento orbital. En un punto donde $g = 9,80 \frac{m}{s^2}$, el peso de un kilogramo estándar es $P = 9,8$ N. En un punto donde $g = 9,78 \frac{m}{s^2}$, el peso es $P = 9,78$ N pero la masa sigue siendo 1 Kg. **El peso de un cuerpo varía de un lugar a otro, la masa no.** Si llevamos un kilogramo estándar a la superficie lunar donde la aceleración en caída libre (igual al valor de g en la superficie lunar) es $1,62 \frac{m}{s^2}$ su peso será 1,62 N pero su masa seguirá siendo 1 Kg. Un astronauta de 80 Kg pesa (80 Kg) $(9,80 \frac{m}{s^2}) = 784$ N en la Tierra, pero en la Luna solo pesaría (80 Kg) $(1,62 \frac{m}{s^2}) = 130$ N.

Es importante notar esta diferencia entre peso y masa. La masa es una propiedad intrínseca de los cuerpos y es independiente del valor de \vec{g} . El peso de un cuerpo depende del valor de la gravedad del planeta o lugar donde se encuentre.

Diferencia entre masa inercial y masa gravitacional

La ecuación 5 cuantifica la fuerza gravitacional sobre el objeto. Sin embargo, esta ecuación no requiere que el objeto se mueva. Incluso para un objeto fijo o para un objeto sobre el que actúan varias fuerzas, la ecuación 5 se puede aplicar para calcular la magnitud de la fuerza Peso. El resultado es un cambio sutil en la interpretación de m . La masa m en la ecuación 5 establece la intensidad de la atracción gravitacional entre el objeto y la Tierra, por ende se la conoce como masa gravitacional. Este papel es diferente del descrito antes para la masa. Cuando analizamos la 2^{da} Ley de Newton, habíamos concluido a partir de la experiencia que los objetos más masivos tienen mayor resistencia a ser puestos en movimiento que los menos masivos. De esta manera, asociamos la masa a una medición de la resistencia al cambio en movimiento como respuesta a una fuerza externa (y la llamamos masa inercial). Una de las conclusiones experimentales de la dinámica newtoniana es que la masa gravitacional y la masa inercial tienen el mismo valor.

Fuerza Normal

Consideremos un cuerpo apoyado en una mesa. Sobre el cuerpo actúa la fuerza peso que produce que el cuerpo se acelere hacia el centro de la Tierra, sin embargo, el cuerpo permanece en reposo. ¿Por qué el cuerpo no se mueve? Según las leyes de Newton para que el cuerpo esté en reposo la fuerza neta sobre el cuerpo debe ser cero. Por lo tanto, debe existir otra fuerza que equilibre la fuerza peso y mantenga al cuerpo con aceleración cero. La mesa ejerce una fuerza hacia arriba sobre el cuerpo que permite que el mismo no penetre la mesa. Esta fuerza es conocida como fuerza **Normal**. En general, podemos caracterizar la fuerza normal, \vec{N} , como una fuerza de contacto entre dos objetos que actúa en sus superficies. La fuerza normal siempre se dirige de modo perpendicular al plano de las superficies de contacto (de ahí el nombre: normal que significa “perpendicular”.) La fuerza normal es sólo suficientemente grande para evitar que los objetos penetren uno en otro, y no es necesariamente igual a la fuerza Peso en todas las situaciones. Por ejemplo, en el caso de un cuerpo apoyado en un plano inclinado o un cuerpo apoyado en una mesa dentro de un ascensor que se acelera (¿por qué la normal no es igual al peso en estos casos?)

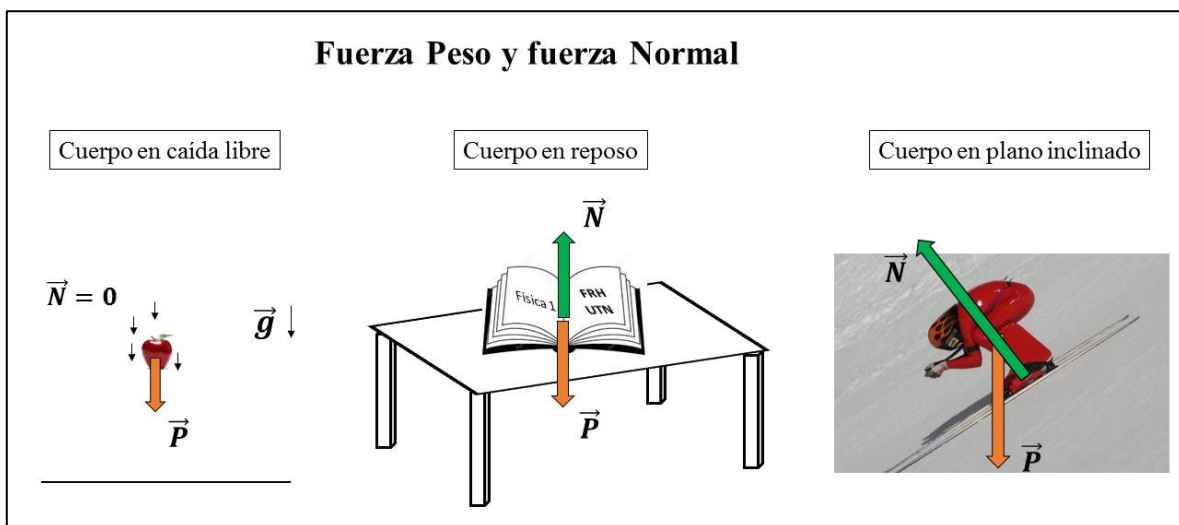


Figura 7. Ejemplos de fuerza Peso y fuerza Normal. Durante la caída libre la Normal es igual a cero porque no hay superficie de apoyo. En todos los casos \vec{P} apunta hacia el centro de la Tierra y la Normal es perpendicular a la superficie de apoyo.

Bibliografía

Serway R.A., Jewet J W, “Física para ciencias e ingeniería”. Volumen 1. Séptima edición. Cengage Learning editores (2008).

Bauer W, Westfall G. D., “Física para ingeniería y ciencias”. Volumen 1. McGraw-Hill/Interamericana editores (2011).

Sears F. W., Zemansky M.W., Young H. D., Freedman R. A. "Física Universitaria". Volumen 1. Décimo primera edición. Pearson Addison Wesley editores.

Resnick R., Halliday D, Kenneth S. K. "Física". Volumen 1. Cuarta edición. Compañía editorial continental (1993).