San Fernando College
Depto de Ciencias
Prof. Luis Henríquez

Leyes de Newton.

Objetivo: Comprender las leyes del movimiento o leyes de Newton
Nivel: Segundo medio.

Revisa los siguientes recursos:

Intuitivamente, experimentamos la **fuerza** como algún tipo de empuje o de jalón sobre un objeto. Cuando empuja un automóvil descompuesto o un carrito del supermercado (figura 4-1), ejerce una fuerza sobre ellos. Cuando un motor sube un elevador, o un martillo golpea un clavo, o el viento sopla las hojas de un árbol, se está ejerciendo una fuerza. Se dice que un objeto cae por la *fuerza de gravedad*.

Si un objeto está en reposo, para comenzar a moverlo se requiere de fuerza; esto es, se necesita una fuerza para acelerar un objeto desde la velocidad cero hasta una velocidad distinta de cero. Si se desea cambiar la velocidad de un objeto que ya está en movimiento, ya sea en dirección o en magnitud, de nuevo se requiere de una fuerza. En otras palabras, para acelerar un objeto, se requiere de una fuerza.

Una forma de medir la magnitud (o intensidad) de una fuerza es utilizar una balanza de resorte (figura 4-2). Normalmente, estas balanzas de resorte sirven para determinar el peso de un objeto; por peso se entiende la fuerza de gravedad que actúa sobre el objeto (sección 4-6). La balanza de resorte, una vez calibrada, se emplea para medir también otros tipos de fuerzas, como la fuerza necesaria para jalar, que se representa en la figura 4-2.

Una fuerza que se ejerce en diferentes direcciones tiene un efecto distinto. Es evidente que la fuerza tiene tanto dirección como magnitud, y de hecho es un vector que sigue las reglas de la suma vectorial que se explicaron en el capítulo 3. Es posible representar cualquier fuerza sobre un diagrama mediante una flecha, tal como se hace con la velocidad. La dirección de la flecha es la dirección del empuje o el jalón, y su longitud se dibuja de modo que resulte proporcional a la magnitud de la fuerza.

FIGURA 4–1 Una fuerza ejercida sobre un carrito de supermercado; en este caso, la fuerza es ejercida por un niño.

FIGURA 4–2 Una balanza de resorte utilizada para medir una fuerza.

4–2 ley del movlmlento de Newton

¿Cuál es la relación entre fuerza y movimiento? Aristóteles (384-322 A.C.) creía que se requería una fuerza para mantener a un objeto en movimiento a lo largo de un plano horizontal. Para Aristóteles, el estado natural de un objeto era el reposo, y creía que era necesaria una fuerza para mantenerlo en movimiento. Más aún, Aristóteles argumentaba que, cuanto mayor fuera la fuerza ejercida sobre el objeto, mayor sería su rapidez.

Unos 2000 años más tarde, Galileo estuvo en desacuerdo, pues sostenía que, para un objeto, es tan natural estar en movimiento con velocidad constante como lo es estar en reposo.

Para entender la idea de Galileo, considere las siguientes observaciones que implican movimiento a lo largo de un plano horizontal. Empujar un objeto con una superficie rugosa a lo largo de una mesa con rapidez constante requiere cierta cantidad de fuerza, y empujar un objeto igualmente pesado con una superficie muy lisa a través de la mesa a la misma rapidez requerirá menos fuerza. Si entre la superficie del objeto y la mesa se coloca una capa de aceite u otro lubricante, entonces casi no se requiere fuerza para mover al objeto. Como se podrá advertir, en cada paso sucesivo se requirió menos fuerza. Como siguiente paso, imaginemos que el objeto no se frota contra la mesa en absoluto, como si hubiera un lubricante perfecto entre el objeto y la mesa; entonces podría suponerse que, una vez iniciado el movimiento, el objeto se movería a través de la mesa con rapidez constante *sin* fuerza aplicada. Un cojinete de acero que rueda sobre una dura superficie horizontal se aproxima a esta situación. Lo mismo ocurre con un disco sobre una mesa de aire, donde una fina capa de aire reduce la fricción casi a cero.

Fue el genio de Galileo el que imaginó tal mundo idealizado (en este caso, uno donde no existe fricción), que podría conducir a una comprensión más precisa y rica del mundo real. Esta idealización lo condujo a su extraordinaria conclusión de que, si no se aplica fuerza a un objeto en movimiento, el objeto continuará moviéndose con rapidez constante en una línea recta. Un objeto frena sólo si sobre él se ejerce una fuerza. De esta forma, Galileo interpretó la fricción como una fuerza parecida a los empujones y jalones ordinarios.

Para empujar un objeto a través de una mesa con rapidez constante se requiere una fuerza desde tu mano que equilibre la fuerza de fricción (figura 4-3). Cuando el objeto se mueve con rapidez constante, tu fuerza de empuje es igual en magnitud a la fuerza de fricción, pero estas dos fuerzas están en direcciones opuestas, de modo que la fuerza *neta* sobre el objeto (el vector suma de las dos fuerzas) es cero. Esto concuerda con el punto de vista de Galileo, pues el objeto se mueve con rapidez constante cuando no se ejerce sobre él una fuerza neta.

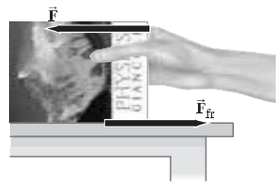


FIGURA 4–3 $\vec{F}$ representa la fuerza aplicada por la persona y $\vec{F}_{fr}$ representa la fuerza de fricción.

Sobre estos cimientos establecidos por Galileo, Isaac Newton (figura 4-4) construyó su gran teoría del movimiento. El análisis del movimiento de Newton se resume en sus famosas "tres leyes del movimiento". En su gran obra, los *Principia* (publicada en 1687), Newton reconoció de buen grado su deuda con Galileo. De hecho, la **primera ley del movimiento de Newton** concuerda con las conclusiones de Galileo. Dicha ley establece que

Todo objeto continúa en su estado de reposo o velocidad uniforme (constante) en una línea recta, en tanto no actúe sobre él una fuerza neta.

EJEMPLO CONCEPTUAL 4–1 **Primera ley de Newton.** Un autobús escolar frena bruscamente y todas las mochilas en el piso comienzan a deslizarse hacia delante. ¿Qué fuerza provoca que esto suceda?

RESPUESTA No es una "fuerza" la que lo hace. Las mochilas continúan su estado de movimiento, conservando su velocidad (la fricción puede frenarlas) conforme disminuye la velocidad del autobús.

4–4 Segunda ley del movlmlento de Newton

La primera ley de Newton establece que, si ninguna fuerza neta actúa sobre un objeto en reposo, éste permanece en reposo; o, si el objeto está en movimiento, continuará moviéndose con rapidez constante en una línea recta. Pero, ¿qué ocurre si *se ejerce* una fuerza neta sobre un objeto? Newton percibió que, en esas circunstancias, la velocidad del objeto cambiará (figura 4-5). Una fuerza neta ejercida sobre un objeto puede hacer que aumente su velocidad. O, si la fuerza neta se ejerce en una dirección opuesta al movimiento, la fuerza reducirá la velocidad del objeto. Si la fuerza neta actúa hacia los lados sobre un objeto en movimiento, cambiará la *dirección* de la velocidad del objeto (y es posible que también la magnitud). Como un cambio en la velocidad es una aceleración (sección 2-4), se puede decir que *una fuerza neta provoca aceleración*.

FIGURA 4–5 El bobsled acelera porque el equipo ejerce una fuerza.

¿Cuál es la relación entre aceleración y fuerza? La experiencia cotidiana sugiere una respuesta. Considere la fuerza que se requiere para empujar un carro cuando la fricción es lo suficientemente pequeña como para ignorarla. (Si existe fricción, considere la fuerza *neta*, que es la fuerza que ejerce menos la fuerza de fricción). Ahora, si empuja con una fuerza suave pero constante durante cierto periodo de tiempo, hará que el carro acelere desde el reposo hasta cierta rapidez, por ejemplo, 3 km/h. Si empuja con el doble de fuerza, el carro alcanzará 3 km/h en la mitad del tiempo. La aceleración será el doble de grande. Si triplica la fuerza, la aceleración se triplicará, y así sucesivamente. Así, la aceleración de un objeto es directamente proporcional[1] a la fuerza neta aplicada. Pero la aceleración también depende de la masa del objeto. Si empuja un carrito del supermercado vacío con la misma fuerza con la que empuja uno que está lleno con alimentos, encontrará que el carro lleno acelera más lentamente. Cuanto mayor sea la masa, menor será la aceleración para la misma fuerza neta. La relación matemática, como Newton argumentó, establece que la aceleración de un objeto es inversamente proporcional a su masa. Estas relaciones son válidas en general y se resumen como sigue:

> **La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él, y es inversamente proporcional a su masa. La dirección de la aceleración es la dirección de la fuerza neta que actúa sobre el objeto.**

Ésta es la **segunda ley del movimiento de Newton**.

La segunda ley de Newton se expresa como una ecuación:

$$\Sigma\vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}}. \qquad \textbf{(4–1)}$$

donde $\vec{\mathbf{a}}$ es la abreviatura de aceleración, m la de masa y $\Sigma\vec{\mathbf{F}}$ la *fuerza neta* sobre el objeto. El símbolo Σ (letra griega "sigma") significa "suma de"; $\vec{\mathbf{F}}$ es la abreviatura de fuerza, de modo que $\Sigma\vec{\mathbf{F}}$ significa *la suma vectorial de todas las fuerzas* que actúan sobre el objeto, lo que se define como la **fuerza neta**.

Es posible reordenar esta ecuación para obtener la afirmación familiar de la segunda ley de Newton:

La segunda ley de Newton relaciona la descripción del movimiento con la causa del movimiento, la fuerza. Ésta es una de las relaciones fundamentales de la física. A partir de la segunda ley de Newton es posible establecer una definición más precisa de **fuerza** como *una acción capaz de acelerar un objeto.*

Si todo el movimiento se produce a lo largo de una línea (unidimensional), es posible eliminar los subíndices y escribir simplemente $\Sigma F = ma$.

En unidades SI, con la masa en kilogramos, la unidad de fuerza se llama **newton** (N). Entonces, un newton es la fuerza que se requiere para impartir una aceleración de 1 m/s^2 a una masa de 1 kg. Por tanto, 1 N = 1 kg·m/s^2.

En unidades cgs, la unidad de masa es el gramo (g), como se mencionó con anterioridad.[7] La unidad de fuerza es el *dina*, que se define como la fuerza neta necesaria para impartir una aceleración de 1 cm/s^2 a una masa de 1 g. Por tanto, 1 dina = 1 g·cm/s^2. Es sencillo demostrar que 1 dina = 10^{-5} N.

En el sistema británico, la unidad de fuerza es la *libra* (que se abrevia lb), donde 1 lb = 4.44822 N ≈ 4.45 N. La unidad de masa es el *slug*, que se define como aquella masa que experimentará una aceleración de 1 ft/s^2 cuando se le aplique una fuerza de 1 lb. En consecuencia, 1 lb = 1 slug·ft/s^2. La tabla 4-1 resume las unidades en los diferentes sistemas.

Es muy importante que sólo se utilice un conjunto de unidades en un cálculo o problema específico, y es preferible el SI. Si la fuerza se proporciona en newtons y la masa en gramos, entonces, antes de intentar determinar la aceleración en unidades SI, hay que convertir la masa a kilogramos. Por ejemplo, si la fuerza está dada como 2.0 N a lo largo del eje x y la masa es de 500 g, esta última cantidad se convierte a 0.50 kg, y entonces la aceleración automáticamente se obtendrá en m/s^2 cuando se utilice la segunda ley de Newton (1 N = 1 kg·m/s^2):

$$\frac{\Sigma F_x}{m} = \frac{2.0\,\text{N}}{0.50\,\text{kg}} = \frac{2.0\,\text{kg}\cdot\text{m/s}^2}{0.50\,\text{kg}} = 4.0\,\text{m/s}^2.$$

4–5 Tercera ley del movimiento de Newton

La segunda ley del movimiento de Newton describe cuantitativamente cómo las fuerzas afectan el movimiento. Pero es inevitable que surja la pregunta: ¿De dónde provienen las fuerzas? Las observaciones sugieren que una fuerza aplicada a cualquier objeto siempre es aplicada *por otro objeto*. Un caballo jala una carreta, una persona empuja un carro del supermercado, un martillo empuja un clavo, un imán atrae un clip de papel. En cada uno de estos ejemplos, se ejerce una fuerza *sobre* un objeto y dicha fuerza es ejercida *por* otro objeto. Por ejemplo, la fuerza ejercida *sobre* el clavo es ejercida *por* el martillo.

FIGURA 4–8 Si con una mano se empuja el extremo de un escritorio (el vector fuerza se muestra en azul), el escritorio empuja de vuelta contra la mano (este vector fuerza se muestra en gris, para recordar que esta fuerza actúa sobre un objeto diferente).

Pero Newton se dio cuenta de que las cosas no eran tan unilaterales. Es verdad: el martillo ejerce una fuerza sobre el clavo (figura 4-7). Pero evidentemente también el clavo ejerce una fuerza contraria sobre el martillo, por lo que la rapidez de éste de inmediato es reducida a cero en el contacto. Sólo una fuerza intensa podría provocar tan rápida desaceleración del martillo. Por tanto, decía Newton, los dos objetos deben ser tratados sobre bases iguales. El martillo ejerce una fuerza sobre el clavo, y éste ejerce una fuerza contraria sobre el martillo. Ésta es la esencia de la **tercera ley de Newton:**

Siempre que un objeto ejerce una fuerza sobre un segundo objeto, éste ejerce una fuerza igual en la dirección opuesta sobre el primero.

A veces esta ley se parafrasea como "para toda acción existe una reacción igual y opuesta". Esto es perfectamente válido. Pero, para evitar confusión, es muy importante recordar que la fuerza de "acción" y la fuerza de "reacción" actúan sobre objetos *diferentes*.

Como evidencia de la validez de la tercera ley de Newton, observe su mano cuando empuje el extremo de un escritorio (figura 4-8). La forma de la mano se distorsiona, como una clara evidencia de que sobre ella se ejerce una fuerza. Puede *ver* el extremo de la mesa presionar sobre la mano. Incluso puede *sentir* al escritorio ejercer una fuerza sobre la mano: ¡duele! Cuanto más fuerte empuje contra el escritorio, más fuerte empuja el escritorio sobre su mano. (Sólo siente fuerzas que se ejercen *sobre* usted; cuando ejerce una fuerza sobre otro objeto, lo que siente es a ese objeto empujar de vuelta sobre usted).

Como otra demostración de la tercera ley de Newton, considere a la patinadora sobre hielo de la figura 4-9. Existe muy poca fricción entre los patines y el hielo, de modo que se moverá libremente si una fuerza se ejerce sobre la patinadora. Si empuja contra la pared, *ella* comenzará a moverse hacia atrás. La fuerza que ejerce sobre la pared no hace que *ella* comience a moverse, porque dicha fuerza actúa sobre la pared. Algo tiene que ejercer una fuerza *sobre ella* para hacer que comience a moverse, y dicha fuerza sólo podría haber sido ejercida por la pared. La fuerza con la que la pared la empuja es, por la tercera ley de Newton, igual y opuesta a la fuerza que ella ejerce sobre la pared.

Cuando una persona lanza un paquete afuera de un bote (inicialmente en reposo), éste comienza a moverse en la dirección opuesta. La persona ejerce una fuerza sobre el paquete. Éste ejerce una fuerza igual y opuesta de vuelta sobre la persona, y esta fuerza impulsa a la persona (y al bote) ligeramente hacia atrás.

La propulsión de cohetes también se explica mediante la tercera ley de Newton (figura 4-10). Una mala interpretación común es que los cohetes aceleran porque los gases que escapan por la parte trasera del motor empujan contra el suelo o la atmósfera. Esto no es cierto. En lugar de ello, lo que sucede es que un cohete ejerce una intensa fuerza sobre los gases, expulsándolos; y los gases ejercen una fuerza igual y opuesta *sobre el cohete*. Es esta última fuerza la que impulsa al cohete hacia arriba: la fuerza ejercida *sobre* el cohete *por* los gases. Por tanto, un vehículo espacial se maniobra en el espacio vacío mediante el disparo de sus cohetes en la dirección opuesta a aquella en la que necesita acelerar. Cuando el cohete empuja sobre los gases en una dirección, éstos empujan de vuelta sobre el cohete en la dirección opuesta.

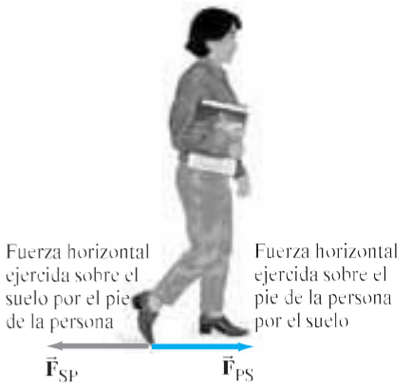
FIGURA 4–10 Otro ejemplo de la tercera ley de Newton: el lanzamiento de un cohete. El motor del cohete empuja los gases hacia abajo, y éstos ejercen una fuerza igual y opuesta hacia arriba sobre el cohete, y lo aceleran hacia arriba. (Un cohete no acelera como resultado de sus gases expulsados que empujan contra el suelo).

Cómo caminamos

Considere cómo camina el ser humano. Una persona comienza a caminar al empujar con el pie hacia atrás contra el suelo. Entonces el suelo ejerce una fuerza igual y opuesta hacia delante sobre la persona (figura 4-11) y es esta fuerza, *sobre* la persona, la que la mueve hacia delante. (Si duda de esto, intente caminar normalmente donde no existe fricción, como en el hielo muy liso y resbaladizo). En una forma similar, una ave vuela hacia delante al ejercer una fuerza hacia atrás sobre el aire, pero es el aire que empuja hacia delante sobre las alas del ave el que la impulsa hacia delante.

EJEMPLO CONCEPTUAL 4–4 **¿Qué ejerce la fuerza sobre un automóvil?** ¿Qué hace que un automóvil vaya hacia delante?

RESPUESTA Una respuesta común es que el motor hace que el automóvil se mueva hacia delante. Pero esto no es tan simple. El motor hace que las ruedas giren. Pero si las llantas están sobre hielo resbaladizo o sobre una gruesa capa de fango, sólo giran sin avanzar. Se necesita fricción. En el suelo *sólido*, las llantas empujan hacia atrás contra el suelo a causa de la fricción. Por la tercera ley de Newton, el suelo empuja sobre las llantas en la dirección opuesta, y aceleran al automóvil hacia delante.



Los objetos inanimados pueden ejercer una fuerza (a causa de la elasticidad).

Las personas tienden a asociar las fuerzas con los objetos activos como los humanos, animales, motores u objetos en movimiento como un martillo. Con frecuencia es difícil ver cómo un objeto inanimado en reposo, como una pared o un escritorio, o la pared de una pista de hielo (figura 4-9), puede ejercer una fuerza. La explicación es que todo material, sin importar cuán duro sea, es elástico, al menos en cierto grado. Una banda de hule estirada ejerce una fuerza sobre una bolita de papel y la acelera para que vuele a través de la habitación. Otros materiales no pueden estirarse tan fácilmente como el hule, pero sí se estiran o comprimen cuando se aplica una fuerza sobre ellos. Y tal como una banda de hule estirada ejerce una fuerza, lo mismo hace una pared, un escritorio o la defensa estirada (o comprimida) de un automóvil.

A partir de los ejemplos presentados, se percibe la importancia de recordar *sobre* qué objeto se ejerce una fuerza dada y *cuál* objeto ejerce dicha fuerza. Una fuerza influye en el movimiento de un objeto sólo cuando se aplica *sobre* dicho objeto. Una fuerza ejercida *por* un objeto no influye en ese mismo objeto; sólo influye en el otro objeto *sobre* el que se ejerce. Por tanto, para evitar confusión, siempre se deben usar las dos preposiciones *sobre* y *por*, y utilizarse con cuidado.

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Para cada fuerza, cerciórese **sobre** *qué objeto actúa y* **cuál** *objeto la ejerce.* $\Sigma\vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}}$ *sólo se aplica a fuerzas que actúan* **sobre** *un objeto.*

Una forma de dejar en claro qué fuerza actúa sobre cuál objeto es usar subíndices dobles. Por ejemplo, la fuerza ejercida sobre la **P**ersona por el **S**uelo mientras la persona camina en la figura 4-11, se designa como $\vec{\mathbf{F}}_{PS}$. Y la fuerza ejercida sobre el suelo por la persona es $\vec{\mathbf{F}}_{SP}$. Por la tercera ley de Newton

TERCERA LEY DEL MOVIMIENTO DE NEWTON

$$\vec{\mathbf{F}}_{SP} = -\vec{\mathbf{F}}_{PS}.$$

$\vec{\mathbf{F}}_{SP}$ y $\vec{\mathbf{F}}_{PS}$ tienen la misma magnitud (tercera ley de Newton), y el signo menos recuerda que esas dos fuerzas están en direcciones opuestas.

Hay que hacer notar que las dos fuerzas que se representan en la figura 4-11 actúan sobre objetos diferentes, por lo que en el texto se usan colores diferentes para las flechas de vector que representan tales fuerzas. Estas dos fuerzas nunca aparecerían juntas en una suma de fuerzas en la segunda ley de Newton, $\Sigma\vec{\mathbf{F}} = m\vec{\mathbf{a}}$. ¿Por qué no? Porque actúan sobre objetos diferentes: $\vec{\mathbf{a}}$ es la aceleración de un objeto particular, y $\Sigma\vec{\mathbf{F}}$ *sólo* debe incluir las fuerzas sobre ese *único* objeto.