



9ª edición

Anatomía y Fisiología Humana

Elaine N. Marieb



Contenido breve

- Contenido vii
- Al estudiante xiii
- Al profesor xiv
- Agradecimientos xvii
- 1 Acerca de la ciencia 2

PARTE UNO

Mecánica 21

- 2 Primera ley de Newton del movimiento: inercia 22
- 3 Movimiento rectilíneo 41
- 4 Segunda ley de Newton 58
- 5 Tercera ley de Newton del movimiento 74
- 6 Cantidad de movimiento 91
- 7 Energía 110
- 8 Movimiento rotatorio 131
- 9 Gravedad 161
- 10 Movimiento de proyectiles y de satélites 184

PARTE DOS

Propiedades de la materia 209

- 11 La naturaleza atómica de la materia 210
- 12 Sólidos 229
- 13 Líquidos 248
- 14 Gases y plasmas 268

PARTE TRES

Calor 289

- 15 Temperatura, calor y expansión 290
- 16 Transferencia de calor 306
- 17 Cambio de fase 325
- 18 Termodinámica 342

PARTE CUATRO

Sonido 361

- 19 Vibraciones y ondas 362
- 20 Sonido 380
- 21 Sonidos musicales 398

PARTE CINCO

Electricidad y magnetismo 409

- 22 Electrostática 410
- 23 Corriente eléctrica 436
- 24 Magnetismo 458
- 25 Inducción electromagnética 477

PARTE SEIS

Luz 495

- 26 Propiedades de la luz 496
- 27 Color 515
- 28 Reflexión y refracción 530
- 29 Ondas luminosas 558
- 30 Emisión de la luz 582
- 31 Cuantos de luz 600

PARTE SIETE

Física atómica y nuclear 619

- 32 El átomo y el cuanto 620
- 33 El núcleo atómico y la radiactividad 634
- 34 Fisión y fusión nucleares 661

PARTE OCHO

Relatividad 685

- 35 Teoría de la relatividad especial 686
- 36 Teoría de la relatividad general 720
- Epílogo 735

- Apéndice A** Sistemas de medida 737
- Apéndice B** Más acerca del movimiento 741
- Apéndice C** Trazado de gráficas 745
- Apéndice D** Más acerca de vectores 749
- Apéndice E** Crecimiento exponencial y tiempo de duplicación 755

Glosario 761

Créditos de fotografías 778

Índice 781

Segunda ley de Newton



Efraín López muestra que cuando dos fuerzas se equilibran en cero, no hay aceleración.



Segunda ley de Newton

En el capítulo 2 estudiamos el concepto de equilibrio mecánico, $\Sigma F = 0$, donde las fuerzas están en equilibrio. En este capítulo veremos lo que sucede cuando las fuerzas no están en equilibrio, es decir, cuando las fuerzas netas *no* son iguales a cero. La fuerza neta de un balón de fútbol sóquer que se pateo, por ejemplo, es mayor que cero, y el movimiento del balón cambia de manera abrupta. Su trayectoria en el aire no es rectilínea, sino curva y hacia abajo debido a la gravedad; de nuevo tenemos un cambio en el movimiento. La mayoría del movimiento que vemos sufre cambios. En este capítulo veremos los *cambios* en el movimiento: el movimiento acelerado.

En el capítulo anterior aprendimos que la aceleración determina qué tan rápido cambia el movimiento. Específicamente, es el cambio de velocidad durante cierto intervalo de tiempo. Recuerda la definición de aceleración:

$$\text{Aceleración} = \frac{\text{cambio de velocidad}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

Ahora nos enfocaremos en lo que *causa* la aceleración: *la fuerza*.

La fuerza causa aceleración

Considera un disco (*puck*) de hockey que está en reposo sobre el hielo. Si le aplicas una **fuerza**, entonces comienza a moverse y acelera. Cuando el palo (*stick*) de hockey ya no lo está impulsando, el disco se mueve a velocidad constante. Si se aplica otra fuerza que golpee al disco, otra vez, el movimiento cambia. La aceleración es causada por la fuerza.

A menudo hay más de una fuerza que actúa sobre un objeto. Es decir, pueden intervenir varias fuerzas. Del capítulo 2 recuerda que la suma de fuerzas que actúan sobre un objeto es la **fuerza neta**. La aceleración depende de la **fuerza neta**. Para incrementar la aceleración de un objeto, debes aumentar la fuerza neta que actúa sobre éste. Si aplicas el doble de fuerza neta, su aceleración será del doble; si aplicas el triple de fuerza neta, se triplicará la aceleración; y así sucesivamente. Decimos que la aceleración producida es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él y se escribe así:

$$\text{Aceleración} \sim \text{fuerza neta},$$



FIGURA 4.1

Patea el balón y éste acelera.



La fuerza causa aceleración

El símbolo $\sim$ quiere decir “es directamente proporcional a”. Entonces, cualquier cambio en una produce la misma cantidad de cambio en la otra.

EXAMÍNATE

1. Estás empujando una caja que está sobre un suelo liso, y acelera. Si aplicas cuatro veces esa fuerza neta, ¿cuánto aumentará la aceleración?
2. Si empujas con la misma fuerza incrementada sobre la misma caja, la cual se desliza en un suelo muy áspero, ¿cómo se comparará la aceleración con la que hubo en el suelo liso? (*¡Piensa antes de leer la respuesta más adelante!*)

Fricción

La fuerza de la mano acelera el ladrillo



Si la fuerza es el doble, la aceleración también es el doble



Si la fuerza es el doble y la masa es del doble se produce la misma aceleración



FIGURA 4.2

La aceleración es directamente proporcional a la fuerza.

Cuando las superficies de dos objetos se deslizan entre sí o tienden a hacerlo, actúa una fuerza de **fricción** o **rozamiento**. Cuando aplicas una fuerza a un objeto, por lo general, una fuerza de fricción reduce la fuerza neta y la aceleración que resulta. La fricción se debe a las irregularidades en las superficies que están en contacto mutuo, y depende de los materiales y de cuánto se opriman entre sí. Hasta las superficies que parecen muy lisas tienen irregularidades microscópicas que estorban el movimiento. Los átomos se adhieren entre sí en muchos puntos de contacto. Cuando un objeto se desliza contra otro, debe subir sobre los picos de las irregularidades, o se deben desprender los átomos por la fricción. En cualquiera de los casos se requiere una fuerza.

La dirección de la fuerza de fricción siempre es opuesta al movimiento. Un objeto que se deslice *de bajada* por un plano inclinado está sometido a una fricción dirigida *de subida* por el plano; un objeto que se desliza hacia la *derecha* está sometido a una fricción dirigida hacia la *izquierda*. Así, si se debe mover un objeto a velocidad constante, se le debe aplicar una fuerza igual a la fuerza opuesta de la fricción, de manera que las dos fuerzas se anulen exactamente entre sí. La fuerza neta igual cero causa una aceleración cero y velocidad constante.

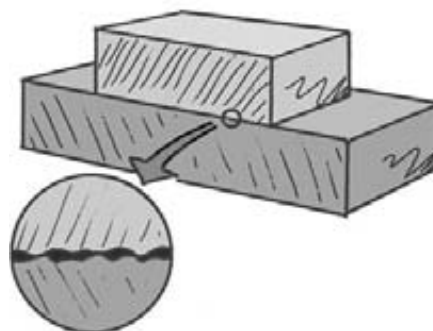


FIGURA 4.3

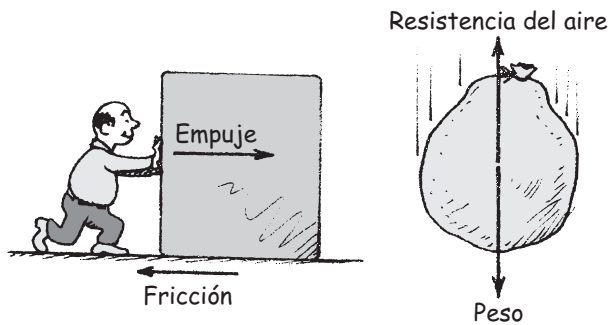
La fricción (rozamiento) resulta del mutuo contacto entre las irregularidades en la superficie de los objetos que se deslizan. Hasta las superficies que parecen muy lisas tienen irregularidades cuando se observan a escala microscópica.

COMPRUEBA TUS RESPUESTAS

1. Tendrá una aceleración cuatro veces mayor.
2. Tendrá menos aceleración, ya que la fricción reducirá la fuerza neta.



La fuerza causa aceleración

**FIGURA 4.4**

La dirección de la fuerza de fricción siempre es opuesta a la dirección del movimiento. (Primera figura) Si empujas una caja a la derecha, la fricción actúa hacia la izquierda. (Segunda figura) Cuando el saco cae, la fricción con el aire (resistencia del aire) actúa hacia arriba. (¿Cuál será la aceleración del saco cuando la resistencia del aire sea igual al peso del saco?)

No hay fricción en una caja que está en reposo sobre un suelo horizontal. Sin embargo, cuando se perturban las superficies de contacto al empujar la caja en dirección horizontal, se produce la fricción. ¿Cuánta? Si la caja sigue en reposo, la fricción que se opone al movimiento es justo la necesaria para anular el empuje. Si empujas horizontalmente con, digamos, 70 newtons, la fricción será de 70 newtons. Si empujas más, por ejemplo con 100 newtons y la caja está a punto de deslizarse, la fricción entre la caja y el suelo opone 100 newtons a tu empuje. Si los 100 newtons es lo más que pueden resistir las superficies, entonces cuando empujes con un poco más de fuerza se rompe la adherencia y la caja se desliza.¹

Un hecho interesante es que, en el deslizamiento, la fricción es algo menor que la fricción que se acumula antes de que haya deslizamiento. Los físicos y los ingenieros distinguen entre *fricción estática* y *fricción de deslizamiento*. Para ciertas superficies, la fricción estática es un poco mayor que la fricción de deslizamiento. Cuando empujas una caja, requieres más fuerza para que ésta empiece a moverse, que para mantenerla deslizándose. Antes de que apareciera el sistema de frenos antibloqueo, un frenado de emergencia era bastante problemático. Cuando los neumáticos se inmovilizan, patinan y proporcionan menor fricción que si siguieran rodando hasta pararse. Mientras rueda el neumático, su superficie no resbalará por la superficie del camino y la fricción será estática y, en consecuencia, será mayor que la de deslizamiento. Pero una vez que los neumáticos comienzan a patinar, se reduce la fuerza de fricción, lo cual no es nada halagüeño. Un sistema de frenos antibloqueo mantiene a los neumáticos abajo del umbral de inmovilizarse en un patinazo.

También es interesante que la fuerza de fricción no depende de la rapidez. Un automóvil que se patina a baja rapidez tiene, aproximadamente, la misma fricción que uno que se patina con alta rapidez. Si la fuerza de fricción de una caja que se desliza sobre el suelo es 90 newtons a baja rapidez, será también, con mucha aproximación, de 90 newtons a mayor rapidez. Puede ser mayor cuando la caja está en reposo y a punto de deslizarse; pero una vez en movimiento, la fuerza de fricción permanece aproximadamente igual.

Todavía más interesante es que la fricción no dependa del área de contacto. Si la caja se desliza sobre su cara más pequeña, todo lo que haces es concentrar el mismo peso sobre una superficie menor y, como resultado, la fricción será la misma. Entonces, los neumáticos extraanchos que ves en algunos automóviles no ofrecen mayor fricción que los angostos. Simplemente lo que hace el neumático más ancho es repartir el peso del vehículo sobre una superficie mayor, para redu-

¹ Aun cuando no lo parezca todavía, en física la mayoría de los conceptos en realidad no son complicados. Pero la fricción es distinta. A diferencia de esa mayor parte de los conceptos, la fricción es un fenómeno muy complicado. Los hallazgos son empíricos (y se adquieren con una gran variedad de experimentos) y las predicciones son aproximadas y también se basan en experimentos.