

1 Acerca de la ciencia

La ciencia no es nueva. Data de la prehistoria, cuando por primera vez se descubrieron **regularidades y relaciones en la naturaleza**. Una de las regularidades era la forma de los patrones de estrellas que aparecían en el cielo nocturno. Otra era el ciclo del clima a lo largo del año: el comienzo de la temporada de lluvias o la época en que los días se hacían más largos. La gente aprendió a hacer **predicciones** a partir de estas regularidades y a establecer paralelismos entre fenómenos que a primera vista parecían no tener relación alguna. Así fueron aprendiendo más y más acerca de los mecanismos de la naturaleza. Este **acervo de conocimientos** que crece constantemente es **parte de la ciencia**. Pero la **parte principal** está constituida por los **métodos que usamos para adquirir estos conocimientos**. **La ciencia es una actividad –una actividad humana– además de un conjunto de conocimientos**.

1.1 La más fundamental de las ciencias: la física

La ciencia es el equivalente contemporáneo de lo en la antigüedad se llamaba filosofía natural. La filosofía natural era el estudio de las preguntas acerca de la naturaleza que aún no tenían respuesta. A medida que se iban encontrando estas respuestas, pasaban a formar parte de lo que hoy llamamos ciencia.

La **ciencia contemporánea** se divide en el estudio de los seres vivos y el estudio de los objetos sin vida, es decir, en **ciencias de la vida** y **ciencias físicas**. Entre las ciencias de la vida están la biología, la zoología y la botánica. Entre las ciencias físicas están la geología, la astronomía, la química y la física.

La **física** es más que una parte de las ciencias físicas: es la **ciencia básica**. La física estudia la naturaleza de cosas básicas como el movimiento, las fuerzas, la energía, la materia, el calor, el sonido, la luz y la estructura de los átomos. La química estudia la manera en que está integrada la materia, la manera en que los átomos se combinan para formar moléculas y la manera en que las moléculas se combinan para conformar los diversos tipos de materia que nos rodean. La biología es aún más compleja, pues trata de la materia viva. Así pues, en la base de la biología está la química y en la base de la química está la física. Los conceptos de la física se extienden a estas ciencias más complicadas, por eso **la física es la más fundamental de todas las ciencias**. La comprensión de la ciencia en general comienza con el entendimiento de la física.

1.2 El lenguaje de la ciencia: las matemáticas

La ciencia tuvo un asombroso avance a partir del siglo XVI, cuando se descubrió que era posible analizar y describir la naturaleza por medio de las matemáticas. **Cuando expresamos las ideas de la ciencia en términos matemáticos no hay ambigüedad**. No tienen los “dobles sentidos” que con tanta frecuencia confunden las discusiones de ideas expresadas en el lenguaje común. Cuando los descubrimientos acerca de la naturaleza se expresan matemáticamente es más fácil **comprobarlos o refutarlos por medio del experimento**.* Los métodos de las matemáticas y de la experimentación condujeron a un enorme progreso de la ciencia y de las condiciones de vida.

* Si bien las matemáticas son muy importantes para comprender la ciencia, ellas no serán nuestro centro de atención. Nos centraremos más bien en lo que debiera estar en primer lugar: las ideas y los conceptos básicos de la física. Cuando se aprende la física principalmente por medio de descripciones que ayudan a visualizar las ideas y los conceptos, dejando las descripciones matemáticas en segundo término, y cuando se reduce a lo indispensable la práctica de la resolución algebraica de los problemas (que a menudo tiende a oscurecer la física), se adquiere una mejor comprensión de los fundamentos conceptuales de la física.

1.3 El método científico

El físico italiano Galileo Galilei (1564-1642) y el filósofo inglés Francis Bacon (1561-1626) suelen considerarse los principales fundadores del **método científico**: un método en extremo efectivo **para adquirir, organizar y aplicar nuevos conocimientos**. Este método consta básicamente de los siguientes pasos:

1. Identificar el problema.
2. Hacer una conjetura razonable —es decir, una **hipótesis**— acerca de la respuesta.
3. **Predecir** las consecuencias de esta hipótesis.
4. Realizar **experimentos** para comprobar estas predicciones.
5. Formular la regla general más simple que organice los tres ingredientes principales: hipótesis, predicción, resultado experimental.

Aunque este método en forma de receta de cocina tiene cierto encanto, no siempre ha sido la clave de los descubrimientos y adelantos de la ciencia. En muchos casos, gran parte del progreso de la ciencia se ha debido a resultados obtenidos por ensayo y error, por experimentos realizados sin conjeturas previas o por un descubrimiento accidental realizado por una mente bien preparada. El éxito de la ciencia está más relacionado con cierta **actitud** que comparten los científicos que con un método particular. Se trata de una actitud de curiosidad, experimentación y humildad ante los hechos.

1.4 La actitud científica

Es común considerar que un hecho es algo inmutable y absoluto. Pero en la ciencia un **hecho** es, en general, una buena concordancia entre observadores competentes acerca de una serie de observaciones del mismo fenómeno. Por ejemplo, antiguamente era un hecho que el Universo era inalterable y permanente, en tanto que actualmente es un hecho que el Universo se está expandiendo y evolucionando. Por otra parte, una **hipótesis científica** es una conjetura bien fundamentada, que sólo se considerará válida cuando sea comprobada por los experimentos. Cuando una hipótesis ha sido probada una y otra vez sin contradicciones, puede llamarse **ley** o **principio**.

Si un científico cree que cierta hipótesis, ley o principio es verdadero, pero **encuentra evidencia de lo contrario**, entonces, de acuerdo con el espíritu científico, dicha hipótesis, ley o principio **debe ser cambiada o abandonada**. De acuerdo con el espíritu científico, dicha idea debe ser cambiada o abandonada sin importar la reputación de la persona que la sostiene. A manera de ejemplo, el muy respetado filósofo griego Aristóteles (384-322 A.C.) afirmaba que los objetos en caída libre caían a una velocidad proporcional a su peso. Esta idea se consideró verdadera durante más de 2000 años debido a la gran autoridad de Aristóteles. Sin embargo, de acuerdo con el espíritu científico, un solo experimento verificable que demuestre lo contrario tiene mayor peso que cualquier autoridad, sin importar su reputación o el número de seguidores o defensores. En la ciencia moderna los argumentos por apelación a la autoridad tienen escaso valor.

Los científicos deben aceptar sus resultados y otras evidencias experimentales aun cuando a ellos les agradara que fueran diferentes. Deben esforzarse por distinguir entre lo que ven y lo que desean ver pues los científicos, como la mayor parte de las personas, tienen una gran capacidad para engañarse a sí mismos. Los seres humanos siempre han tenido la tendencia a adoptar reglas, convicciones, creencias, ideas e hipótesis generales sin cuestionar cabalmente su validez, y a conservarlas aún mucho después de que se ha demostrado que son absurdas, falsas, o al menos cuestionables. Las suposiciones más comunes son a menudo las que menos han sido puestas en duda. Y lo más frecuente, cuando se adopta una idea, es que se preste particular atención a los casos que parecen confirmarla, en tanto que los casos que parecen refutarla se distorsionan, se les resta importancia o se ignoran.

Los científicos dan a la palabra teoría un significado distinto del que tiene en el lenguaje cotidiano. En éste, la teoría no difiere de la hipótesis: es decir, una suposición que no ha sido comprobada. Una **teoría** científica, por otro lado, es una **síntesis de un**

gran acervo de información que abarca diversas hipótesis bien probadas y comprobables acerca de ciertos aspectos del mundo natural. Por ejemplo, los físicos hablan de la teoría del átomo; los biólogos de la teoría celular.

Las teorías de la ciencia no son fijas, sino que están **sujetas a cambios**. Las teorías científicas evolucionan atravesando **etapas de redefinición y refinamiento**. En el transcurso de los últimos cien años la teoría del átomo se ha refinado gracias a la obtención de nuevos datos experimentales. De manera análoga, los biólogos han refinado la teoría celular.

La posibilidad de refinar sus teorías es un **punto fuerte de la ciencia**, no un punto débil. Muchas personas piensan que “cambiar de opinión” es signo de debilidad, pero los científicos competentes tienen que ser expertos en cambiar de opinión. Con todo, sólo lo hacen cuando encuentran una sólida prueba experimental de lo contrario o cuando una hipótesis conceptualmente más simple los obliga a cambiar de punto de vista. Es más importante mejorar nuestras creencias que defenderlas. Quienes son honestos ante los hechos realizan mejores hipótesis.



1.5 Las hipótesis científicas deben poder ser probadas

Para que una hipótesis pueda ser llamada científica es menester que sea susceptible de ser probada. Es más importante tener una manera de probar que es errónea que tener un medio de probar que es correcta. A primera vista esto puede parecer extraño, ya que pensamos en las hipótesis científicas en términos de su verdad o falsedad. En la mayoría de las cosas que nos preguntamos, nos interesa encontrar maneras de averiguar si son verdaderas. Pero las hipótesis científicas son diferentes. De hecho, si quieres determinar si cierta hipótesis es científica o no, investiga si existe una forma de probar que es falsa. **Si no existe una prueba de su posible falsedad, no es una hipótesis científica.** Einstein lo expresó muy bien cuando afirmó: “Una infinidad de experimentos no bastan para probar que estoy en lo cierto, pero un solo experimento puede mostrar que me equivoco”.

Consideremos la hipótesis “existe vida inteligente en otros planetas en algún lugar del universo”. Esta hipótesis no es científica. Por más razonable que sea, es sólo una especulación. Si bien la verificación de un solo caso de vida inteligente en otro lugar del universo demostraría que es verdadera, no hay forma de mostrar que es falsa si nunca encontramos vida. Aun si examináramos cuidadosamente los más lejanos confines del universo durante miles de años sin encontrar vida no probaríamos que la vida no existe “a la vuelta de la esquina”. Una hipótesis cuya verdad puede probarse pero cuya falsedad no es susceptible de prueba no es una hipótesis científica. Muchos enunciados de este tipo son muy razonables y útiles, pero están fuera del dominio de la ciencia.

► Pregunta

¿Cuál de los siguientes enunciados es una hipótesis científica?

- a. Los átomos son las partículas de materia más pequeñas que existen.
- b. El universo está rodeado por otro universo cuya existencia no pueden detectar los científicos.
- c. Albert Einstein es el físico más grande de todos los tiempos.

► Respuesta

Sólo el enunciado **a** es científico porque existe una manera de probar que es falso. No sólo es posible probar que este enunciado es falso, sino que, de hecho, ya ha sido probado. No hay manera de probar la posible falsedad del enunciado **b** por lo que no es científico. Algunos seudocientíficos y otros supuestos sabios no están siquiera dis-

puestos a considerar la posible falsedad de sus enunciados. El enunciado **c** es una afirmación cuya posible falsedad no puede ser probada. Si Einstein no fuera el físico más grande ¿cómo podríamos saberlo?

1.6 Ciencia y tecnología

La ciencia y la tecnología son diferentes. La **ciencia** es un **método para dar respuesta a preguntas teóricas**; la **tecnología** es un **método para resolver problemas prácticos**. La ciencia se ocupa de reunir conocimientos y de organizarlos. **La tecnología permite al hombre usar esos conocimientos para fines prácticos, y brinda las herramientas que necesitan los científicos en sus investigaciones.**

No obstante, la tecnología es una espada de doble filo, que puede resultar útil o nociva. Por ejemplo, contamos con la tecnología para extraer combustibles fósiles del suelo, para después quemarlos y generar energía. La producción de energía a través de combustibles fósiles ha beneficiado a nuestra sociedad de incontables maneras. Por otro lado, la quema de combustibles fósiles pone en riesgo el ambiente. Resulta tentador echar la culpa a la tecnología misma por problemas como la contaminación y el agotamiento de los recursos. Sin embargo, estos problemas no son culpa de la tecnología, así como una herida de bala no es culpa del arma de fuego. Los seres humanos usamos la tecnología y somos los responsables de la manera en que se utiliza.



Es notable que ya poseamos la tecnología para resolver muchos problemas del medio ambiente. Es probable que el siglo XXI vea un cambio de combustibles fósiles a fuentes de energía más sustentables, como la fotovoltaica, heliotérmica o la conversión de la biomasa. Si bien el papel que usamos ahora proviene de los árboles, pronto se obtendrá de la maleza de rápido crecimiento, y se necesitará menos de él cuando se popularicen las pantallas pequeñas y de fácil lectura. Cada vez reciclamos más los productos de desecho. El máximo obstáculo para resolver los problemas actuales se debe más a la inercia social que a la carencia de tecnología. La tecnología es nuestra herramienta. Lo que hagamos con ella depende de nosotros mismos. La promesa de la tecnología es un mundo más limpio y más saludable. Las aplicaciones adecuadas de la tecnología pueden guiarnos hacia un mundo mejor.

Es mucho más sabio combatir los peligros de la tecnología con conocimientos que con ignorancia. El poder de la ciencia y la tecnología viene acompañado de la **responsabilidad de mantener el equilibrio natural**, y para lograrlo **es necesario entender las reglas básicas de la naturaleza**. Es importante que conozcamos el funcionamiento del mundo para poder combatir problemas como la lluvia ácida, el calentamiento global y los desechos tóxicos. Es menester que la comunidad posea estos conocimientos, por ejemplo, para evaluar el impacto que tendrá una planta industrial en proyecto. Estos conocimientos también son necesarios a nivel individual, como, por ejemplo, para comprar productos en aerosol y para desechar materiales peligrosos. La forma científica de pensar se vuelve vital para la sociedad a medida que descubrimos hechos nuevos y que se hacen necesarias nuevas ideas para cuidar de nuestro planeta.

1 Repaso

Sumario de conceptos

La ciencia es una actividad además de un conjunto de conocimientos.

- La física es la más fundamental de todas las ciencias.
- Las matemáticas permiten expresar las ideas de la ciencia sin ambigüedad.

El método científico es un procedimiento para dar respuesta a las preguntas que nos hacemos acerca del mundo probando conjeturas razonables o hipótesis, y formulando reglas generales.

- Las hipótesis de la ciencia deben ser susceptibles de prueba; si la evidencia experimental las contradice, deben ser cambiadas o abandonadas.

Una teoría es un conjunto de conocimientos e hipótesis bien probadas acerca de algún aspecto de la naturaleza.

- Las teorías se ven modificadas por nuevos resultados experimentales.

La ciencia se ocupa de cuestiones teóricas, y la tecnología se ocupa de problemas prácticos.

Términos importantes

hecho (1.4)

hipótesis (1.3)

ley (1.4)

método científico (1.3)

principio (1.4)

teoría (1.4)

Preguntas

1. ¿Por qué decimos que la física es la ciencia más fundamental? (1.1)
2. ¿Por qué las matemáticas son importantes para la ciencia? ¿Por qué las reducimos al mínimo en este curso? (1.2)
3. ¿Qué es el método científico? (1.3)
5. Las teorías científicas están sujetas a cambios. ¿Es esto un punto fuerte o un punto débil? Explica tu respuesta. (1.4)
6. ¿Qué significa decir que si una hipótesis es científica, debe existir una manera de probar que es errónea? (1.5)
7. ¿En qué difieren la ciencia y la tecnología? (1.6)
8. ¿Por qué tenemos la responsabilidad de entender, aunque sea a un nivel básico, las reglas de la naturaleza? (1.6)

Piensa y explica

1. ¿Por qué la ciencia tiende a ser un proceso para obtener conocimientos que se “corrige a sí mismo”?
2. ¿Cuál puede ser el error de una persona que dice: “Pero eso no es más que una teoría científica”?
3. a. Menciona una razón para detener el avance de la tecnología.
b. Menciona una razón para que el avance de la tecnología continúe.
c. Compara tus razones.

2 El movimiento

Hay movimiento en todo nuestro alrededor. Lo vemos en las actividades cotidianas de las personas, en los autos que pasan por la carretera, en los árboles que se mecen al viento y, con algo de paciencia, en las estrellas por la noche. A nivel microscópico hay movimientos que no podemos percibir directamente: los átomos en movimiento producen calor e incluso sonido; los electrones que fluyen generan la electricidad, y los electrones que vibran generan luz. El movimiento está en todas partes.

Es fácil reconocer el movimiento, pero no es tan fácil describirlo. Hasta los científicos griegos de hace 2000 años, que entendían muy bien muchas de las ideas físicas que estudiamos hoy en día, se veían en grandes dificultades para describir el movimiento. Y no lo consiguieron porque no entendían el concepto de razón de cambio. La **razón de cambio** es **una cantidad dividida por el tiempo**. Nos dice qué tan rápido ocurre un fenómeno, o **cuánto cambia alguna cantidad en cierto intervalo de tiempo**. En esta unidad aprenderás que el movimiento se describe en términos de las razones de cambio conocidas como **rapidez, velocidad y aceleración**.

2.1 El movimiento es relativo

Todo se mueve. Hasta las cosas que parecen estar en reposo se mueven **respecto** al Sol y las estrellas, es decir, su movimiento es relativo a estos astros. Un libro que está en reposo respecto a la mesa sobre la que está se mueve a unos 30 kilómetros por segundo respecto al Sol, y aún más rápido respecto al centro de nuestra galaxia. Cuando estudiamos el movimiento de algún objeto, lo describimos respecto a otro objeto. Cuando decimos que un transbordador espacial se desplaza a 8 kilómetros por segundo, es respecto a la superficie terrestre. Cuando decimos que un auto de carreras alcanza una velocidad de 300 kilómetros por hora, queremos decir, por supuesto, respecto a la pista. A menos que se indique lo contrario, cuando nos referimos a las velocidades de los objetos que nos rodean, lo decimos con respecto a la superficie terrestre. **El movimiento es relativo**.

2.2 Rapidez

Un objeto en movimiento se desplaza cierta distancia en un intervalo de tiempo dado. Por ejemplo, un auto recorre cierta cantidad de kilómetros en una hora. La **rapidez** es una medida de qué tan rápido se mueve un objeto. Es la **razón de cambio de la distancia recorrida**. La rapidez se mide siempre en términos de alguna unidad de distancia dividida por una unidad de tiempo. La rapidez se define como la distancia recorrida por unidad de tiempo. Aquí la palabra “por” significa “dividido por”.

Se puede usar cualquier combinación de unidades de distancia y tiempo para expresar una rapidez: millas por hora (mi/h); kilómetros por hora (km/h); metros por segundo (m/s); años-luz por siglo; o cualquier combinación que sea útil y conveniente. Nosotros usaremos principalmente metros por segundo (m/s). En la tabla siguiente se muestran algunas rapidezces comparativas en distintas unidades.

km/h	mi/h	m/s
20	12	6
40	25	11
60	37	17
80	50	22
100	62	28
120	75	33

Rapidez instantánea

Un auto no se desplaza siempre con la misma rapidez. El auto puede recorrer una calle a 50 km/h, reducir su rapidez a 0 km/h en un semáforo y luego aumentarla a sólo 30 km/h debido al tráfico. Podemos conocer la rapidez de un auto en cualquier instante

mirando el **velocímetro**. La **rapidez en cualquier instante** se conoce como **rapidez instantánea**. Un auto que viaja a 50 km/h puede quizá mantener esta rapidez durante un minuto. Si conservara la misma rapidez durante una hora completa recorrería 50 km. Si la conservara durante sólo media hora recorrería únicamente la mitad de esta distancia, es decir, 25 km. Si la conservara durante sólo un minuto recorrería menos de 1 km.

Rapidez media

Cuando alguien planea realizar un viaje en auto, a menudo le interesa saber cuánto tiempo le tomará recorrer cierta distancia. Ciertamente el auto no viajará con la misma rapidez durante todo el recorrido. Lo único que le interesa al conductor es la **rapidez promedio** o **rapidez media** para la totalidad del trayecto. La **rapidez media** se define de la siguiente manera:

$$\text{rapidez media} = \frac{\text{distancia total recorrida}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

Es fácil calcular la rapidez media. Por ejemplo, si recorremos una distancia de 60 kilómetros en un periodo de 1 hora, decimos que nuestra rapidez media es de 60 kilómetros por hora (60 km/h). O bien, si recorremos 300 kilómetros en 4 horas veremos que:

$$\text{rapidez media} = \frac{300 \text{ km}}{4 \text{ h}} = 75 \text{ km/h}$$

Puesto que la rapidez media es la distancia total recorrida dividida por el tiempo total del desplazamiento, no indica las distintas rapidezces ni las variaciones que puedan haber ocurrido en intervalos de tiempo menores. En la práctica, nos desplazamos con muchas rapidezces distintas en la mayoría de nuestros viajes, por lo que la rapidez media suele ser muy diferente de la rapidez en cualquier instante, o rapidez instantánea. Pero ya sea que nos refiramos a la rapidez media o a la rapidez instantánea, estamos hablando de la razón de cambio de la distancia recorrida.

► Preguntas

- a. Todo auto tiene asociado al velocímetro un odómetro (cuenta kilómetros) que mide la distancia recorrida. Si ponemos la indicación inicial en cero al comienzo de un viaje y el odómetro marca 35 km media hora después, ¿cuál ha sido la rapidez media?
b. ¿Sería posible alcanzar esta rapidez media sin que la indicación del velocímetro exceda de 70 km/h?
2. Si un guepardo (chita) mantiene una rapidez constante de 25 m/s recorrerá 25 metros cada segundo. ¿Qué distancia recorrerá en 10 segundos? ¿Y en 1 minuto?

2.3 Velocidad

En el lenguaje cotidiano podemos usar las palabras rapidez y velocidad indistintamente. En física hacemos una distinción entre ellas. Dicho de manera muy sencilla, la diferencia es que la **velocidad** es una **rapidez en una dirección dada**. Cuando decimos que un auto viaja a 60 km/h estamos indicando su rapidez. Pero si decimos que un auto se desplaza a 60 km/h hacia el norte estamos especificando su velocidad. La rapidez describe qué tan rápido se desplaza un objeto; la velocidad nos dice qué tan rápido y en qué dirección.* En la siguiente sección veremos que hay buenas razones para distinguir entre rapidez y velocidad.

* Las cantidades con dirección se llaman **vectores**; la velocidad es un vector. Las cantidades que no tienen dirección se conocen como **escalares**; la rapidez es un escalar.

► **Respuestas**

(¿Estás leyendo esto antes de formular en tu mente una respuesta razonada? De ser así, ¿también sueles ejercitar tu cuerpo mirando a otros hacer abdominales? ¡Ejercita tu pensamiento!)

1. a.

$$\text{rapidez media} = \frac{35 \text{ km}}{0,5 \text{ h}} = 70 \text{ km/h}$$

b. Si el viaje comienza y termina con rapidez cero esto no es posible, ya que cada intervalo con rapidez instantáneas inferiores a 70 km/h tendría que estar compensado por rapidez instantáneas superiores a 70 km/h para dar un promedio de 70 km/h. En la práctica, las rapidez medias suelen ser apreciablemente inferiores a las rapidez instantáneas pico.

2. En 10 s el chita recorrerá 250 m, y en 1 minuto (es decir, 60 s) recorrerá 1500 m, o sea, ¡una distancia mayor que 15 canchas de fútbol! Si conocemos la rapidez media y el tiempo de recorrido, la distancia recorrida será

$$\text{distancia} = \text{rapidez media} \times \text{intervalo de tiempo}$$

$$\text{distancia} = (25 \text{ m/s}) \times (10 \text{ s}) = 250 \text{ m}$$

$$\text{distancia} = (25 \text{ m/s}) \times (60 \text{ s}) = 1500 \text{ m}$$

Con un poco de reflexión verás que esta relación no es más que un reordenamiento de

$$\text{rapidez media} = \frac{\text{distancia}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

► **Pregunta**

El velocímetro de un auto que se desplaza hacia el norte indica 60 km/h. El auto pasa junto a otro auto que viaja hacia el sur a 60 km/h. ¿Viajan los autos con la misma rapidez? ¿Viajan con la misma velocidad?

Velocidad constante

De la definición de velocidad se deduce que una **velocidad constante requiere que tanto la rapidez como la dirección sean constantes**. Que la **rapidez** sea **constante** significa que el movimiento conserva la **misma rapidez**: el objeto no se mueve ni más rápido ni más lentamente. Que la **dirección** sea **constante** significa que el **movimiento** ocurre **en línea recta: la trayectoria** del objeto **no se curva**. El movimiento a velocidad constante es un movimiento en línea recta y con rapidez constante.

► **Respuesta**

Los autos viajan con la misma rapidez, pero con velocidades opuestas, ya que se mueven en direcciones opuestas.

Velocidad variable

Si la rapidez o la dirección (o ambas) cambian, la velocidad cambia. No es lo mismo rapidez constante que velocidad constante. Por ejemplo, **si un objeto se mueve con rapidez constante a lo largo de una trayectoria curva, su velocidad no es constante** porque **su dirección está cambiando** a cada instante.

Un auto tiene tres mandos que sirven para cambiar la velocidad. El primero es el **acelerador**, que se usa para aumentar la rapidez. El segundo es el **freno**, que sirve para reducir la rapidez. El tercero es el **volante**, que sirve para cambiar de dirección.

2.4 Aceleración

Podemos **cambiar el estado de movimiento** de un objeto cambiando su rapidez, su dirección, o ambas cosas. Cualquiera de estos cambios constituye un cambio de velocidad. En ocasiones nos interesa saber qué tan rápido cambia la velocidad. Un conductor que se quiere adelantar a otro auto en una carretera de dos carriles desearía ser capaz de aumentar su rapidez y adelantarlo en el menor tiempo posible. La **razón de cambio de la velocidad** se conoce como **aceleración**. Ya que la aceleración es una razón de cambio, se trata de una medida de qué tan rápido cambia la velocidad respecto al tiempo:

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

Todos conocemos bien los efectos de la aceleración en un auto. El conductor oprime el pedal que, adecuadamente, se llama acelerador. Entonces los pasajeros experimentan una **aceleración** y tienden a **inclinarse hacia la parte trasera** del auto. La idea central en la definición de la aceleración es el **cambio**. Siempre que cambiamos nuestro estado de movimiento estamos acelerando. Un auto con buena aceleración es capaz de cambiar su velocidad rápidamente. Un auto que puede pasar de cero a 60 km/h en 5 segundos tiene una aceleración mayor que un auto que pasa de cero a 80 km/h en 10 segundos. De modo que **tener buena aceleración significa ser capaz de “cambiar rápidamente”, y no necesariamente ser veloz**.

En física el término aceleración se aplica tanto a los aumentos como a las disminuciones de rapidez. Los frenos de un auto pueden producir grandes desaceleraciones; es decir, pueden producir una gran disminución de la rapidez del vehículo en un segundo. A menudo esto se conoce como **desaceleración** o **aceleración negativa**. Experimentamos una desaceleración cuando el conductor de un colectivo o de un auto aplica los frenos y tendemos a **inclinarnos hacia adelante**.

El término aceleración se aplica tanto a cambios de rapidez como a cambios de dirección. Si recorres una **curva con una rapidez constante** de 50 km/h sentirás los efectos de la aceleración como una tendencia a **inclinarte hacia el exterior de la curva**. Puedes recorrer la curva con rapidez constante, pero tu velocidad no será constante porque tu dirección está cambiando a cada instante. Tu estado de movimiento está cambiando; es decir, estás acelerando. Ahora puedes ver por qué es importante distinguir entre rapidez y velocidad y por qué la aceleración se define como la **razón de cambio de la velocidad**, y **no de la rapidez**. **La aceleración, al igual que la velocidad, tiene dirección**. Si cambiamos la rapidez o la dirección, o ambas, estamos cambiando la velocidad, es decir, estamos acelerando.

Cuando se estudia el movimiento en línea recta es común usar las palabras rapidez y velocidad indistintamente. Cuando la **dirección no cambia** podemos expresar la aceleración como la razón de cambio de la rapidez.

$$\text{aceleración (en una recta)} = \frac{\text{cambio en la rapidez}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

La rapidez y la velocidad se miden en unidades de distancia divididas por el tiempo. Las unidades de aceleración son un poco más complicadas. Puesto que la aceleración es el cambio en la velocidad o la rapidez por intervalo de tiempo, se expresa en unidades de velocidad divididas por el tiempo. Si aumentamos nuestra rapidez **sin cambiar de dirección** de cero a 10 km/h en 1 segundo, nuestro cambio de rapidez será de 10 km/h en un intervalo de tiempo de 1 s. Nuestra aceleración (a lo largo de una línea recta) es entonces

$$\text{aceleración} = \frac{\text{cambio en la rapidez}}{\text{intervalo de tiempo}} = \frac{10 \text{ km/h}}{1 \text{ s}} = 10 \text{ km/h} \cdot \text{s}$$

La aceleración es de 10 km/h·s (que se lee “10 kilómetros por hora segundo”). Observa que la unidad de tiempo aparece dos veces: una vez como unidad de la rapidez y

otra como intervalo de tiempo durante el cual cambia la rapidez. Si entiendes esto podrás contestar las siguientes preguntas. Si no, las respuestas a las preguntas te pueden ser útiles.

► **Preguntas**

1. Supón que la rapidez de un auto que se desplaza en línea recta aumenta constantemente a cada segundo; en primera instancia varía de 35 a 40 km/h, luego de 40 a 45 km/h y finalmente de 45 a 50 km/h. ¿Cuál es su aceleración?
2. En 5 segundos la rapidez de un auto que se mueve en línea recta aumenta de 50 km/h a 65 km/h, mientras que un camión va del reposo a 15 km/h en línea recta. ¿Cuál de los dos vehículos tiene mayor aceleración? ¿Cuál es la aceleración de cada uno de ellos?

2.5 Caída libre: rapidez adquirida

Suelta una piedra y ésta caerá. ¿Se acelera durante la caída? Sabemos que parte del reposo y que adquiere rapidez al caer. Lo sabemos porque podríamos atraparla sin hacernos daño después de una caída de un metro o dos, pero no si cae desde lo alto de un edificio. Así pues, la piedra adquiere una mayor rapidez durante el tiempo que le toma caer desde lo alto de un edificio que durante el intervalo de tiempo menor que requiere para caer un metro. Este aumento de la rapidez indica que **la piedra sí se acelera al caer**.

La **atracción gravitatoria** hace que la piedra caiga una vez que la hemos soltado. En la vida real, la **resistencia del aire** afecta la aceleración de un objeto que cae. **Imaginemos que no existe la resistencia del aire y que la gravedad es lo único que afecta a un objeto que cae**. Decimos entonces que el objeto está en **caída libre**. Los objetos que caen libremente están sujetos únicamente a la acción de la gravedad. En la tabla siguiente se muestran los valores de la rapidez instantánea, a intervalos de 1 segundo, de un objeto que cae libremente desde el reposo. El **tiempo transcurrido** es el **tiempo** que ha pasado **desde el inicio de la caída**.

Tiempo transcurrido (s)	Rapidez instantánea (m/s)
0	0
1	10
2	20
3	30
4	40
...	...
t	$10 t$

► **Respuestas**

1. Vemos que el aumento en la rapidez es de 5 km/h en cada intervalo de 1 s. Por lo tanto, la aceleración es de 5 km/h·s durante cada intervalo.
2. El aumento en la rapidez de ambos vehículos es de 15 km/h durante el mismo intervalo de tiempo, por lo que tienen la misma aceleración. Si lograste darte cuenta de esto antes de calcular las aceleraciones, estás pensando en forma conceptual. La aceleración de los vehículos es:

$$\text{aceleración} = \frac{\text{cambio en la rapidez}}{\text{intervalo de tiempo}} = \frac{15 \text{ km/h}}{5 \text{ s}} = 3 \text{ km/h} \cdot \text{s}$$

Aunque las velocidades de los vehículos son muy distintas, la razón de cambio de la rapidez es la misma para ambos. Por lo tanto, las aceleraciones son iguales.

Observa cómo cambia la rapidez en la tabla anterior. La rapidez instantánea del objeto aumenta 10 metros por segundo cada segundo. Este aumento de rapidez por segundo es la aceleración:

$$\text{aceleración} = \frac{\text{cambio en la rapidez}}{\text{intervalo de tiempo}} = \frac{10 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}^2$$

Nota que cuando el cambio en la rapidez se expresa en m/s y el intervalo de tiempo se expresa en s, la aceleración queda expresada en m/s^2 (que se lee “metros por segundo al cuadrado”). La unidad de tiempo, el segundo, aparece dos veces: la primera en la unidad de rapidez y la segunda como unidad del intervalo de tiempo durante el cual cambia la rapidez.

La aceleración de un objeto que cae en condiciones en que podemos despreciar la resistencia del aire es de alrededor de 10 metros por segundo al cuadrado (10 m/s^2). Cuando se habla de la **caída libre** es usual representar la **aceleración** con la letra **g** (porque en la caída libre la aceleración se debe a la gravedad). **Aunque g varía ligeramente en distintas partes del mundo, su valor promedio es de casi 10 m/s^2 . Más exactamente es de $9,8 \text{ m/s}^2$** , pero es más fácil entender las ideas esenciales de la caída libre si lo redondeamos a 10 m/s^2 . En los casos en que la exactitud sea importante se debe usar el valor $9,8 \text{ m/s}^2$ para la aceleración en caída libre. Observa en la tabla anterior que la **rapidez instantánea** de un objeto que cae libremente desde el reposo es igual al producto de la aceleración por el tiempo de caída.

$$\text{rapidez instantánea} = \text{aceleración} \times \text{tiempo transcurrido}$$

La rapidez instantánea **v** de un objeto que cae libremente desde el reposo al cabo de un tiempo **t** se puede expresar en forma compacta como:*

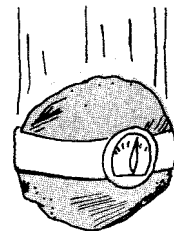
$$v = g t$$

* Esta relación se obtiene a partir de la definición de la aceleración cuando ésta es **g** y la rapidez inicial es cero. Si en el instante inicial el objeto se mueve hacia abajo con una rapidez **v₀**, la rapidez **v** al cabo de un tiempo **t** es $v = v_0 + g t$. Aquí no nos ocuparemos de estas complicaciones adicionales. ¡Podemos aprender mucho aun de los casos más simples!

La letra **v** simboliza tanto la rapidez como la velocidad. Toma unos momentos para verificar la validez de esta ecuación por medio de la tabla. Podrás ver que al multiplicar la aceleración $g = 10 \text{ m/s}^2$ por el tiempo transcurrido en segundos, obtendrás la rapidez instantánea en metros por segundo.

► Pregunta

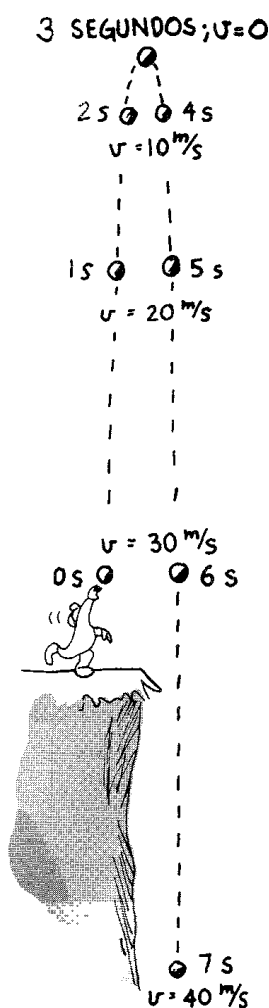
¿Cuál será la lectura del **velocímetro** montado en la piedra de la figura tras 4,5 segundos de caída desde el reposo? ¿Y al cabo de 8 s? ¿Y de 100 s?



Hasta aquí hemos considerado objetos que se desplazan directamente hacia abajo por efecto de la gravedad. Ahora bien, cuando lanzamos un objeto hacia arriba se sigue moviendo hacia arriba durante cierto tiempo, al cabo del cual vuelve a bajar. En el **punto más elevado**, cuando el objeto cambia su dirección de movimiento, la **rapidez instantánea** es **cero**. Entonces empieza a moverse hacia abajo como si lo hubiésemos dejado caer desde el reposo a esa altura.

¿Qué ocurre en la parte de la trayectoria en que el objeto se desplaza hacia arriba? Durante el movimiento hacia arriba la velocidad del objeto cambia desde el valor inicial hasta cero. Sabemos que se está acelerando porque su velocidad está cambiando; en efecto, su rapidez disminuye. La aceleración durante el movimiento hacia arriba es la misma que durante el movimiento hacia abajo: $g = 10 \text{ m/s}^2$. La **rapidez instantánea** en **cada punto** de la trayectoria es **la misma**, ya sea que el objeto se desplace hacia arriba o hacia abajo (ve la figura). Pero, por supuesto, las **velocidades** son **diferen-**

tes, porque están en **direcciones distintas**. A cada segundo, la rapidez o velocidad del objeto cambia en 10 m/s. La aceleración es de 10 m/s² todo el tiempo, ya sea que el objeto se mueva hacia arriba o hacia abajo.



► **Respuesta**

Las lecturas del velocímetro serán 45 m/s, 80 m/s y 1000 m/s, respectivamente. Se puede obtener esta respuesta a partir de la ecuación $v = g t$, donde **g** se reemplaza por 10 m/s².

2.6 Caída libre: distancia recorrida

La **rapidez** adquirida por un objeto en caída libre es totalmente distinta de la **distancia** que recorre. Para entender esto, vuelve a la tabla de la pág. 10. Al cabo del primer segundo, el objeto se mueve hacia abajo con una rapidez instantánea de 10 m/s. ¿Significa esto que recorre una distancia de 10 m durante el primer segundo? No. Para recorrer 10 m durante el primer segundo tendría que poseer una rapidez media de 10 m/s. Pero sabemos que la rapidez era cero en el instante inicial y que sólo llegó a 10 m/s en el último instante del primer segundo. ¿Cómo podemos calcular la rapidez media de un objeto que se mueve en línea recta con aceleración constante, como en el presente caso? Pues de la misma manera como calculamos el promedio de cualesquiera dos números: sumándolos y dividiendo el resultado por 2. Así pues, súmalos y divide por dos. Así, si sumamos la velocidad inicial, cero en este caso, y la velocidad final de 10 m/s y dividimos el resultado por 2, obtendremos 5 m/s. Durante el primer segundo, el objeto tiene una rapidez media de 5 m/s, y recorre una distancia de 5 m. Para verificar si has entendido este resultado considera detenidamente la siguiente pregunta antes de seguir adelante.

► **Pregunta**

En el transcurso del segundo intervalo de tiempo de la tabla, la rapidez inicial del objeto es de 10 m/s y la final de 20 m/s. ¿Cuál es la rapidez media del objeto durante este intervalo de 1 s? ¿Qué distancia recorre en el mismo y cuál es la distancia total recorrida?

► **Respuesta**

La rapidez media será

$$\frac{\text{rapidez inicial} + \text{rapidez final}}{2} = \frac{10 \text{ m/s} + 20 \text{ m/s}}{2} = \frac{30 \text{ m/s}}{2} = 15 \text{ m/s}$$

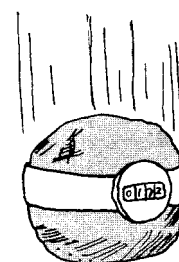
La distancia recorrida en el segundo intervalo será 15 m y en consecuencia:

$$\text{distancia total recorrida} = 5 \text{ m} + 15 \text{ m} = 20 \text{ m}$$

En la tabla siguiente se muestra la distancia total recorrida por un objeto que cae libremente desde el reposo.

Tiempo transcurrido (s)	Distancia recorrida (m)
0	0
1	5
2	20
3	45
4	80
...	...
t	$\frac{1}{2}gt^2$

Supón que se ha montado un **odómetro** en una piedra que cae. La distancia que indica el instrumento aumenta con el tiempo de acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla anterior. Al cabo de un segundo el objeto ha recorrido 5 m. Al cabo de 2 s ha recorrido una distancia total de 20 m. Al cabo de 3 s la distancia total recorrida es de 45 m. Estas distancias forman un patrón matemático: al cabo del tiempo t , el objeto ha caído una distancia d de $\frac{1}{2}gt^2$.*



* distancia = rapidez media x intervalo de tiempo

$$= \frac{\text{rapidez inicial} + \text{rapidez final}}{2} \times \text{tiempo}$$

$$= \frac{0 + gt}{2} \cdot t$$

$$= \frac{1}{2}gt^2$$

Intenta calcular la distancia recorrida para algunos de los tiempos que aparecen en la tabla anterior usando $g = 10 \text{ m/s}^2$.

► **Pregunta**

Una manzana cae de un árbol y llega al suelo en un segundo. ¿Cuál es su rapidez al llegar al suelo? ¿Cuál es su rapidez media durante la caída? ¿A qué altura se encontraba antes de caer?

2.7 Resistencia del aire y objetos que caen

Deja caer una moneda y una pluma a la vez, y verás que la moneda llega al suelo mucho antes que la pluma. El hecho de que las **aceleraciones** sean **diferentes** se debe a la **resistencia del aire**. Esto se puede demostrar muy claramente por medio de un tubo cerrado de vidrio conectado a una bomba de vacío. La moneda y la pluma se colocan en el interior. Si hay aire dentro del tubo y lo invertimos, la moneda caerá mucho más rápido que la pluma: la pluma flota en el aire. Pero **si sacamos el aire del tubo** por medio de la bomba de vacío y luego lo invertimos repentinamente, **la pluma y la moneda caen juntas** con una aceleración g . La resistencia del aire altera en forma notable el movimiento de un trozo de papel o de una pluma que caen. Pero el efecto de la resistencia del aire es menos notable en el caso de objetos más compactos, como una piedra o una pelota de fútbol. **Podemos suponer que la mayoría de los objetos que caen en el aire lo hacen libremente.**



► **Respuesta**

Tomando $g = 10 \text{ m/s}^2$, obtenemos

$$v = g t = (10 \text{ m/s}^2) \cdot (1 \text{ s}) = 10 \text{ m/s}$$

$$\bar{v} = \frac{v \text{ inicial} + v \text{ final}}{2} = \frac{(0 \text{ m/s}) + (10 \text{ m/s})}{2} = 5 \text{ m/s}$$

(La **barra** sobre el símbolo **v** indica que se trata de una **rapidez media**.)

$$d = \text{rapidez media} \times \text{intervalo de tiempo} = (5 \text{ m/s}) \times (1 \text{ s}) = 5 \text{ m}$$

o bien, de manera equivalente,

$$d = \frac{1}{2} g t^2 = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot (10 \text{ m/s}^2) \cdot (1 \text{ s})^2 = 5 \text{ m}$$

Observa que la distancia se puede calcular a partir de cualquiera de estas dos relaciones equivalentes.

2.8 Rapidez adquirida, distancia recorrida, velocidad de cambio de la rapidez

Gran parte de las confusiones que surgen cuando se estudia el movimiento de los objetos que caen proviene de **mezclar** la **rapidez adquirida** con la **distancia recorrida**. Cuando deseamos especificar “**qué tan rápido**” se mueve un objeto que cae libremente desde el reposo al cabo de cierto tiempo, nos referimos a la **rapidez** o a la **velocidad**. La ecuación apropiada es $v = g t$. Cuando deseamos especificar “**hasta dónde**” ha llegado el objeto, nos referimos a la **distancia**. La ecuación apropiada es entonces $d = \frac{1}{2} g t^2$. La velocidad o la rapidez (qué tan rápido) y la distancia (hasta dónde) son conceptos completamente distintos.

El concepto más confuso, y uno de los más difíciles de todos los que veremos, es “**qué tan rápido cambian la rapidez o la velocidad**”, es decir, la **aceleración**. Lo que hace que la aceleración sea tan complicada es que se trata de la **razón de cambio de una razón de cambio**. A menudo la confundimos con la velocidad, que es una razón de cambio por sí misma (la razón de cambio de la distancia recorrida). La aceleración no es velocidad, **ni siquiera es un cambio en la velocidad**; la aceleración es la **razón de cambio de la propia velocidad**.

Por favor, ten paciencia contigo mismo si encuentras que requieres algunas horas para entender con claridad el movimiento. ¡A la humanidad le tomó casi 2000 años lograrlo, desde la época de Aristóteles hasta Galileo!

2 Repaso

Sumario de conceptos

El movimiento se describe respecto a algo.

La rapidez es la razón de cambio de la distancia recorrida y se mide en unidades de distancia divididas por el tiempo.

- La rapidez instantánea es la rapidez en cualquier instante.
- La rapidez media es el cociente entre la distancia total recorrida y el intervalo de tiempo.

La velocidad es la rapidez junto con la dirección del desplazamiento.

- La velocidad sólo es constante si tanto la rapidez como la dirección son constantes.

La aceleración es la razón de cambio de la velocidad.

- Decimos que un objeto se acelera cuando su rapidez aumenta, cuando su rapidez disminuye o cuando cambia la dirección de movimiento.
- La aceleración se expresa en unidades de velocidad divididas por el tiempo.

Decimos que un objeto cae libremente si está sujeto únicamente a la acción de la gravedad y la resistencia del aire no afecta su movimiento.

- Un objeto en caída libre tiene una aceleración constante de alrededor de 10 m/s^2 .

Términos importantes

aceleración (2.4)

caída libre (2.5)

rapidez (2.2)

rapidez instantánea (2.2)

rapidez media (2.2)

razón de cambio (2.1)

respecto a (2.1)

tiempo transcurrido (2.5)

velocidad (2.3)

Preguntas

1. ¿Qué significa que el movimiento sea relativo? En la vida cotidiana, ¿respecto a qué medimos el movimiento generalmente? (2.1)
2. Supón que atraviesas la habitación a 1 kilómetro por hora. Expresa esta rapidez en unidades o símbolos abreviados. (2.2)
3. ¿En qué difiere la rapidez instantánea de la rapidez media? (2.2)
4. ¿Qué mide el velocímetro de un auto: rapidez instantánea o rapidez media? (2.2)
5. ¿En qué difieren la rapidez y la velocidad? (2.3)
6. Si el velocímetro de un auto indica una rapidez constante de 40 km/h, ¿podemos decir que la velocidad del auto es constante? ¿Por qué? (2.3)
7. ¿Cuáles son los mandos del auto que permiten cambiar la rapidez? Menciona otro mando que permita cambiar la velocidad. (2.3)
8. ¿Qué cantidad describe qué tan rápido cambia la rapidez de un movimiento o su dirección? (2.4)
9. La aceleración es la razón de cambio de ¿qué cosa? (2.4)
10. ¿Cuál es la aceleración de un auto que se desplaza en línea recta con una rapidez constante de 100 km/h? (2.4)
11. ¿Cuál es la aceleración de un auto que se mueve en línea recta y cuya rapidez aumenta de cero a 100 km/h en 10 segundos? (2.4)
12. ¿En qué cantidad varía en cada segundo la rapidez de un vehículo que se mueve en línea recta con una aceleración de 2 km/h·s? ¿De 4 km/h·s? ¿De 10 km/h·s? (2.4)
13. ¿En qué condiciones podemos definir la aceleración como la razón de cambio de la rapidez? (2.4)
14. ¿Por qué aparece la unidad de tiempo dos veces en la unidad de aceleración? (2.4)
15. ¿Qué significa que un objeto esté en “caída libre”? (2.5)
16. ¿Cuánto aumenta la rapidez de un objeto cada segundo si está en caída libre? (2.5)
17. ¿Cuál es la rapidez instantánea, al cabo de cinco segundos, de un objeto que cae libremente desde el reposo? ¿Y al cabo de seis segundos? (2.5)
18. ¿Cuál es la aceleración al cabo de cinco segundos de un objeto que cae libremente desde el reposo? ¿Al cabo de seis segundos? ¿Al cabo de un tiempo cualquiera t ? (2.5)

19. ¿Qué distancia recorrerá en cinco segundos un objeto en caída libre que parte del reposo? ¿Y en seis segundos? (2.6)
20. ¿Qué distancia recorrerá un objeto en un segundo si su rapidez media durante ese intervalo es de 5 m/s? (2.6)
21. ¿Qué distancia habrá recorrido un objeto en caída libre que parte del reposo cuando su rapidez instantánea es de 30 m/s? (2.6)
22. ¿La resistencia del aire hace aumentar o disminuir la aceleración de un objeto que cae? (2.7)
23. ¿Cuál es la ecuación apropiada para calcular la rapidez de un objeto que cae libremente desde el reposo? ¿Y para la distancia recorrida? (2.8)

Piensa y explica

1. ¿Por qué un objeto que se acelera puede conservar una rapidez constante pero no una velocidad constante?
2. La luz viaja en línea recta con una rapidez constante de 300.000 km/s. ¿Cuál es su aceleración?
3. ¿Qué tiene mayor aceleración moviéndose en línea recta: un auto cuya rapidez aumenta de 50 a 60 km/h o una bicicleta que pasa de cero a 10 km/h en el mismo intervalo de tiempo? Defiende tu respuesta.
4. a. ¿Cuánto aumentaría en cada segundo la indicación de la rapidez de un velocímetro montado sobre una piedra en caída libre?
b. Supón que la piedra cae libremente cerca de la superficie de un planeta en el que $g = 20 \text{ m/s}^2$. ¿Cuánto cambiaría su rapidez a cada segundo en la indicación del velocímetro?
5. Si una piedra en caída libre estuviera equipada con un odómetro, ¿cómo cambiaría la indicación de la distancia recorrida cada segundo: permanecería igual, aumentaría o disminuiría con el tiempo?
6. a. ¿Cuánto disminuye en cada segundo la rapidez de una pelota que se lanza hacia arriba en ausencia de resistencia del aire?
b. ¿Cuánto aumenta a cada segundo su rapidez una vez que ha alcanzado el punto más alto y ha comenzado a descender?
c. ¿Requiere más tiempo para subir que para bajar?
7. La tabla de la pág. 10 muestra que la rapidez instantánea de un objeto que cae desde el reposo es de 10 m/s al cabo de 1 s. La tabla de la pág. 13 indica que el objeto sólo ha recorrido 5 m al cabo de este tiempo. Tu amigo afirma que esto es incorrecto, ya que la distancia recorrida es igual al producto de la rapidez por el tiempo, por lo que el objeto debería recorrer 10 m. ¿Qué opinas?
8. a. ¿Cuál es al cabo de 8 s la rapidez instantánea de un objeto en caída libre que parte del reposo?
b. ¿Cuál es su rapidez media durante este periodo?
c. ¿Qué distancia recorre en este periodo?
9. ¿Cuál será la velocidad de un auto que, partiendo del reposo, acelera a 2 m/s^2 durante 10 segundos?
10. ¿Con qué rapidez debemos lanzar una pelota hacia arriba para que permanezca en el aire durante 10 segundos? (Desprecia la resistencia del aire.)

3 Primera ley del movimiento: inercia

Si vieras que una roca que está sobre un terreno plano empieza a moverse repentinamente, buscarías la razón de su movimiento. Quizá tratarías de determinar si alguien está tirando de ella con una cuerda, o empujándola con un palo, o alguna otra cosa. Pensarías que el movimiento de la roca tiene una **causa**. Hoy en día no creemos que tales cosas ocurran sin causa. En general, diríamos que la **causa del movimiento** de la roca es una **fuerza** de alguna especie. Sabemos que hay algo que obliga a la roca a moverse.

3.1 El movimiento según Aristóteles

La idea de que la causa del movimiento son las fuerzas data del siglo IV A. C., cuando los griegos estaban desarrollando conceptos científicos. El científico griego más destacado fue Aristóteles, quien estudió el movimiento y lo dividió en dos tipos: **movimiento natural** y **movimiento violento**.

En la **Tierra**, el movimiento **natural** podía ser directamente **hacia abajo** o directamente **hacia arriba**, como la caída de una roca hacia el suelo o el ascenso de una bocanada de humo en el aire. Se suponía que los objetos buscaban sus **lugares naturales** de reposo: las piedras iban hacia el suelo y el humo subía como las nubes. Era natural que las cosas pesadas cayeran y que las cosas muy ligeras ascendieran. Aristóteles afirmó que, en el **cielo**, el **movimiento circular** era **natural**, pues no tenía principio ni fin. Así pues, los planetas y las estrellas se movían alrededor de la Tierra en círculos perfectos. Y como su movimiento era natural, **no estaba provocado por fuerza alguna**.

Por otro lado, se consideraba **violento un movimiento impuesto**. Un movimiento violento era resultado de la acción de fuerzas que tiraban o empujaban. Una carreta se movía porque un caballo tiraba de ella; el juego de tirar de la cuerda se ganaba tirando de la cuerda; un barco era impulsado por la fuerza del viento. Lo más importante del movimiento violento era que tenía una **causa externa**; era un movimiento impartido a los objetos. Los objetos que se encontraban en sus lugares naturales de reposo no podían moverse por sí mismos, sino que era necesario empujarlos o tirar de ellos.

Durante 2000 años se creyó comúnmente que si un objeto **se movía** “contra su naturaleza”, había que buscar la causa en la acción de alguna **fuerza**. Tales movimientos sólo eran posibles si había una fuerza externa; si no había fuerza, no habría movimiento. De modo que el **estado natural** de los objetos era el **reposo si no había fuerzas** que actuasen sobre ellos. Y como para la mayoría de los pensadores hasta el siglo XVI era evidente que **la Tierra se encontraba en su lugar natural**, y que **una fuerza lo bastante grande para moverla era inimaginable**, parecía claro que **la Tierra no se movía**.

3.2 Copérnico y el movimiento de la Tierra

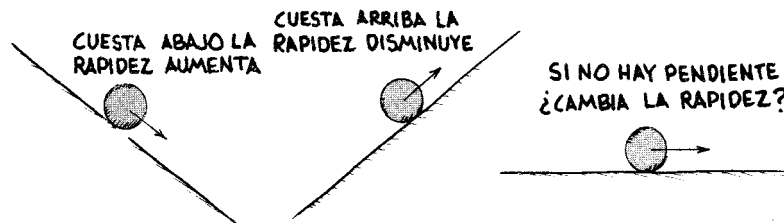
Fue en medio de estas circunstancias cuando el astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543) formuló su teoría del movimiento de la Tierra. Copérnico dedujo que la forma más sencilla de explicar los movimientos observados del Sol, la Luna y los planetas por el cielo era suponiendo que **la Tierra y otros planetas describen círculos alrededor del Sol**. Esta idea era en extremo controvertida en aquella época y Copérnico decidió elaborar sus ideas en secreto para evitar ser perseguido. En los últimos años de su vida, a instancias de sus amigos, finalmente entregó sus ideas a la imprenta. Copérnico recibió el primer ejemplar de su obra *De Revolutionibus* el 24 de mayo de 1543, día en que murió.

3.3 El movimiento según Galileo

Galileo, el científico más importante del siglo XVI, fue el primero en mostrar que la idea de Copérnico del movimiento de la Tierra era razonable. Y lo hizo **acabando con la suposición de que se requería una fuerza para que un objeto se mantuviese en movimiento**.

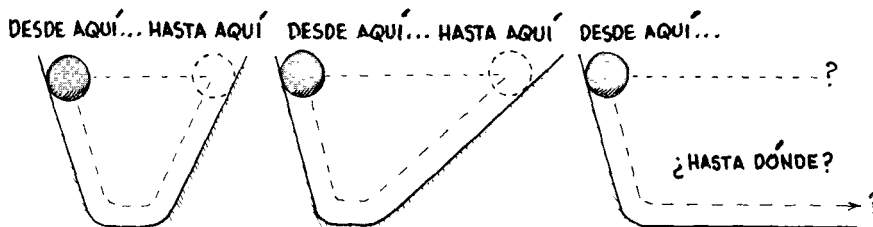
Cualquier **acción de tirar o empujar** es una **fuerza**. Se llama **fricción** a la **fuerza que actúa entre dos objetos que resbalan uno sobre otro**. La fricción **se debe a las irregularidades de las superficies de los objetos que se deslizan**. Hasta las superficies más pulidas presentan irregularidades microscópicas que dificultan el movimiento. **Si no existiese la fricción, los objetos en movimiento seguirían moviéndose indefinidamente sin necesidad de que interviniera una fuerza**.

Galileo mostró que sólo **cuando hay fricción** –lo que ocurre en la mayoría de los casos– se requiere una **fuerza para mantener** un objeto en **movimiento**. Para probar su idea, se valió de **planos inclinados**, que son **superficies planas con un extremo más alto que otro**. Galileo observó que una pelota que rueda cuesta abajo sobre un plano inclinado adquiere rapidez (figura de la izquierda). La pelota rueda en la dirección de la gravedad de la Tierra. Una pelota que rueda cuesta arriba pierde rapidez (figura del centro). Rueda en una dirección opuesta a la de la gravedad. ¿Pero qué pasaría con una pelota que rodara sobre una superficie plana, es decir, ni en la dirección de la gravedad ni en la dirección contraria (figura de la derecha)? Galileo descubrió que la pelota rodaba sin cambiar su rapidez sobre un plano horizontal liso. Estableció así que, **en ausencia total de fricción, una pelota en movimiento horizontal seguiría moviéndose para siempre**. Una vez en movimiento, no hacía falta tirar de ella o empujarla para que siguiera moviéndose.



Galileo reafirmó su conclusión con otro razonamiento. Consideró el caso de **dos planos inclinados colocados uno frente a otro**, como en la figura siguiente. Una pelota que rodara cuesta abajo por uno de ellos, subiría por el otro hasta una altura casi igual. **Cuanto más lisos fuesen los planos inclinados, más similar sería la altura final a la altura inicial**. Galileo descubrió que la pelota tendía a alcanzar la misma altura **aun cuando el segundo plano fuera más largo** y estuviera inclinado en un ángulo menor. Para alcanzar la misma altura, la pelota tenía que recorrer una distancia mayor, y reduciendo aún más el ángulo del plano ascendente se obtenía el mismo resultado. La pelota recorría una distancia cada vez mayor en su tendencia a alcanzar la misma altura.

¿Qué ocurriría si redujésemos a cero el ángulo de inclinación del **segundo plano** hasta hacerlo **perfectamente horizontal**? ¿Qué distancia recorrería la pelota? Galileo se percató de que **sólo la fricción podría evitar que siguiera rodando eternamente**.



No estaba en la naturaleza de la pelota llegar al reposo, como había afirmado Aristóteles. **En ausencia de fricción, lo natural era que la pelota siguiera moviéndose**. Galileo estableció que todo objeto material presentaba **resistencia a cambiar su estado de movimiento**. Llamó a esta resistencia **inercia**.

El concepto de inercia enunciado por Galileo desacreditó la teoría aristotélica del movimiento. Aristóteles no se dio cuenta del concepto de la inercia porque nunca imaginó el movimiento sin fricción. Según su experiencia, todos los movimientos encontraban resistencia, y esta idea fue la piedra angular de su teoría del movimiento. La falla de Aristóteles en reconocer la **fricción** por lo que es, **una fuerza como cualquier otra, que puede estar presente o ausente**, impidió el progreso de la física durante casi 2000 años, hasta la época de Galileo. Una aplicación del concepto de la inercia, según Galileo, hubiera demostrado que no se requiere fuerza alguna para mantener moviéndose a la Tierra. Más tarde se vería que, **si bien es necesaria una fuerza (la gravitación) para mantener a la Tierra en órbita alrededor del Sol, no se requiere fuerza alguna para que conserve su movimiento**. En el espacio vacío del Sistema Solar no hay fricción, por lo que **la Tierra se desplaza alrededor del Sol sin perder rapidez**. El camino estaba libre para que Isaac Newton (1642-1727) sintetizara una **nueva visión del universo**.

► **Pregunta**

Supón que una pelota rueda sobre una mesa de billar y termina por detenerse. ¿Cómo interpretaría Aristóteles este comportamiento? ¿Cómo lo interpretaría Galileo? ¿Cómo lo Interpretarías tú?

► **Respuesta**

Posiblemente Aristóteles diría que la pelota se detiene porque busca su estado propio, que es el reposo. Galileo diría quizá que una vez que la pelota se ha puesto en movimiento, permanecería en movimiento; lo que se lo impide no es su naturaleza ni su estado propio de reposo, sino la fricción entre la pelota y la mesa. ¡Y sólo tú puedes responder la última pregunta!

3.4 Ley de la inercia de Newton

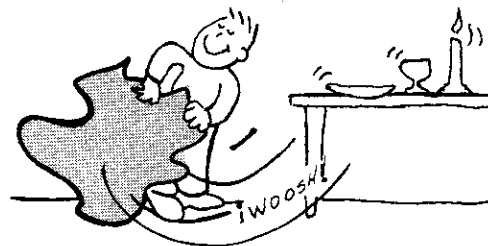
Antes de que hubiese transcurrido un año de la muerte de Galileo, nació Isaac Newton. En 1665, a la edad de 23 años, Newton obtuvo sus célebres **leyes del movimiento**. Estas leyes reemplazaron las ideas aristotélicas que habían dominado el razonamiento de los mejores pensadores durante casi dos milenios. En esta unidad estudiaremos la primera de las tres leyes de Newton. Las otras dos se analizarán en las unidades que siguen.

La **primera ley del movimiento de Newton**, que se conoce como **ley de inercia**, es otra forma de expresar la idea de Galileo.

Todo objeto persiste en su estado de reposo, o de movimiento en línea recta con rapidez constante, a menos que se le apliquen fuerzas que lo obliguen a cambiar dicho estado.

Dicho simplemente, **las cosas tienden a seguir haciendo lo que ya estaban haciendo**. Por ejemplo, unos platos sobre la mesa están en reposo y tienden a mantenerse en reposo, como se hace patente si tiras repentinamente del mantel sobre el que descansan. (Si quieres probar este experimento ¡comienza con platos irrompibles! Si lo haces correctamente verás que la breve y pequeña fuerza de fricción entre los platos y el mantel no basta para mover los platos en forma apreciable.) Un objeto en reposo tiende a permanecer en reposo. Sólo una fuerza más grande es capaz de cambiar dicho estado.

Considera ahora un objeto en movimiento. Si deslizas un disco de hockey sobre hielo sobre la superficie de una calle, alcanzará el reposo en poco tiempo. Si se desliza so-



bre una superficie de hielo, recorrerá una distancia mayor. Esto se debe a que la fuerza de fricción es muy pequeña. Si el disco se mueve sobre una **mesa de aire** donde la fricción es prácticamente nula, se deslizará sin pérdida de rapidez aparente. (En una mesa de aire, por medio de chorros de aire que salen por diminutos orificios, se obtiene una superficie sin fricción.) **Vemos, pues, que en ausencia de fuerzas los objetos en movimiento tienden a moverse indefinidamente en línea recta.** Un objeto lanzado desde una estación espacial situada en el vacío del espacio exterior se moverá para siempre. **Se moverá en virtud de su propia inercia.**

Vemos entonces que la ley de la inercia permite apreciar el movimiento desde un punto de vista totalmente distinto. Nuestros antepasados pensaban que el movimiento se debía a la acción de alguna fuerza, pero hoy sabemos que los objetos se siguen moviendo por sí mismos. Se requiere una fuerza para superar la fricción y para poner los objetos en movimiento en el instante inicial. **Una vez que un objeto se halla en movimiento en un entorno libre de fuerzas, seguirá moviéndose en línea recta por un tiempo indefinido.** En la siguiente unidad mostraremos que se requiere una fuerza para acelerar un objeto, pero no para mantener su movimiento si no hay fricción.

► Preguntas

1. ¿Qué tipo de trayectoria seguirían los planetas si la fuerza gravitatoria del Sol cesara repentinamente?
2. ¿Sería correcto decir que la inercia es la **razón** de que un objeto se resista al cambio y persista en su estado de movimiento?

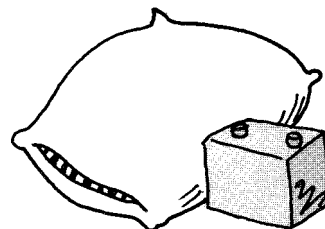
3.5 La masa, una medida de la inercia

Si pateas una lata vacía, la lata se mueve. Si está llena de arena no se moverá con tanta facilidad, y si está llena de plomo sólido, te harás daño. Una lata llena de plomo tiene más inercia que una lata llena de arena, la cual, a su vez, tiene más inercia que una lata vacía. La lata que tiene **más materia**, tiene **más inercia**. La **cantidad de inercia** de un objeto depende de su **masa**, es decir, de la **cantidad de materia** del objeto. **Cuanta más masa tenga un objeto, tanto mayor será la fuerza necesaria para cambiar su estado de movimiento. La masa es una medida de la inercia de un objeto.**



La masa no es lo mismo que el volumen

Muchas personas confunden la masa con el volumen. Piensan que un objeto de gran masa debe tener un gran volumen. Pero **el volumen es una medida del espacio** y se mide en unidades como centímetros cúbicos, metros cúbicos o litros. **La masa se mide en kilogramos.** (Un litro de leche, jugo o refresco –o de cualquier cosa compuesta principalmente de agua– tiene una masa de alrededor de un kilogramo.) No es lo mismo la cantidad de kilogramos que tiene un objeto que el espacio que ocupa. ¿Qué tiene una masa mayor: una almohada de plumas o una batería de automóvil? Es claro que es más difícil poner en movimiento la batería. Esto demuestra que la batería tiene una inercia mayor y, por tanto, una masa mayor. La almohada puede ser más grande –es decir, puede tener un volumen mayor– pero tiene una masa menor. **La masa no es lo mismo que el volumen.**



► **Respuesta**

1. Como cualquier otro objeto, los planetas se moverían en línea recta si no estuvieran sujetos a la acción de ninguna fuerza.
2. Estrictamente hablando, no. Los científicos **no saben cuál es la razón** de que los objetos presenten este comportamiento. Pero **la propiedad de comportarse de esta manera se llama inercia**. Podemos entender muchas cosas, a las que damos nombres. Existen muchas otras cosas que no entendemos, a las que también asignamos nombres. El objetivo de la educación no es tanto adquirir nuevos nombres, como aprender qué es lo que entendemos y qué es lo que no.

La masa no es lo mismo que el peso

En la mayoría de los casos, la gente confunde la masa con el peso. **Decimos que algo tiene mucha materia si es muy pesado**. Esto se debe a que estamos acostumbrados a medir la cantidad de materia que contiene un objeto por medio de la fuerza de atracción gravitacional que la Tierra ejerce sobre él. Pero **la masa es algo más fundamental que el peso; la masa mide la cantidad de material que contiene un objeto. Sólo depende del número y del tipo de átomos que lo componen**. El **peso** es una medida de la fuerza gravitacional que actúa sobre dicho material, y **depende de la ubicación del objeto**.

La cantidad de materia de una roca dada es igual, ya sea que la roca esté en la Tierra, en la Luna o en el espacio exterior. Por lo tanto, su masa es la misma en cualquiera de estos lugares. Podríamos demostrar este hecho agitando la roca de un lado a otro. Se requiere la misma fuerza para agitar la roca con una rapidez dada en la Tierra, en la Luna y en una región del espacio exterior donde no hay fuerzas. Esto se debe a que **la inercia de la roca sólo depende de la roca misma, y no de su ubicación**.

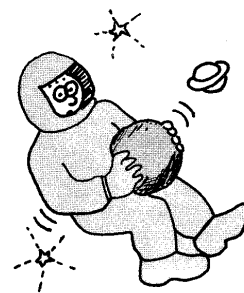
Pero el peso de la roca sería muy distinto en la Tierra y en la Luna, y aún más en el espacio exterior si la roca se encuentra lejos de cualquier fuente de gravitación. En la superficie de la **Luna** el **peso** de la roca es de sólo una **sexta parte** de su peso en la **Tierra**. Esto se debe a que la fuerza gravitacional en la Luna es seis veces menor que en la Tierra. Si la roca se encontrase en una región del **espacio** en la que no actuara la gravedad, su **peso** sería **cero**. Su masa, por otro lado, sería distinta de cero. **La masa no es lo mismo que el peso**.

Podemos definir la masa y el peso de la siguiente manera:

Masa: *Cantidad de materia que contiene un objeto*. Más específicamente, *es una medida de la inercia u oposición que presenta un objeto en respuesta a cualquier intento por ponerlo en movimiento, detenerlo o cambiar en alguna forma su estado de movimiento*.

Peso: *Fuerza que se ejerce sobre un objeto debido a la gravedad*.

La **masa y el peso** no son lo mismo, pero **son proporcionales** uno al otro. Los objetos cuya masa es grande son muy pesados. Los objetos con masas pequeñas tienen pesos pequeños. **En un mismo lugar, duplicar la masa equivale a duplicar el peso**. La masa y el peso son proporcionales pero no iguales. La masa tiene que ver con la cantidad de materia de un objeto. El peso tiene que ver con la intensidad de la fuerza gravitacional que ejerce la Tierra sobre el objeto.



► Preguntas

1 ¿Un bloque de hierro de 2 kilogramos tiene el doble de **inercia** que un bloque de hierro de 1 kilogramo? ¿Tiene el doble de masa? ¿Tiene el doble de volumen? ¿Tiene el doble de peso (medido en un mismo lugar)?

2 ¿Un paquete de sal gruesa de 1 kilogramo tiene el doble de inercia que una bolsa de pan de $\frac{1}{2}$ kilogramo? ¿Tiene el doble de masa? ¿Tiene el doble de volumen? ¿Tiene el doble de peso (medido en el mismo lugar)?

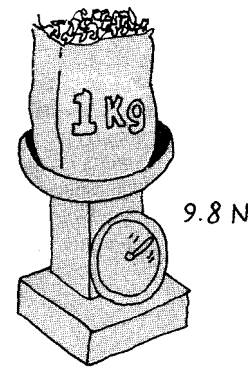
Un kilogramo pesa 9,8 newtons

En los **países de habla inglesa** se ha acostumbrado describir la **cantidad de materia** que contiene un objeto en términos de la atracción gravitacional que ejerce la Tierra sobre él, o sea, en términos de su **peso**. Actualmente, la **unidad de peso** más utilizada en esos países es la **libra**. Sin embargo, **en la mayor parte del mundo la medida de materia** se suele expresar **en unidades de masa**. El **kilogramo** es la **unidad internacional de masa** en el **sistema métrico internacional**, o **SI**.*

* Las siglas **SI** se derivan del nombre francés *Système International d'Unités* que designa al sistema métrico internacional de medidas. Las formas abreviadas de las unidades en el SI se llaman **símbolos** y no **abreviaturas**.

El **símbolo del kilogramo** en el sistema SI es **kg**. En la superficie de la Tierra, una bolsa de clavos de 1 kg tiene un peso de 2,2 libras.

La **unidad de fuerza** en el SI es el **newton** (adivina a quién se pretende honrar con este nombre). Un newton equivale a un poco menos de un cuarto de libra. El **símbolo del newton** en el SI es **N** (con **mayúscula** puesto que se trata de un nombre propio). En la **superficie de la Tierra**, en unidades métricas, una bolsa de clavos de **1 kg tiene un peso de 9,8 N**. Lejos de la superficie terrestre, donde la fuerza de gravedad es menor, su peso será menor.



► Respuestas

1. La respuesta a todas las preguntas es sí. Un bloque de hierro de 2 kilogramos tiene el doble de átomos de hierro, por lo tanto, el doble de materia, de masa y de peso. Y como ambos bloques son del mismo material, el de 2 kilogramos también tiene el doble de volumen.

2. Un kilogramo de cualquier cosa tienen el doble de inercia y de masa que medio kilogramo de cualquier otra cosa. En un mismo lugar un kilogramos de cualquier cosa pesarán dos veces lo que medio kilogramo de cualquier otra cosa (la masa y el peso son proporcionales). O sea que la respuesta es sí a todas las preguntas, excepto la del volumen. El **volumen y la masa** son **proporcionales** únicamente cuando el material es el mismo, o cuando sus masas están distribuidas en forma igualmente compacta, es decir, cuando tienen la **misma densidad**. La sal es más densa que el pan, lo bastante para que un kilogramo de sal tengan un volumen menor que medio kilogramo de pan.

3.6 Otra vez el movimiento de la Tierra

Cuando Copérnico propuso la idea de que la Tierra se movía, en el siglo XVI, se armó un gran revuelo. Uno de los argumentos en contra del movimiento de la Tierra era el siguiente: Considera un pájaro que está posado en la copa de un árbol alto. Supón que bajo el árbol, en la tierra, se encuentra un gordo y jugoso gusano. El pájaro ve el gusano y se precipita verticalmente sobre él, apresándolo. Esto no sería posible, se afirmaba, si la Tierra estuviese en movimiento como sugería Copérnico. Si Copérnico

estuviese en lo cierto, la Tierra tendría que viajar con una rapidez de 107.000 km/h para dar una vuelta al Sol en un año. Si conviertes esta rapidez a kilómetros por segundo, obtendrás 30 km/s. Aun si el pájaro pudiera bajar de su rama en un segundo, el gusano hubiera sido arrastrado una distancia de 30 kilómetros por la Tierra en movimiento. En estas circunstancias, sería imposible que el pájaro atrapara al gusano. Pero, de hecho, los pájaros suelen atrapar gusanos desde lo alto de los árboles, lo que parecía ser clara evidencia de que la Tierra estaba en reposo.

¿Puedes rebatir este argumento? Sí, si utilizas la idea de **inercia**. Pues resulta que no sólo la Tierra se mueve a 30 km/s, también lo hacen el árbol, la rama del árbol, el pájaro posado sobre la rama, el gusano y el propio aire intermedio. **Todos se mueven a 30 km/s. Un objeto en movimiento permanece en movimiento si no actúan sobre él fuerzas desequilibradas.** Así que cuando el pájaro se precipita sobre el gusano, su movimiento lateral inicial de 30 km/s no sufre cambio alguno. El ave atrapa al gusano sin importar el movimiento total de su entorno.

Ponte junto a una pared. Ahora salta de manera que tus pies ya no estén en contacto con el suelo. ¿Choca contra ti la pared que viaja a 30 km/s? ¿Por qué no? Porque tú también te estás moviendo a 30 km/s, antes del salto, durante el salto y después del salto. Treinta kilómetros por segundo es la rapidez de la Tierra respecto al Sol, no de la pared respecto a ti.

Hace 400 años las personas tenían dificultades para entender ideas como éstas, no sólo porque no reconocían el concepto de inercia, sino porque no estaban acostumbradas a moverse en vehículos con gran rapidez. Los viajes lentos y accidentados, en carretas tiradas por caballos, no se prestaban para realizar experimentos en los que la inercia se hiciera patente. Hoy en día lanzamos una moneda en un auto, colectivo o avión que viajan a gran velocidad y la atrapamos en su movimiento vertical como si el vehículo estuviese en reposo. Vemos confirmada la ley de la inercia en el hecho de que el movimiento horizontal de la moneda permanece inalterado antes de atraparla, cuando está en el aire y después de atraparla. La moneda viaja con nosotros. La fuerza gravitacional, actuando en la dirección vertical, sólo afecta el movimiento vertical de la moneda.



3 Repaso

Sumario de conceptos

Galileo concluyó que, de no ser por la fricción, un objeto en movimiento seguiría moviéndose para siempre.

Según la primera ley del movimiento de Newton –la ley de la inercia– todo objeto persiste en su estado de reposo, o de movimiento en línea recta con rapidez constante, a menos que una fuerza lo obligue a cambiar de estado.

La inercia es la resistencia de un objeto a cambiar su estado de movimiento.

- La masa es una medida de la inercia.
- La masa no es lo mismo que el volumen.
- La masa no es lo mismo que el peso.
- La masa de un objeto depende de la cantidad y el tipo de materia que contiene, pero no depende de la ubicación del objeto.
- El peso de un objeto es la fuerza gravitacional que actúa sobre él y depende de la ubicación.

Términos importantes

fricción (3.3)
fuerza (3.3)
inercia (3.3)
kilogramo (3.5)
ley de la inercia (3.4)
masa (3.5)
newton (3.5)
primera ley de Newton (3.4)

Preguntas

1. ¿Qué distinción hizo Aristóteles entre movimiento natural y movimiento violento? (3.1)
2. ¿Por qué se resistía Copérnico a publicar sus ideas? (3.2)
3. ¿Qué efecto tiene la fricción sobre los objetos en movimiento? ¿Cómo puede un objeto mantener una rapidez constante cuando la fricción actúa sobre él? (3.3)
4. La rapidez de una pelota aumenta cuando ésta rueda hacia abajo sobre un plano inclinado y disminuye cuando rueda hacia arriba. ¿Qué ocurre con la rapidez en una superficie horizontal lisa? (3.3)
5. Galileo descubrió que una pelota que rueda hacia abajo sobre un plano inclinado adquiere una rapidez suficiente para subir por otro plano. ¿A qué altura llegará la pelota respecto a su altura inicial? (3.3)
6. ¿A qué clase de objetos se refiere la ley de la inercia: a objetos en movimiento, a objetos en reposo o a ambos? Usa ejemplos para apoyar tu respuesta. (3.4)
7. La ley de la inercia establece que no se requiere fuerza alguna para mantener el movimiento. ¿Por qué entonces es necesario pedalear para mantener una bicicleta en movimiento? (3.4)
8. Si desde una nave espacial disparas una bala de cañón hacia el espacio sin fricción, ¿cuánta fuerza hay que ejercer sobre la bala para que se mantenga en movimiento? (3.4)
9. ¿Una roca de 2 kilogramos tiene el doble de masa que una roca de 1 kilogramo? ¿Tiene el doble de inercia? ¿Tiene el doble de peso (medido en el mismo lugar)? (3.5)
10. ¿Un litro de plomo fundido tiene el mismo volumen que un litro de jugo de manzana? ¿Tienen la misma masa? (3.5)
11. ¿Por qué dicen los físicos que la masa es más fundamental que el peso? (3.5)
12. En el espacio, lejos de cualquier fuente de gravitación, un elefante y un ratón tendrían el mismo peso: cero. Si ambos se moviesen hacia ti con la misma rapidez, ¿la colisión tendría el mismo efecto? Explica tu respuesta. (3.5)
13. ¿Cuánto pesan dos kilogramos de yogurt? (3.5)
14. Si dejas caer una moneda desde tu cabeza en un colectivo en reposo, la moneda caerá a tus pies. ¿Dónde caerá si el colectivo se mueve en línea recta con rapidez constante? Explica tu respuesta. (3.6)
15. Supón que viajas en un avión que se desplaza a 600 km/h y que una almohada cae en tus piernas desde un compartimento elevado. Si el avión viaja tan rápido, ¿por qué al caer la almohada no va a dar contra la parte posterior de la cabina? (Cuál es la velocidad horizontal de la almohada respecto a la Tierra? ¿Y respecto al interior del avión?) (3.6)

Piensa y explica

1. Muchas personas que viajan en automóvil han sufrido lesiones en el cuello en accidentes cuando otro auto las golpea por detrás. ¿Cómo interviene aquí la ley de la inercia de Newton? ¿Cómo ayuda la almohadilla para descansar la cabeza a prevenir este tipo de lesiones?

2. Supón que colocas una pelota en el centro de un vagón y luego haces que el vagón se acelere hacia delante. Describe el movimiento de la pelota respecto a (a) la Tierra y (b) el vagón.
3. Si un elefante te persigue, la enorme masa del animal sería un peligro para ti. Pero si corres en zigzag, la masa del elefante sería una ventaja para ti. ¿Por qué?
4. ¿Cuál de las siguientes cantidades cambia cuando comprimes una esponja: la masa, la inercia, el volumen o el peso?
5. a. Una pelota de gran masa está suspendida por una cuerda desde arriba, mientras alguien tira lentamente de ella con una cuerda desde abajo (figura A siguiente). ¿Dónde es mayor la tensión: en la cuerda superior o en la inferior? ¿Cuál de ellas tiene mayor probabilidad de romperse? ¿Qué propiedad es más importante aquí: la masa o el peso?
b. Si en vez de tirar de la cuerda inferior con lentitud, se tira de ella con fuerza y repentinamente, ¿cuál cuerda tiene mayor probabilidad de romperse? ¿Qué propiedad es importante en este caso: la masa o el peso?

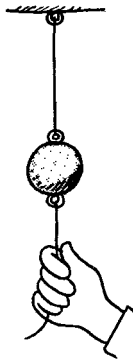


Figura A

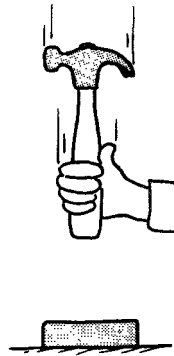


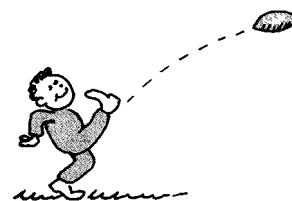
Figura B

6. Si quieres ajustar la cabeza floja de un martillo golpeándolo sobre la superficie de una mesa de trabajo, ¿por qué es mejor sostenerlo con el mango hacia abajo (figura B) que con el mango hacia arriba? Explica tu respuesta en términos de la inercia.
7. Dos recipientes cerrados tienen el mismo aspecto exterior, pero uno de ellos está lleno de plomo y el otro contiene unas cuantas plumas. ¿Cómo podrías determinar cuál de los dos tiene una masa mayor si tanto tú como los recipientes estuviesen flotando en el espacio en condiciones de ingravidez?
8. ¿Cuál es tu peso real (o el peso que desearías tener) en newtons?
9. Si viajas en un colectivo que se desplaza a 100 km/h sobre un camino recto y plano, tú mismo viajas a 100 km/h.
 - a. Si sostienes una manzana sobre tu cabeza, ¿con qué rapidez viaja la manzana respecto a la Tierra? ¿Y respecto a ti?
 - b. Si dejas caer la manzana, ¿conserva ésta el mismo movimiento horizontal?
10. Debido a la rotación de la Tierra, Estados Unidos tarda tres horas en pasar bajo un punto en el espacio que se encuentra en reposo respecto al Sol. ¿Cuál es el error del siguiente razonamiento?: se puede viajar de Washington D. C. a San Francisco usando muy poco combustible simplemente ascendiendo en un helicóptero a gran altura sobre Washington D. C. y esperando tres horas a que San Francisco pase por debajo.

4 Segunda ley del movimiento: fuerza y aceleración

Patea una pelota de rugby y ésta se moverá. La trayectoria que describe no es una línea recta: se curva debido a la gravedad. Si atrapas la pelota, se detendrá. La mayor parte de los movimientos que vemos sufren cambios. La mayoría de los objetos en movimiento adquieren velocidad, la pierden, o bien, describen curvas al moverse.

En la unidad anterior estudiamos los **objetos en reposo o en movimiento con velocidad constante**. La **fuerza neta** que actuaba sobre ellos era **cero**. En esta unidad estudiaremos los casos, más comunes, en los que hay **cambios en el movimiento**, es decir, el **movimiento acelerado**.



Recuerda de la unidad 2 que la aceleración describe qué tan rápido cambia el movimiento. Específicamente, es el cambio en la velocidad dividido por cierto intervalo de tiempo. Escribiéndolo de manera compacta,

$$\text{aceleración} = \frac{\text{cambio en la velocidad}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

Ésta es la definición de la aceleración.* En esta unidad nos ocuparemos de la **causa de la aceleración**, o sea, la **fuerza**.

* La letra griega Δ (delta) se usa a menudo para indicar "el cambio en" o "la diferencia en". En notación "delta", $a = \Delta v / \Delta t$, donde Δv es el cambio en la velocidad y Δt es el cambio en el tiempo (o sea, el intervalo de tiempo).

4.1 Una fuerza provoca una aceleración

Considera un objeto en reposo, por ejemplo, un disco de hockey sobre el hielo. Si le aplicas una fuerza, se moverá. Como antes de golpearlo estaba en reposo, el disco se ha acelerado, o sea, ha cambiado su movimiento. Cuando el palo deja de estar en contacto con el disco, éste se mueve con velocidad constante. Si ahora le aplicas otra fuerza golpeándolo nuevamente con el palo, su movimiento cambiará otra vez. El disco se vuelve a acelerar. **Las fuerzas son las que producen aceleración.**

En la mayoría de los casos, la fuerza que aplicamos no es la única fuerza que se ejerce sobre un objeto: pueden existir otras fuerzas que actúan sobre él. La **combinación de todas las fuerzas que se ejercen sobre un objeto** se conoce como **fuerza total** o **fuerza neta**. **La fuerza neta es la que hace que un objeto se acelere.**

En la figura podemos ver cómo se combinan las fuerzas para producir fuerzas netas. Si tiras horizontalmente y con una fuerza de 10 N de un objeto que se encuentra sobre una superficie sin fricción como, por ejemplo, una mesa de aire, la fuerza neta que actúa sobre el objeto es de 10 N. Si te ayuda un amigo y tira del objeto al mismo tiempo con una fuerza de 5 N en la misma dirección, la fuerza neta será la suma de estas fuerzas, o sea, 15 N (figuras de arriba). El objeto se acelerará como si sobre él actuase una sola fuerza de 15 N. Pero si tu amigo tira con una fuerza de 5 N en la dirección opuesta, la fuerza neta será igual a la diferencia de estas fuerzas, es decir, 5 N (figuras del centro). La aceleración del objeto será igual que si se tirase de él con una sola fuerza de 5 N.

FUERZAS APLICADAS	FUERZA TOTAL

Vemos que la cantidad de aceleración depende de la cantidad de fuerza neta. Para incrementar la aceleración de un objeto hay que incrementar la fuerza neta. Esto tiene sentido: si duplicas la fuerza, se duplicará la aceleración; si triplicas la fuerza, se triplica la aceleración, y así sucesivamente. Decimos que **la aceleración producida es directamente proporcional a la fuerza neta**. Expresado en forma compacta:

aceleración ~ fuerza neta

El símbolo ~ significa “es directamente proporcional a”.

4.2 La masa se resiste a la aceleración

Empuja un carro de supermercado que esté vacío. Ahora empuja un carro lleno, con la misma fuerza; la aceleración que produces será menor. Esto se debe a que la aceleración depende de la masa del objeto que empujas. A mayor masa, menor será la aceleración. Para una misma fuerza, si duplicas la masa, la aceleración resultante será de sólo la mitad; si triplicas la masa, la aceleración se reducirá a la tercera parte, y así sucesivamente. En otras palabras, ***dada una fuerza, la aceleración que produce es inversamente proporcional a la masa.*** Escribimos entonces:

$$\text{aceleración} \sim \frac{1}{\text{masa}}$$

Inversamente proporcional significa que ***las cantidades relacionadas cambian en direcciones opuestas.*** (En términos matemáticos, vemos que ***al aumentar el valor del denominador disminuye el valor de la cantidad expresada en forma de fracción.*** Por ejemplo, la cantidad 1/100 es inferior a 1/10.)

4.3 Segunda ley de Newton

Newton fue la primera persona que se percató de que ***la aceleración*** que impartimos a los objetos ***no depende únicamente de la fuerza*** con que los empujamos o tiramos de ellos, ***sino también de la masa.*** Newton formuló una de las reglas de la naturaleza más importantes jamás enunciadas: su ***segunda ley del movimiento.*** La ***segunda ley de Newton*** dice:

La aceleración que adquiere un objeto por efecto de una fuerza neta es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza neta, tiene la misma dirección que la fuerza neta y es inversamente proporcional a la masa del objeto considerado.

O bien, en notación compacta,

$$\text{aceleración} = \frac{\text{fuerza neta}}{\text{masa}}$$

Usando ***unidades consistentes*** como, por ejemplo, newtons (N) para la fuerza, kilogramos (kg) para la masa y metros por segundo al cuadrado (m/s²) para la aceleración, obtenemos la ecuación exacta.

$$a = \frac{F}{m}$$

Escrito en la forma más breve, donde ***a*** es la aceleración, ***F*** es la fuerza neta y ***m*** es la masa:

La aceleración es igual al cociente entre la fuerza neta y la masa.

A partir de esta relación podemos ver que ***si duplicamos la fuerza neta que actúa sobre un objeto, la aceleración se duplicará.*** Supón ahora que ***duplicas la masa.*** Entonces ***la aceleración se reducirá a la mitad.*** Si duplicas tanto la fuerza neta como la masa, la aceleración permanece inalterada.

Resolución de problemas

Si la masa de un objeto se expresa en kilogramos (kg) y la aceleración en metros por segundo al cuadrado (m/s²) la fuerza quedará expresada en newtons (N). Un newton es la fuerza necesaria para impartir a una masa de un kilogramo una aceleración de

un metro por segundo al cuadrado, Podemos reordenar la segunda ley de Newton de la siguiente manera;

$$\begin{aligned} \text{fuerza} &= \text{masa} \times \text{aceleración} \\ 1\text{N} &= 1\text{kg} \times (1 \text{ m/s}^2) \end{aligned}$$

Como puedes ver,

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

(El punto entre “kg” y “m/s²” significa que las unidades se multiplican.)

Si conoces dos de las cantidades que intervienen en la segunda ley de Newton, puedes calcular la tercera fácilmente. Por ejemplo, ¿qué empuje debe desarrollar un avión a reacción de 30.000 kg para alcanzar una aceleración de 1,5 m/s²? El empuje es una fuerza, así que

$$\begin{aligned} F &= m a \\ &= (30.000 \text{ kg}) (1,5 \text{ m/s}^2) \\ &= 45.000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \\ &= 45.000 \text{ N} \end{aligned}$$

Supón que conoces la fuerza y la masa y que deseas determinar la aceleración. Por ejemplo, ¿qué aceleración produce una fuerza de 2000 N sobre un auto de 1000 kg? Por medio de la segunda ley de Newton encontramos

$$a = \frac{F}{m} = \frac{2000 \text{ N}}{1000 \text{ kg}} = \frac{2000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{1000 \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$$

¿Cuál sería la aceleración si la fuerza fuese de 4000 N?

$$a = \frac{F}{m} = \frac{4000 \text{ N}}{1000 \text{ kg}} = \frac{4000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{1000 \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2$$

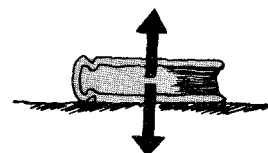
Si duplicas la fuerza que actúa sobre una misma masa, simplemente duplicas la aceleración.

► Preguntas

1. Si un auto puede desarrollar una aceleración de 2 m/s² ¿qué aceleración desarrollará si tiene que remolcar a otro auto de la misma masa?
- 2 ¿Qué tipo de movimiento le imprime a un objeto de masa fija una fuerza contante?

4.4 Estática

¿Cuántas fuerzas actúan sobre tu libro cuando está en reposo sobre el escritorio? No digas que sólo una: el peso. Si el peso fuera la única fuerza que se ejerce sobre tu libro, éste se aceleraría. El hecho de que esté en reposo, y no acelerándose, indica que hay otra fuerza. Esa **otra fuerza debe equilibrar el peso** a fin de que la fuerza neta sea cero. La otra fuerza es la **fuerza de sustentación** de la mesa (también llamada **fuerza normal***). Para ver que la mesa está empujando al libro desde abajo imagina que hay una hormiga abajo del libro. La hormiga sentiría que la aplastan por ambos lados. La mesa empuja al libro con la misma fuerza que el libro empuja a la mesa. **Para que el libro esté en reposo, la suma de las fuerzas que actúan sobre él debe ser cero.**



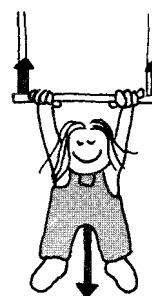
* Esta fuerza forma un ángulo recto con la superficie; “normal a” quiere decir “perpendicular a”, por eso la fuerza se llama fuerza normal.

► Respuestas

1. Cuando el motor produce la misma fuerza sobre el doble de masa, la aceleración es de sólo la mitad. En este caso, 1 m/s^2 .
2. Un movimiento con aceleración constante, de acuerdo con la segunda ley de Newton.

Cuélgate de una cuerda. Tu peso proporciona la fuerza que estira la cuerda y produce una fuerza de tensión. ¿Cuál es la tensión de la cuerda? Si tú no estás acelerando, la tensión debe ser igual a tu peso. La cuerda tira de ti hacia arriba y la gravedad terrestre tira de ti hacia abajo. Estas fuerzas iguales se anulan porque van en direcciones opuestas, así que cuelgas sin moverte.

Supón ahora que estás colgado de una barra sostenida por dos cuerdas, como en la figura. Entonces la tensión de cada cuerda es de la mitad de tu peso (si despreciamos el peso de la barra). La tensión total hacia arriba ($\frac{1}{2}$ de tu peso + $\frac{1}{2}$ de tu peso) equilibra tu peso. Para hacer ejercicio en la barra usas ambos brazos. Cada brazo soporta la mitad de tu peso. ¿Alguna vez has intentado hacerlo con un solo brazo? ¿Por qué es dos veces más difícil?



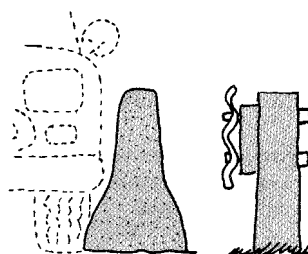
► Pregunta

Cuando subes a una balanza casera, la fuerza gravitacional hacia abajo y la fuerza de reacción del piso hacia arriba comprimen un resorte que está calibrado para indicar tu peso. En realidad la balanza indica la intensidad de la fuerza de sustento. Si estuvieras de pie sobre dos balanzas, distribuyendo tu peso uniformemente entre ambas, ¿qué indicaría cada una de ellas? ¿Y si tu peso descansa más sobre un pie que sobre el otro?

4.5 Fricción

Incluso cuando sólo se aplique una fuerza a un objeto, ésta no es la única fuerza que afecta su movimiento. Esto se debe a la fricción. **La fricción es una fuerza que siempre actúa en la dirección opuesta a la del movimiento.** Se debe en gran medida a las irregularidades de las superficies que entran en contacto. Hasta las superficies más pulidas presentan irregularidades al microscopio. Cuando un objeto resbala sobre otro, tiene que elevarse sobre las irregularidades, o bien, arrastrarlas consigo. En ambos casos se requiere una fuerza.

La fuerza de fricción entre dos superficies depende del tipo de los materiales y de la intensidad con que una comprime a la otra. Por ejemplo, la fuerza de fricción entre el caucho y el hormigón es mayor que la fricción entre dos superficies de acero. Por eso los rieles de acero que separaban las dos direcciones de una carretera están siendo reemplazados por divisiones de hormigón (figura). Ten en cuenta que la división de hormigón es más ancha en la base para que, cuando un auto resbale de costado, sean los neumáticos y no la carrocería los que entren en contacto con ella. La fuerza de fricción más grande que se produce entre el neumático de caucho y el hormigón detiene al auto en forma más efectiva que si la carrocería de acero chocara contra el riel de acero, como en el otro diseño.

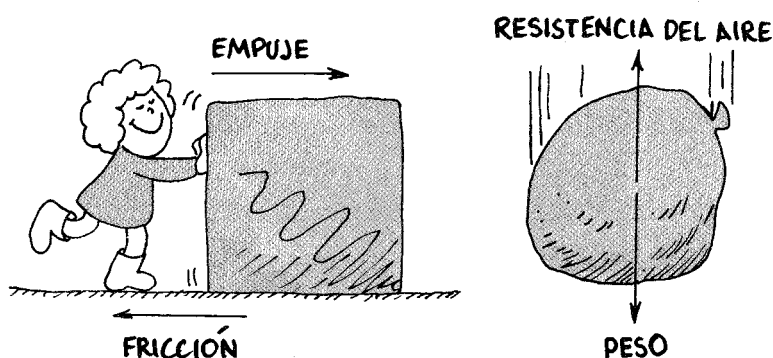


► **Respuesta**

La suma de las indicaciones de ambas balanzas debe ser igual a tu peso. Esto se debe a que dicha suma, que es igual a la fuerza de sustento del piso, debe contrarrestar tu peso a fin de que la fuerza neta sea cero. Si distribuyes tu peso de manera uniforme sobre ambas básculas, cada una de ellas indicará la mitad de tu peso. Si tu peso descansa más sobre una balanza que sobre la otra, la indicación de dicha balanza será de más de la mitad de tu peso y la de la otra será de menos, de modo que la suma sigue siendo igual a tu peso completo. Por ejemplo, si una balanza indica dos terceras partes de tu peso, la otra indicará un tercio.

La fricción no se limita a los sólidos que resbalan uno sobre otro. **También ocurre en los líquidos y en los gases**, llamados **fluidos** (*porque fluyen*). La fricción en un fluido aparece cuando un objeto que se mueve a través del fluido desplaza algo del fluido hacia los costados. ¿Alguna vez has intentado correr en el agua sumergido hasta la cintura? **La fricción de los líquidos es apreciable aun a baja velocidad**. La **resistencia del aire**, que es la fricción que se ejerce sobre un objeto que se mueve en el aire, es un caso muy común de fricción en un fluido. No te percatas de su presencia al andar ni al correr, pero sí a velocidades mayores, como al descender por la ladera de una montaña en esquíes o al saltar en paracaídas.

Cuando hay fricción, un objeto puede moverse a velocidad constante mientras se le aplica una fuerza. En este caso, **la fuerza de fricción equilibra exactamente la acción de la fuerza aplicada**. La fuerza neta es cero, por lo que no hay aceleración. Por ejemplo, en la figura siguiente la caja se moverá con velocidad constante si la empujas con una fuerza exactamente igual a la de fricción. La bolsa caerá a velocidad constante cuando la resistencia del aire sea igual al peso.



► **Preguntas**

1. En la figura de la pág. 28 sólo aparecen dos fuerzas que actúan sobre el libro su peso y la fuerza de sustento de la mesa. ¿Acaso no interviene también la fuerza de fricción?
2. Supón que un avión a reacción vuela a gran altura y con velocidad constante mientras los motores producen un empuje constante de 80.000 N. ¿Cuál es la aceleración del avión? ¿Cuál es la fuerza de resistencia del aire que actúa sobre el avión?

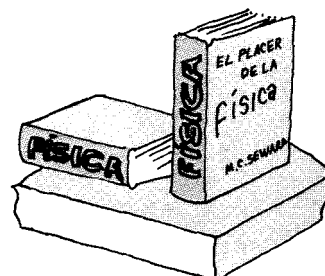
► **Respuestas**

1. No, a menos que el libro tienda a deslizarse o, de hecho, se deslice, sobre la mesa. Por ejemplo, si otra fuerza lo empuja hacia la izquierda, la fricción entre el libro y la mesa se ejercerá hacia la derecha. La fuerza de fricción sólo aparece cuando los objetos tienden a deslizarse o, de hecho, se deslizan.

2. La aceleración es cero porque la velocidad es constante, lo que significa que no cambia. Como la aceleración es cero, se deduce de la expresión $a = F/m$ que la fuerza neta es cero. Esto implica que la fuerza de resistencia del aire debe ser exactamente igual al empuje de 80.000 N, pero en dirección opuesta. Así pues, la resistencia del aire es de 80.000 N.

4.6 Aplicación de una fuerza: presión

Si pones un libro sobre una mesa, no importa cómo lo coloques –ya sea en posición horizontal, vertical, o incluso en equilibrio sobre uno de sus lados– la fuerza que ejerce el libro sobre la mesa es la misma. Puedes comprobarlo haciendo el experimento en una balanza casera; verás que la balanza indica el mismo peso en cada caso. Ahora pon el libro sobre tu mano de diversas maneras. A pesar de que la fuerza es la misma, observarás que el libro presiona la palma de tu mano en forma distinta cada vez. Esto se debe a que el área de contacto es distinta en cada caso. La **fuerza por unidad de área** se llama **presión**. En forma más precisa,



$$\text{presión} = \frac{\text{fuerza}}{\text{área de aplicación}}$$

donde **la fuerza es perpendicular al área de la superficie**. En forma de ecuación,

$$P = \frac{F}{A}$$

donde **P** es la presión y **A** es el área sobre la que se ejerce la fuerza. La fuerza, que se mide en newtons, no es lo mismo que la presión, que se mide en **newtons por metro cuadrado** [unidad que se conoce como **pascal (Pa)**].

Muchas personas tienen la creencia errónea de que un auto de carrera tiene neumáticos anchos para producir más fricción, pero el hecho de que el área de contacto sea mayor sólo reduce la presión. **La fuerza de fricción no depende del área de contacto**. Los neumáticos anchos producen una presión menor y los angostos una presión mayor. La anchura de los neumáticos reduce el calentamiento y el desgaste.

Ejerces mayor presión sobre el suelo cuando te sostienes sobre un solo pie que cuando estás apoyado en los dos pies. Esto se debe a que el área de contacto es menor. Si te pones en puntas de pie como una bailarina, la presión se hace inmensa. **Cuanto más pequeña sea el área sobre la que se aplica una fuerza, tanto mayor será la presión sobre esa superficie**.

Puedes calcular la presión que ejerces sobre el suelo cuando estás de pie. Una manera de hacerlo consiste en humedecerte la planta del pie y pararte sobre una hoja limpia de papel cuadriculado. Ahora cuenta el número de cuadros que contiene tu huella. Divide tu peso por esta área y obtendrás la presión promedio que ejerces sobre el suelo cuando estás apoyado en un pie. ¿Cómo se compara este resultado con la presión que ejerces sobre el suelo cuando te sostienes en los dos pies?

4.7 Explicación de la caída libre

Galileo mostró que todos los objetos que caen se mueven con la misma aceleración sin importar su masa. Esto es estrictamente cierto sólo cuando la resistencia del aire es despreciable, es decir, si los objetos están en caída libre. Cuando la resistencia del aire es muy pequeña comparada con el peso del objeto, esto es aproximadamente cierto. Por ejemplo, si dejas caer simultáneamente una bala de cañón de 10 kg y una piedra de 1 kg desde una posición elevada, verás que caen juntas y que llegan al sue-

lo casi al mismo tiempo. Este experimento, supuestamente realizado por Galileo desde la Torre Inclinada de Pisa, acabó con la idea aristotélica de que un objeto que pesa diez veces más que otro debería caer diez veces más rápido que el objeto ligero. El experimento de Galileo, y muchos otros que arrojaron el mismo resultado, fueron muy convincentes, pero **Galileo no sabía por qué eran iguales las aceleraciones**. La explicación es una sencilla **aplicación de la segunda ley de Newton**.

Recuerda que la masa (cantidad de materia) y el peso (fuerza debida a la gravedad) son proporcionales. Una bolsa de 2 kg de clavos pesa el doble que una bolsa de 1 kg de clavos. Así que una bala de cañón de 10 kg está sujeta a una fuerza gravitacional (peso) diez veces mayor que una piedra de 1 kg. Los seguidores de Aristóteles pensaban que la bala de cañón debía por tanto acelerarse diez veces más que la piedra, porque sólo estaban tomando en cuenta que el peso era mayor. Pero la segunda ley de Newton nos dice que también debemos tomar en cuenta la masa. Con un poco de reflexión te resultará claro que una fuerza diez veces superior que actúa sobre una masa diez veces superior produce la misma aceleración que una fuerza diez veces menor que actúa sobre una masa diez veces menor. En notación simbólica,

$$\frac{F}{m} = \frac{F}{m}$$

donde **F** representa la fuerza que actúa sobre la bala de cañón (su peso) y **m** es la masa correspondiente. La **F** y la **m** pequeñas representan el peso y masa menores de la piedra. Vemos que la relación del peso a la masa es igual para ambos objetos. **En un mismo lugar de la Tierra, todos los objetos en caída libre están sujetos a la misma aceleración**. Esta aceleración, debida a la gravedad, se representa por medio del símbolo **g**.

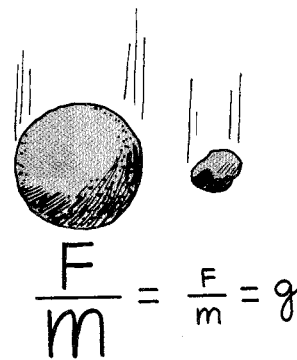
Podemos obtener el mismo resultado usando valores numéricos. El peso de una piedra de 1 kg (o de cualquier cosa de 1 kg) es de 9,8 N en la superficie terrestre. El peso de 10 kg de materia, como la bala de cañón, es de 98 N. La fuerza que se ejerce sobre un objeto que cae es la fuerza de la gravedad, es decir, el peso del objeto. La aceleración de la piedra es

$$a = \frac{F}{m} = \frac{\text{peso}}{m} = \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ kg}} = \frac{9,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{1 \text{ kg}} = 9,8 \text{ m/s}^2 = g$$

y para la bala de cañón,

$$a = \frac{F}{m} = \frac{\text{peso}}{m} = \frac{98 \text{ N}}{10 \text{ kg}} = \frac{98 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{10 \text{ kg}} = 9,8 \text{ m/s}^2 = g$$

En la unidad 2 estudiamos la famosa demostración de la moneda y la pluma en un tubo de vacío, pero no dimos la razón de por qué las aceleraciones eran iguales. Ahora sabemos que la razón por la que ambos objetos caen con la misma aceleración (**g**) es que la fuerza neta que actúa sobre ellos es sólo su peso, y la relación de peso a masa es la misma para ambos.



► **Pregunta**

Si estuvieses en la Luna y dejaras caer un martillo y una pluma al mismo tiempo y desde la misma altura, ¿llegarían a la superficie de la Luna al mismo tiempo?

4.8 Caída y la resistencia del aire

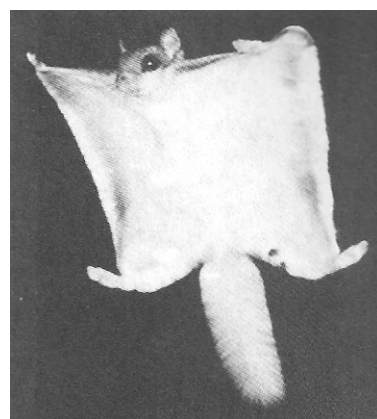
La pluma y la moneda caen con la misma aceleración en el vacío, pero en presencia del aire sus aceleraciones son muy distintas. Si dejamos que el aire vuelva a penetrar en el tubo de vidrio y volvemos a invertirlo, la moneda caerá rápidamente mientras la pluma flota hacia abajo. La resistencia del aire hace disminuir las fuerzas netas: muy poco en el caso de la moneda y mucho en el caso de la pluma. **La pluma se acelera hacia abajo durante un tiempo muy breve ya que la resistencia del aire aumenta rápidamente hasta contrarrestar su diminuto peso.** La pluma no precisa caer una gran distancia o alcanzar una gran rapidez para que esto ocurra. Cuando la resistencia del aire para la pluma se hace igual al peso de la pluma, la fuerza neta es cero y ya no hay aceleración. La aceleración se termina: la pluma ha alcanzado su **rapidez terminal**. Si tomamos en cuenta la **dirección**, que es **hacia abajo** para un objeto que cae, decimos que la pluma alcanza su **velocidad terminal**.

La resistencia del aire no tiene un efecto tan notable sobre la moneda. Cuando la rapidez es pequeña, la fuerza de resistencia del aire es muy pequeña comparada con el peso de la moneda, por lo que su aceleración es apenas menor que la aceleración en caída libre, g . **La moneda puede caer durante varios segundos antes de que su rapidez sea lo bastante grande para que la resistencia del aire se haga igual a su peso.** En ese instante su rapidez, quizá 200 km/h, dejaría de aumentar. La moneda habría alcanzado su rapidez terminal.

► **Respuesta**

Sí. En la superficie de la Luna el peso de estos objetos sería seis veces menor que su peso en la Tierra y además sería la única fuerza que se ejerciera sobre ellos, ya que en la Luna no hay una atmósfera que produzca una resistencia del aire. La relación del peso en la Luna a la masa de ambos objetos sería la misma, y ambos estarían sujetos a una aceleración de $1/6 g$.

La rapidez terminal de un paracaidista humano varía de unos 150 a 200 km/h, según el peso y la posición del paracaidista. Una persona pesada alcanzará una velocidad terminal mayor que la de una persona liviana. Un peso mayor “atraviesa” el aire con mayor eficiencia. Un paracaidista pesado y otro liviano pueden permanecer juntos si la persona pesada se extiende como una ardilla voladora (figura) y la liviana cae de cabeza o de pie. Un paracaídas sirve para aumentar considerablemente la resistencia del aire y reducir la rapidez terminal a un valor inofensivo de unos 15 o 25 km/h.



► **Pregunta**

Si un paracaidista pesado y otro liviano se tiran juntos desde la misma altura con paracaídas del mismo tamaño, ¿quién llega al suelo primero?

► **Respuesta**

El paracaidista pesado llega primero. Esto se debe a que la persona liviana, como la pluma, alcanzará su rapidez terminal antes que la persona pesada, que sigue ace-

lerándose hasta que alcanza una rapidez terminal mayor. De modo que la persona pesada adelanta a la persona liviana, incapaz de alcanzar a su compañero.

Si dejas caer una pelota de beisbol y una pelota de tenis al mismo tiempo desde una altura pequeña, verás que llegan al suelo al mismo tiempo. Pero si las dejas caer desde lo alto de un edificio elevado, observarás que la pelota de beisbol llega primero. Esto se debe a que la resistencia del aire se hace igual al peso cuando la pelota tiene una rapidez mayor (como los paracaidistas de la pregunta anterior). Cuando la rapidez es pequeña, la resistencia del aire puede ser despreciable. Cuando es mayor, el efecto de la resistencia del aire es muy evidente. La resistencia del aire es más pronunciada en el caso de la pelota de tenis que en el de la de beisbol, por lo que la aceleración de caída de aquella es menor. La pelota de tenis tiene un comportamiento más similar al de un paracaídas que la de beisbol.

Cuando Galileo, según se cuenta, dejó caer los objetos de diferente peso desde lo alto de la Torre Inclinada de Pisa, el objeto más pesado llegó al suelo primero, ... pero sólo una fracción de segundo antes que el otro objeto, y no, como esperarían los seguidores de Aristóteles, mucho tiempo antes. El comportamiento de los objetos que caen nunca fue comprendido cabalmente hasta que Newton propuso su segunda ley del movimiento. Isaac Newton realmente cambió nuestra manera de ver el mundo.

4 Repaso

Sumario de conceptos

Un objeto se acelera, es decir, su rapidez o su dirección cambian, cuando una fuerza neta se ejerce sobre él.

- La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que se ejerce sobre él.
- La aceleración de un objeto es inversamente proporcional a su masa.
- La aceleración es igual a la fuerza neta dividida por la masa y tiene la misma dirección que la fuerza neta.

Cuando la fuerza neta aplicada a un objeto es cero, éste permanece en reposo o continúa moviéndose con velocidad constante.

- Cuando un objeto está en reposo, su peso está contrarrestado por una fuerza de sustento de la misma intensidad.
- Cuando un objeto se mueve con velocidad constante mientras se le aplica una fuerza, dicha fuerza debe estar contrarrestada por una fuerza de resistencia de la misma intensidad (en general, la fricción).

Al aplicar una fuerza sobre una superficie se produce presión.

- La presión es igual a la fuerza dividida por el área de aplicación, donde la fuerza es perpendicular al área de la superficie.

Un objeto que cae está sujeto a la acción de la gravedad, que tira del objeto hacia abajo con una fuerza igual al peso del mismo.

- En caída libre (cuando no hay resistencia del aire) todos los objetos se mueven con la misma aceleración, sin importar su masa.
- Cuando hay resistencia del aire, los objetos que caen se aceleran hasta que alcanzan su rapidez terminal.
- Cuando un objeto alcanza su rapidez terminal, la fuerza de resistencia del aire contrarresta a la fuerza de gravedad.

Términos importantes

fluido (4.5)

fuerza de sustento (4.4)

fuerza normal (4.4)
fuerza neta (4.1)
inversamente (4.2)
pascal (4.6)
presión (4.6)
rapidez terminal (4.8)
resistencia del aire (4.5)
segunda ley de Newton (4.3)
velocidad terminal (4.8)

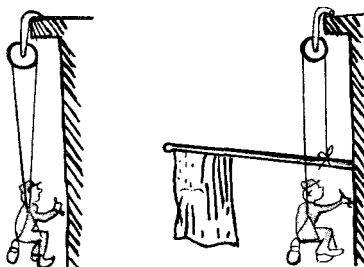
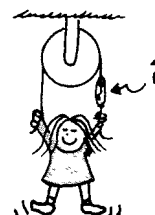
Preguntas

1. Señala la diferencia que existe entre la relación que define la aceleración y la relación que establece cómo se produce. (4.1)
2. ¿Qué es la fuerza neta que actúa sobre un objeto? (4.1)
3. Una fuerza de 10 N y una de 20 N con la misma dirección se ejercen sobre un objeto. ¿Cuál es la fuerza neta que actúa sobre el objeto? (4.1)
4. Si las fuerzas que se ejercen sobre un objeto son de 50 N en una dirección y 30 N en la dirección opuesta, ¿cuál es la fuerza neta que se ejerce sobre el objeto? (4.1)
5. Supón que cierta fuerza neta mueve una carreta. Si duplicas la fuerza neta, ¿cuál será el cambio en la aceleración? (4.1)
6. Supón que cierta fuerza neta mueve una carreta. Si la carreta está cargada de tal manera que su masa se duplica, ¿cuál será el cambio en la aceleración? (4.2)
7. Señala la diferencia que existe entre los conceptos de directamente proporcional e inversamente proporcional. Usa ejemplos para apoyar tu razonamiento. (4.1-4.2)
8. Enuncia la segunda ley de Newton con palabras y en forma de ecuación. (4.3)
9. ¿Qué fuerza debe desarrollar un cohete de 20.000 kg para que su aceleración sea de 1 m/s^2 ? (4.3)
10. ¿Qué intensidad tiene la fuerza de sustento de una mesa sobre un libro que pesa 15 N? ¿Cuánto vale la fuerza neta que se ejerce sobre el libro en este caso? (4.4)
11. ¿Cuántos newtons de tensión se ejercen sobre una cuerda vertical de la que cuelga sin moverse una bolsa de clavos de 100 N? ¿Y si la bolsa cuelga de cuatro cuerdas? (4.4)
12. ¿Cuál es la causa de la fricción y en qué dirección se ejerce ésta respecto al movimiento de un objeto que se desliza? (4.5)
13. Si la fuerza de fricción que se ejerce sobre una caja que se desliza es de 100 N, ¿cuánta fuerza se debe aplicar para que la velocidad sea constante? ¿Cuál es la fuerza neta que se ejerce sobre la caja? ¿Cuál será la aceleración? (4.5)
14. Señala la diferencia que existe entre fuerza y presión. (4.6)
15. ¿Qué produce una presión mayor sobre el suelo: un neumático delgado o un neumático ancho del mismo peso? (4.6)
16. La fuerza de gravedad que actúa sobre una roca de 2 kg es el doble de la que actúa sobre una roca de 1 kg. ¿Por qué, entonces, la aceleración de la roca de 2 kg no es el doble de la de 1 kg? (4.7)
17. ¿Cómo pueden una moneda y una pluma caer con la misma aceleración en un tubo de vacío? (4.7)
18. ¿Por qué una moneda y una pluma caen con distinta aceleración en presencia de aire? (4.8)
19. ¿Cuál es la intensidad de la resistencia del aire que se ejerce sobre una bolsa de clavos de 100 N que cae con su rapidez terminal? (4.8)
20. ¿Cómo son la resistencia del aire y el peso de un objeto que cae, uno respecto a otro, cuando se ha alcanzado la rapidez terminal? (4.8)
21. En igualdad de condiciones, ¿por qué la rapidez terminal de un paracaidista pesado es mayor que la de uno liviano? ¿Qué puede hacerse para que las rapidezces terminales sean iguales? (4.8)

22. ¿Cuánto vale la fuerza neta que actúa sobre un objeto de 25 N de peso en caída libre? ¿Cuánto vale la fuerza neta cuando el objeto encuentra una resistencia del aire de 15 N? ¿Y cuando alcanza una rapidez tal que la resistencia del aire es de 25 N? (4.7-4.8)

Piensa y explica

1. ¿Cuál es la diferencia entre decir que una cantidad es proporcional a otra y decir que una cantidad es igual a otra?
2. Si un avión a reacción de cuatro motores se acelera a 2 m/s^2 y uno de los motores falla, ¿qué aceleración producirán los otros tres?
3. Si un camión cargado puede acelerarse a 1 m/s^2 y de pronto pierde la carga de tal manera que su masa es de $\frac{3}{4}$ de la masa inicial, ¿qué aceleración puede desarrollar, dada una misma fuerza impulsora?
4. ¿Cuál es la masa y cuál el peso sobre la Tierra de un objeto de 10 kg? ¿Cuáles son su masa y su peso en la Luna, donde la fuerza de gravedad es de $\frac{1}{6}$ de la de la Tierra?
5. La niña de la figura está colgada, sin moverse, de los extremos de la cuerda. ¿Cómo se compara la indicación del dinamómetro con su peso?
6. ¿Por qué la fuerza de fricción no es mayor en el caso de un neumático ancho que en el de uno delgado?
7. ¿Por qué un cuchillo afilado corta mejor que uno desafilado?
8. Año tras año Pepe el pintor se cuelga de su silla de altura para trabajar. Su peso es de 500 N y, aunque él no lo sabe, el punto de ruptura de la cuerda es de 300 N. ¿Por qué no se rompe la cuerda cuando Pepe se cuelga como se muestra en la figura izquierda? Cierta día, Pepe estaba pintando cerca de un asta de bandera y, para cambiar, decidió atar el extremo libre de la cuerda al asta en vez de a su silla (figura derecha). ¿Por qué acabó Pepe tomándose unas vacaciones antes de tiempo?



9. ¿Qué ventaja representa para un elefante el que el extremo inferior de sus patas sea grande y ancho? ¿Por qué son tan duros los pequeños cascos de un antílope?
10. ¿Cuál es la aceleración de una roca que es lanzada hacia arriba cuando alcanza el punto más alto de su trayectoria? (Verifica que tu respuesta sea congruente con la relación $a = F/m$.)
11. A medida que un paracaidista adquiere rapidez durante la caída, ¿aumenta la fuerza neta que se ejerce sobre él? ¿Disminuye? ¿Permanece igual? La aceleración ¿aumenta?, ¿disminuye?, ¿permanece igual? Defiende tus respuestas.
12. Un paracaidista alcanza su velocidad terminal diez segundos después de haber saltado. ¿El aumento en la rapidez es mayor durante el primer segundo de la caída o durante el noveno segundo? Comparando con el primer segundo de la caída, ¿es menor o mayor la distancia que recorre durante el noveno segundo?
13. Supón que desde lo alto de un edificio se deja caer una pelota de tenis normal y otra que está llena de arena pesada. Tu amigo afirma que, a pesar de la resistencia del aire, las pelotas deberían caer al mismo tiempo porque, al ser del mismo tamaño, la cantidad de aire que tienen que desplazar es la misma. ¿Qué opinas?

5 Tercera ley del movimiento: acción y reacción

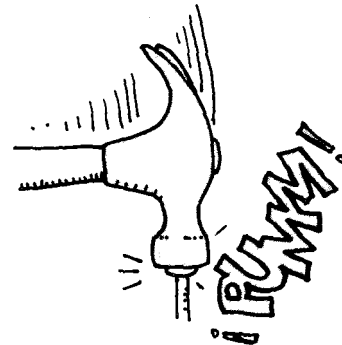
Si te inclinas demasiado, te caerás. Pero si te inclinas extendiendo el brazo y tocando una pared, puedes hacerlo sin caerte. **Cuando empujas una pared, la pared también te empuja a ti.** Por eso no te caes. Pregunta a tus amigos por qué no te caes. ¿Cuántos de ellos te responderán: “Porque la pared te empuja y te sostiene”? Quizá no muchas personas (a menos que les guste la física) se dan cuenta de que una pared puede empujarnos tanto como nosotros a ella.*



* Las palabras empujar y tirar implican en general que nos referimos a un ser viviente que ejerce una fuerza. Así que, estrictamente hablando, decir “la pared nos empuja” significa “la pared ejerce una fuerza de tal manera que parece que nos empuja”. En lo que se refiere al equilibrio de fuerzas, no hay diferencia observable entre las fuerzas que tú (un ser viviente) ejerces y las que ejerce una pared (un objeto inanimado).

5.1 Las interacciones producen fuerzas

En el sentido más simple, una fuerza es la acción de empujar o tirar, pero, observando con mayor detenimiento, Newton se percató de que **una fuerza no es algo aislado**: es parte de una **acción mutua** —de una **interacción entre dos cosas**. Considera a modo de ejemplo la interacción entre un martillo y un clavo. El martillo ejerce una fuerza en el clavo y lo clava en la tabla. Pero esta fuerza sólo es la mitad del cuento, porque también **debe existir una fuerza que detenga al martillo**. ¿Qué es lo que ejerce esta fuerza? ¡El clavo! Newton dedujo que cuando el martillo ejercía una fuerza sobre el clavo, éste ejercía otra sobre el martillo, de modo que en la interacción entre el martillo y el clavo hay un par de fuerzas: una fuerza sobre el clavo y otra sobre el martillo. Estas observaciones llevaron a Newton a formular su tercera ley: la **ley de la acción y la reacción**.



5.2 Tercera ley de Newton

La **tercera ley de Newton** establece que:

Quando un objeto ejerce una fuerza sobre otro objeto, el segundo objeto ejerce sobre el primero una fuerza igual y en dirección opuesta.

Una de las fuerzas se llama **fuerza de acción** y la otra, **fuerza de reacción**. No importa a cuál de ellas llamemos de acción y a cuál de reacción, lo importante es que ambas son parte de una sola interacción y ninguna de las dos puede existir sin la otra. **Las fuerzas tienen la misma magnitud, tienen direcciones opuestas y ocurren al mismo tiempo.** La tercera ley de Newton se enuncia a menudo diciendo: **“a toda acción corresponde una reacción de igual magnitud y de dirección contraria”.**

En toda interacción las fuerzas se dan por pares. Cuando caminas, interactúas con el suelo, es decir, lo empujas y el suelo también te empuja. Análogamente, al nadar interactúas con el agua: la empujas hacia atrás y el agua te impulsa hacia delante. ¿Qué pasa con la lancha de la figura cuando la chica salta a tierra? En cada interacción interviene un par de fuerzas. **Las interacciones que hemos usado como ejemplos dependen de la fricción.** Por el contrario, una persona que intenta caminar sobre el hie-



lo puede no ser capaz de ejercer sobre éste la fuerza de acción que produce la fuerza de reacción necesaria para andar.

► Preguntas

1. ¿Contiene fuerza un cartucho de dinamita?
2. Un auto se acelera en una carretera. Estrictamente hablando, ¿cuál es la fuerza que mueve al auto?

5.3 Cómo identificar la acción y la reacción

A veces no es fácil identificar la acción y la reacción en un par de fuerzas. Por ejemplo, ¿cuál es la acción y cuál la reacción en el caso de una roca que cae? Podrías decir que la acción es la fuerza gravitacional de la Tierra sobre la roca, pero ¿puedes identificar la fuerza de reacción? ¿Es acaso el peso de la roca? No, el peso es sólo otra forma de llamar a la fuerza de gravedad. ¿La provoca el lugar de la Tierra en el que cae la roca? No, la Tierra no ejerce fuerza sobre la roca hasta que ésta no llega al suelo.

Existe una **receta simple** para determinar las fuerzas de acción y de reacción. Funciona así: describe una de las fuerzas del par, por ejemplo, la **acción**, de la siguiente manera:

El objeto A ejerce una fuerza sobre el objeto B.

Entonces la descripción de la fuerza de **reacción** es simplemente

El objeto B ejerce una fuerza sobre el objeto A.

Es fácil recordar esta receta. Llama A y B a los objetos que interactúan. Si la acción es de A sobre B, para encontrar la reacción basta intercambiar A y B, así que, en el caso de la roca que cae, la interacción es la gravedad entre la roca y la Tierra. Si llamas acción a la fuerza de la Tierra (objeto A) sobre la roca (objeto B), la reacción es la fuerza que la roca ejerce **al mismo tiempo** sobre la Tierra.

► Respuestas

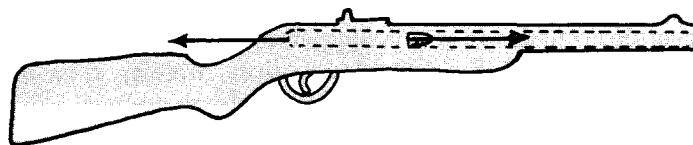
1. No, una fuerza no es algo que un objeto pueda tener como la masa, sino una interacción entre un objeto y otro. Un objeto puede poseer la capacidad de ejercer una fuerza sobre otro, pero no puede poseer fuerza. Más adelante verás que las cosas como los cartuchos de dinamita poseen **energía**.

2. La carretera empuja al auto. ¡Es verdad! Aparte de la resistencia del aire, sólo la carretera puede ejercer una fuerza horizontal sobre el auto. ¿Cómo? Al girar los neumáticos empujan hacia atrás a la carretera (acción). Ésta a su vez empuja hacia delante a los neumáticos (reacción). La próxima vez que veas un auto pasar, di a tus amigos que la calle empuja al auto. Si al principio no te creen, convéncelos de que el mundo físico es más rico de lo que parece a simple vista.

5.4 Acción y reacción sobre masas diferentes

Es interesante observar que en la interacción entre la roca y la Tierra, la roca tira de la Tierra con tanta fuerza como la Tierra tira de ella. Las fuerzas son de igual magnitud y de direcciones opuestas. Decimos que la roca cae a la Tierra; ¿no podríamos decir que la Tierra cae a la roca? La respuesta es sí, pero la distancia que recorre es pequeñísima. ***Aunque las fuerzas entre la roca y la Tierra son iguales, las masas son bastante distintas.*** Recuerda que la segunda ley de Newton establece que las **aceleraciones respectivas** no sólo son proporcionales a las fuerzas netas, sino también **inversamente proporcionales a las masas**. Debido a la enorme masa de la Tierra no percibimos su aceleración diminuta, o infinitesimal. La aceleración es despreciable, pero estrictamente hablando la Tierra se mueve hacia la roca. ¡Cuando bajamos de una vereda la calle sube una distancia minúscula hacia nosotros!

Un ejemplo semejante, aunque no tan exagerado, es un rifle que dispara. Cuando disparamos, hay una interacción entre el rifle y la bala: la fuerza que el rifle ejerce sobre la bala es exactamente igual y en dirección opuesta a la fuerza que la bala ejerce sobre el rifle y éste retrocede. A primera impresión, podría parecerte que el rifle debería retroceder más, o podrías preguntarte por qué la bala se mueve tan rápido en comparación con el rifle. Según la segunda ley de Newton también **hemos de tomar en cuenta las masas**.



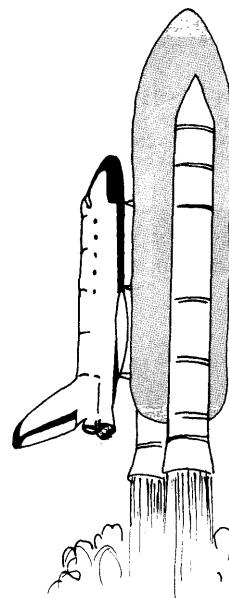
Representemos con **F** tanto la acción como la reacción y sean **m** la masa del rifle y **m** la masa de la bala. Usamos símbolos de tamaños diferentes para indicar la diferencia de las masas relativas y de las aceleraciones resultantes. Entonces, las aceleraciones del rifle y de la bala son:

$$\text{Bala: } a = \frac{F}{m} \qquad \text{Rifle: } a = \frac{F}{M}$$

¿Te das cuenta de por qué el cambio de velocidad de la bala es tan grande comparado con el del rifle? Una fuerza dada que se ejerce sobre una masa pequeña produce una aceleración grande, en tanto que si la misma fuerza se ejerce sobre una masa grande, la aceleración será pequeña.

Si extendemos la idea del rifle que retrocede a causa de la bala, podemos entender la propulsión de un cohete. **Un cohete se acelera** de la misma manera, es decir, **“retrocediendo” constantemente a causa de los gases que salen por las toberas**. Cada molécula de gas es como una minúscula bala que el cohete dispara (figura).

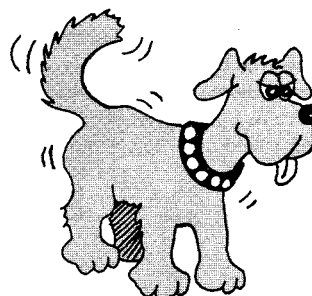
Un error común consiste en pensar que el cohete se impulsa por el impacto de los gases contra la atmósfera. De hecho, antes de la aparición de los cohetes, mucha gente pensaba que era imposible enviar un cohete a la Luna debido a la ausencia de una atmósfera contra la cual se pudiera impulsar. Pero esto equivale a decir que un rifle no retrocede a menos que haya aire para que la bala se impulse. ¡Falso! Tanto en el caso del cohete como en el del rifle, la aceleración no se debe al impulso del aire, sino a las fuerzas de reacción de las “balas” que disparan, haya aire o no lo haya. De hecho, los cohetes funcionan mejor fuera de la atmósfera, donde no hay fricción con el aire.



► Pregunta

¿Puedes identificar las fuerzas de acción y reacción en el caso de un objeto que cae en el vacío?

¿Alguna vez has observado la tercera ley de Newton en acción cuando un perro menea la cola? Si la cola tiene una masa relativamente grande comparada con la del perro, ¿observa que la cola a su vez menea al perro! El efecto es menos discernible en el caso de un perro cuya cola tiene una masa relativamente pequeña.



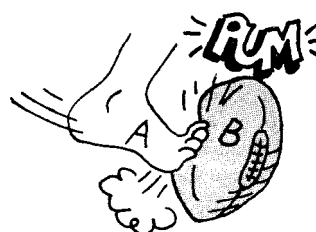
► **Respuesta**

Para identificar las fuerzas de acción y reacción en cualquier situación, identifica primero los objetos que interactúan. Algo interactúa con algo. En este caso, el mundo interactúa (gravitacionalmente) con el objeto que cae. El mundo tira del objeto hacia abajo (llamemos a esta fuerza acción), mientras que el objeto tira del mundo hacia arriba (reacción).

5.5 Por qué no se cancelan las fuerzas de acción y reacción

Vemos, pues, que en toda interacción un objeto interactúa con otro objeto. A interactúa con B. Si la acción es la fuerza de A sobre B, la reacción es la fuerza de B sobre A. Las fuerzas de acción y reacción son iguales en magnitud y de direcciones opuestas, lo que nos lleva a preguntarnos: ¿por qué estas fuerzas no se cancelan? La respuesta es que **cada una de ellas se ejerce sobre un objeto distinto**. Si la fuerza de acción se ejerce sobre B, la de reacción se ejerce sobre A. No se puede cancelar una fuerza que se ejerce sobre un objeto con una fuerza que se ejerce sobre otro.

Con frecuencia, este hecho es mal comprendido. Supón, por ejemplo, que un amigo tuyo que ha oído hablar de la tercera ley de Newton te dice que no puedes mover una pelota de rugby dándole un puntapié. La razón, según tu amigo, es que la fuerza de reacción de la pelota es igual y en dirección opuesta a la fuerza del puntapié. La fuerza neta, entonces, es cero. ¡Así que si la pelota está en reposo antes del puntapié, seguirá en reposo después, sin importar cuánto la patees! ¿Qué le responderías a tu amigo?



Tú sabes que si pateas una pelota de rugby, éste se acelerará. ¿Esta aceleración contradice la tercera ley de Newton? ¡No! El puntapié actúa sobre la pelota. No hay otra fuerza aplicada a la pelota. La fuerza neta que se ejerce sobre la pelota es muy real y, por lo tanto, ésta se acelera. ¿Y la fuerza de reacción? ¡Ajá! Esa fuerza no se ejerce sobre la pelota, sino sobre tu pie. La fuerza de reacción obliga a tu pie a desacelerarse cuando entra en contacto con la pelota. Di a tu amigo que no puedes cancelar una fuerza sobre la pelota con una fuerza sobre tu pie.

Ahora bien, si dos personas patean la misma pelota de rugby al mismo tiempo con fuerzas iguales y en dirección opuesta (figura), hay dos interacciones por considerar. En este caso hay dos fuerzas sobre la pelota y la fuerza neta es cero ... pero éste no es el caso cuando sólo tú pateas la pelota.



► **Preguntas**

1. Sabemos que la Tierra tira de la Luna. ¿También la Luna tira de la Tierra? De ser así, ¿cuál de los dos objetos tira con más fuerza?
2. Un colectivo que viaja a gran velocidad choca con un insecto que se aplasta en el parabrisas. Debido a la fuerza que repentinamente se aplica al desafortunado insecto este se ve sujeto a una desaceleración repentina. ¿La fuerza correspondiente que el insecto ejerce sobre el parabrisas del colectivo es mayor, menor o igual? ¿La aceleración resultante del colectivo es mayor, menor o igual que la del insecto?

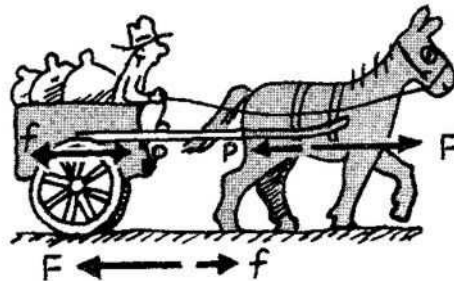
► **Respuestas**

1. Sí, en la interacción entre la Tierra y la Luna los dos objetos tiran uno del otro al mismo tiempo: la Tierra tira de la Luna y la Luna tira de la Tierra. Estas fuerzas forman un par acción-reacción; tienen direcciones opuestas y magnitudes iguales.

2. Aquí estamos considerando una sola interacción entre el insecto y el parabrisas del colectivo. La fuerza que el insecto ejerce sobre el parabrisas es tan grande como la fuerza que éste ejerce sobre él. Estas fuerzas forman un par acción-reacción. Sin embargo, las aceleraciones son muy distintas. Esto se debe a que las masas que intervienen son distintas. El insecto se ve sujeto a una desaceleración enorme, mientras que el colectivo experimenta una desaceleración pequeñísima. En efecto, un pasajero no siente la diminuta disminución de la rapidez del colectivo al chocar con el insecto. Si el insecto tuviera una masa mayor, como, por ejemplo, si se convirtiera en otro colectivo, ¡la disminución de la rapidez se haría muy evidente!

5.6 El problema del caballo y el carro

Al clásico problema del caballo y el carro, que ha confundido y confunde a tantos estudiantes en la universidad, podrás entenderlo por medio de un razonamiento cuidadoso. Puedes considerar el problema del caballo y el carro desde distintos puntos de vista. En primer lugar, considera el **punto de vista del carrero**, preocupado sólo por su carro (es decir, el **sistema** formado por el **carro**). También podemos verlo desde el **punto de vista del caballo** (el **sistema** formado por el **caballo**). Finalmente, has de considerar el **punto de vista del caballo y el carro juntos** (el **sistema caballo-carro**).



En la figura se muestran todos los pares de fuerzas que actúan sobre el caballo y el carro: 1) las fuerzas **P** ejercidas por el carro sobre el caballo y por el caballo sobre el carro al tirar uno del otro; 2) las fuerzas **F** ejercidas por el caballo sobre el suelo y por el suelo sobre el caballo al empujarse uno al otro; y 3) las fuerzas de fricción **f** entre las ruedas del carro y el suelo. Observa que se aplican dos fuerzas al carro y dos al caballo. **¿Puedes ver que la aceleración del sistema caballo-carro se debe a la fuerza neta $F - f$?**

Considera en primer lugar el punto de vista del carrero: a él sólo le preocupa la fuerza que se ejerce sobre su carro. La fuerza neta sobre el carro dividida por la masa del carro producirá una aceleración muy real. Al carrero no le importa la reacción sobre el caballo.

Ahora considera el punto de vista del caballo: es cierto que la fuerza de reacción que el carro ejerce sobre el caballo lo detiene. De no existir esta fuerza, el caballo podría galopar en libertad. Esta fuerza tiende a detener al caballo. ¿Cómo hace entonces el caballo para moverse hacia delante? Por medio de una interacción con el suelo. Al empujar al suelo hacia atrás, éste empuja al caballo hacia delante. Si la fuerza con que el caballo empuja el suelo es mayor que la fuerza con la que tira del carro, habrá una fuerza neta sobre el caballo. El caballo se acelera. Cuando el carro alcanza una rapidez constante, el caballo sólo tiene que empujar el suelo con una fuerza suficiente para vencer la fricción entre éste y las ruedas del carro.

Finalmente considera el caso del sistema compuesto por el caballo y el carro. Desde esta perspectiva la fuerza que el caballo ejerce sobre el carro y la reacción del carro sobre el caballo son fuerzas internas, es decir, fuerzas que ejercen acción y reacción dentro del sistema. Por lo tanto, no contribuyen a la aceleración del sistema. Desde este punto de vista, podemos ignorarlas. Para que el sistema caballo-carro avance debe interactuar con el suelo. Por ejemplo, si tu auto está averiado no podrás hacerlo avanzar empujando el tablero de mandos desde el interior; tendrás que interactuar con

el suelo; tendrás que bajar del auto y hacer que el suelo empuje al auto. El sistema caballo-carro es similar. Es la reacción externa del suelo la que empuja al sistema.

► Preguntas

1. A partir de la figura anterior, ¿cuál es la fuerza neta que se ejerce sobre el carro? ¿Sobre el caballo? ¿Cuál es la fuerza neta que tiende a hacer retroceder al suelo?
2. Una vez que el carro ha alcanzado la velocidad deseada, ¿debe el caballo seguir ejerciendo una fuerza sobre él?

5.7 La acción es igual a la reacción

Iniciamos esta unidad mostrando que cuando empujamos una pared, la pared a su vez nos empuja a nosotros. Supón que, por alguna razón, le das un puñetazo a la pared. ¡Pum! Te has hecho daño en la mano. Tus amigos te ven la mano lastimada y preguntan qué ha ocurrido. ¿Qué puedes decir honestamente? Puedes decir que la pared te golpeó. ¿Con qué fuerza te golpeó la pared? Con una fuerza exactamente igual a la fuerza con la que tú golpeaste la pared. No puedes golpear la pared con una fuerza mayor que la fuerza con que la pared te golpea a ti.

Sostén en el aire una hoja de papel y asegura a tus amigos que el campeón mundial de peso completo no la puede golpear con una fuerza de 200 N (peso de una masa de unos 20 kg). Estás en lo cierto, y la razón es que es imposible que ocurra una interacción de 200 N entre el puño del campeón y la hoja de papel en el aire: ésta no es capaz de ejercer una fuerza de reacción de 200 N. No se puede tener una fuerza de acción sin una fuerza de reacción. Pero si la hoja de papel está adherida a la pared, las cosas cambian. La pared puede fácilmente ayudar a la hoja de papel a suministrar una fuerza de reacción de 200 N ¡y de más, si es necesario!

En toda interacción siempre existe un par de fuerzas de igual magnitud y de direcciones opuestas. Por ejemplo, si empujamos al mundo con fuerza, el mundo nos empuja con fuerza a su vez. Si tocamos al mundo con delicadeza, el mundo nos toca con delicadeza. La forma en que tocas a los demás es la forma en que los demás te tocan.



► Respuestas

1. La fuerza neta que se ejerce sobre el carro es $P - f$; sobre el caballo, $F - P$; y sobre el suelo $F - f$.
2. Si, pero únicamente la necesaria para contrarrestar la fricción de las ruedas del carro y la resistencia del aire. Es interesante notar que la resistencia del aire desaparecería si el viento soplase en la misma dirección y con la misma rapidez que el caballo y el carro. Y si el viento sopla con una rapidez mayor, proporcionando así una fuerza suficiente para contrarrestar el efecto de la fricción, el caballo puede ponerse unos patines y dejarse llevar con el carro.

5 Repaso

Sumario de conceptos

Toda interacción entre dos objetos produce un par de fuerzas.

- Cada uno de los objetos ejerce una fuerza sobre el otro.
- Estas fuerzas se conocen como acción y reacción.
- Las fuerzas de acción y reacción tienen la misma magnitud y direcciones opuestas.

Términos importantes

fuerza de acción (5.2)
fuerza de reacción (5.2)
interacción (5.1)
tercera ley de Newton (5.2)

Preguntas

1. En la interacción entre un martillo y un clavo, ¿se ejerce alguna fuerza sobre el clavo?, ¿sobre el martillo? ¿Cuántas fuerzas intervienen en esta interacción? (5.1)
2. Cuando un martillo ejerce una fuerza sobre un clavo, ¿cómo es la magnitud de dicha fuerza respecto a la de la fuerza que el clavo ejerce, sobre el martillo? (5.2)
3. ¿Qué es lo que nos empuja cuando caminamos? (5.2)
4. Al nadar empujamos el agua hacia atrás; sea ésta la acción. ¿Cuál es entonces la fuerza de reacción? (5.2)
5. Identifica la fuerza de reacción, si la acción es la fuerza que la cuerda de un arco ejerce sobre una flecha. (5.3)
6. Cuando saltas hacia arriba, el mundo retrocede hacia abajo. ¿Por qué no puedes detectar este movimiento del mundo? (5.4)
7. Cuando se dispara un rifle, ¿cómo comparas la magnitud de la fuerza que el rifle ejerce sobre la bala con la de la fuerza que la bala ejerce sobre el rifle? ¿Cómo comparas las aceleraciones del rifle y de la bala? Defiende tu respuesta. (5.4)
8. ¿Cómo puede acelerarse un cohete fuera de la atmósfera, donde no hay aire “contra el cuál impulsarse”? (5.4)
9. La acción y la reacción siempre tienen la misma magnitud y direcciones opuestas. ¿Por qué entonces no se cancelan, haciendo imposible que existan fuerzas netas mayores que cero? (5.5)

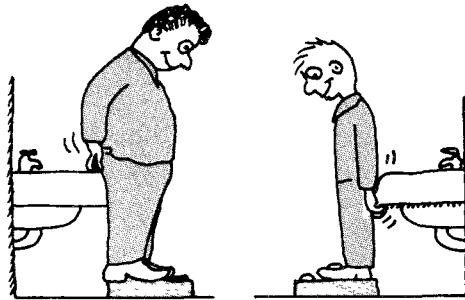
Las preguntas 10 a 13 se refieren a la figura de la pág. 41.

10. a. Aparte de la fuerza de gravedad, ¿cuántas fuerzas se ejercen sobre el carro?
b. ¿Cuál es la fuerza neta que se ejerce sobre el carro usando los símbolos de la figura? (5.6)
11. a. Además de la gravedad, ¿cuántas fuerzas se ejercen sobre el caballo?
b. ¿Cuál es la fuerza neta que se ejerce sobre el caballo?
c. ¿Cuántas fuerzas ejerce el caballo sobre otros objetos? (5.6)
12. a. ¿Cuántas fuerzas se ejercen sobre el sistema caballo-carro?
b. ¿Cuál es la fuerza neta que se ejerce sobre el sistema caballo-carro? (5.6)
13. Para aumentar la rapidez, ¿por qué el caballo tiene que empujar el suelo con una fuerza mayor que la fuerza con que tira del carro? (5.6)
14. Si golpeas una pared con una fuerza de 200 N, ¿cuál es la magnitud de la fuerza que se ejerce sobre ti? (5.7)
15. ¿Por qué no podemos golpear una pluma que flota en el aire con una fuerza de 200 N? (5.7)
16. ¿Cómo se relaciona el dicho “se recibe lo que se da” con la tercera ley de Newton? (5.7)

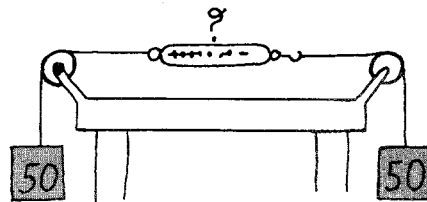
Piensa y explica

1. Tu peso es el resultado de la fuerza gravitacional que ejerce la Tierra sobre tu cuerpo. ¿Cuál es la fuerza de reacción correspondiente?
2. Si caminas sobre un tronco que flota en el agua, el tronco se desplaza hacia atrás. ¿Por qué?
3. ¿Por qué es más fácil caminar sobre una alfombra que sobre un piso pulido?
4. Si bajas por un precipicio, te acelerarás notablemente hacia abajo debido a la interacción gravitacional entre la Tierra y tú. ¿Se acelera también la Tierra hacia ti? Explica tu respuesta.

5. Supón que te estás pesando junto al lavatorio en el cuarto de baño. Usando la idea de acción y reacción, ¿por qué es menor la indicación de la báscula cuando empujas el lavatorio hacia abajo (figura)? ¿Por qué será mayor la indicación cuando tiras hacia arriba por la parte inferior del lavatorio?



6. ¿Cuál es la reacción correspondiente a la fuerza de 1000 N que ejerce la Tierra sobre un satélite de telecomunicaciones en órbita?
7. Si la acción es igual a la reacción, ¿por qué la Tierra no se ve obligada a orbitar alrededor del satélite de telecomunicaciones de la pregunta anterior?
8. Se coloca un par de pesas de 50 N en los extremos de un dinamómetro, como se muestra en la figura. ¿Indica el dinamómetro 0, 50 o 100 N? (Sugerencia: ¿Sería distinta la indicación si tomaras una de las cuerdas con la mano en vez de atarla al peso de 50 N?)



9. En la colisión frontal de una bicicleta y un camión pesado ¿sobre cuál de los dos vehículos es mayor la fuerza del impacto? ¿Cuál de los dos vehículos sufre un cambio de movimiento mayor? Explica tu respuesta.
10. Solía pensarse que era imposible enviar un cohete a la Luna porque, una vez fuera de la atmósfera terrestre, no habría aire para que el cohete se impulsara. Hoy sabemos que esta idea es errónea porque hemos enviado varios cohetes a la Luna. ¿Cuál es exactamente la fuerza que impulsa a un cohete en el vacío?
11. Puesto que la fuerza que se ejerce sobre una bala cuando se dispara una pistola es igual y opuesta a la fuerza que se ejerce sobre la pistola, ¿no es cero la fuerza neta y, por tanto, no es acaso imposible que la bala se acelere? Explica tu respuesta.
12. Supón que estás empujando tu heladera a velocidad constante por medio de una fuerza de 200 N. ¿Cuál es la fuerza de fricción entre el refrigerador y el piso? ¿La fuerza de fricción constituye la reacción a la fuerza que ejerces?

6 Vectores

6.1 Cantidades vectoriales y escalares

Hemos visto que *para describir completamente algunas cantidades se requiere tanto una magnitud (cuánto) como una dirección (hacia dónde)*; se trata de **cantidades vectoriales**. Por ejemplo, una fuerza tiene dirección y magnitud. También una velocidad. La fuerza y la velocidad son las cantidades vectoriales más comunes, pero más adelante hablaremos de algunas otras.

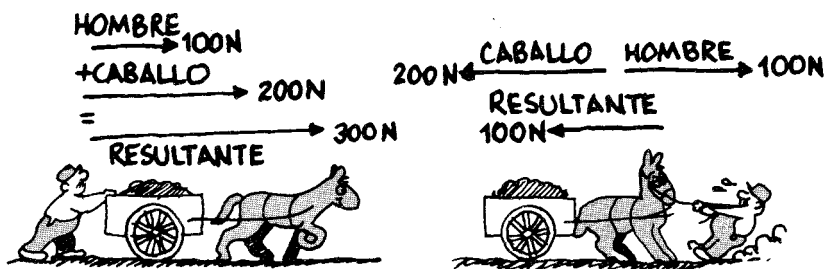
Muchas cantidades físicas, como la masa, el volumen y el tiempo, pueden especificarse completamente por medio de una magnitud.

Son *cantidades que no tienen dirección*. Se trata de **cantidades escalares**. Estas cantidades *satisfacen las leyes ordinarias de la adición, la sustracción, la multiplicación y la división*. Si añadimos 3 kg de arena a 1 kg de cemento, la mezcla resultante tendrá una masa de 4 kg. Si sacamos 5 litros de agua de un balde que inicialmente contenía 8 litros de agua, el volumen resultante será de 3 litros. Si durante un viaje que debe durar una hora nos retrasamos 15 minutos, la travesía durará 1¼ horas. En ninguno de estos casos interviene la dirección. Vemos que no tiene sentido hablar de 10 kilogramos hacia el norte, 5 litros hacia el este o 15 minutos hacia el sur.

6.2 Representación vectorial de una fuerza

Es fácil dibujar un **vector** que representa una **fuerza**. La **longitud**, a una **escala adecuada**, indica la **magnitud** (intensidad) de la fuerza. La **orientación y la punta de la flecha** muestran la **dirección**.

En la figura de la izquierda se muestra un caballo tirando de un carro y a un hombre que empuja el carro desde atrás. El diagrama muestra los vectores que representan estas dos fuerzas que se ejercen sobre el carro, El caballo aplica al carro una fuerza del doble de la que aplica el hombre, así que el vector que representa la fuerza del caballo es dos veces más largo que el que representa la fuerza del hombre. Los vectores se han dibujado en una escala en la que **1 cm representa 100 N**. Los vectores apuntan en la misma dirección puesto que las fuerzas tienen la misma dirección.



El hombre empuja con una fuerza de 100 N y el caballo tira con una fuerza de 200 N. Como las fuerzas se ejercen en la misma dirección, la fuerza resultante es igual a la suma de ambas y actúa en la misma dirección. El carro se mueve como si se le aplicara una sola fuerza de 300 N. Esta **fuerza neta** se llama **resultante** de ambas fuerzas. Vemos que está representada por un vector de 3 cm de longitud.

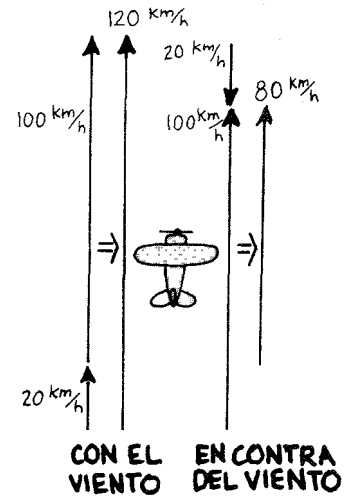
Supón ahora que el caballo empuja hacia atrás con una fuerza de 200 N en tanto el hombre tira hacia adelante con una fuerza de 100 N (figura de la derecha). Las fuerzas se ejercen ahora en direcciones opuestas. La resultante (fuerza neta) es igual a la diferencia de sus magnitudes, o sea, $200\text{ N} - 100\text{ N} = 100\text{ N}$, y se ejerce en la dirección de la fuerza mayor. La representamos por medio de un vector de 1 cm de longitud.

6.3 Representación vectorial de la velocidad

La **rapidez** es una medida de qué tan rápido se mueve un objeto; puede tener cualquier dirección. Cuando tomamos en cuenta la **dirección** de movimiento además de la

rapidez, estamos hablando de la **velocidad**. La velocidad, al igual que la fuerza, es una cantidad vectorial.

Considera un avión que vuela hacia el norte a 100 km/h respecto al aire que lo rodea. El viento sopla hacia el norte con una velocidad de 20 km/h. Representamos este ejemplo por medio de vectores en la izquierda de la figura. Hemos usado una escala en la que **1 cm representa 20 km/h**. Así, la velocidad de 100 km/h del avión queda representada por un vector de 5 cm de longitud y la velocidad de 20 km/h del viento por un vector de 1 cm de longitud. Puedes ver (con o sin los vectores) que la velocidad resultante será de 120 km/h. Si no soplara el viento, el avión recorrería en una hora 100 km respecto a la Tierra. Con el viento, recorrerá 120 km en una hora.



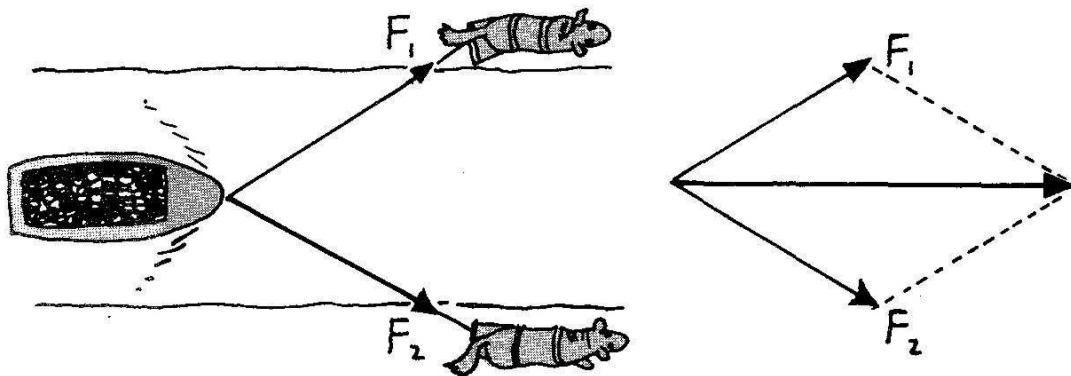
Supón ahora que el viento sopla hacia el sur de tal modo que el avión vuela contra el viento y no con él. Los vectores de velocidad son ahora opuestos (en la derecha de la figura). Su resultante es $100 \text{ km/h} - 20 \text{ km/h} = 80 \text{ km/h}$. Volando contra un viento de 20 km/h el avión recorrería sólo 80 km respecto a la tierra en una hora.

► Preguntas

1. En el ejemplo de la pág. anterior en la figura de la izquierda supón que el hermano pequeño del hombre le ayuda empujando el carro hacia delante, pero con una fuerza de 50 N ¿Cuál sería entonces la fuerza resultante que los hombres y el caballo ejercen sobre el carro?
2. Supón que en la pregunta anterior todos los participantes ejercen las fuerzas indicadas con un viento en contra de 10 km/h. ¿Cuál sería entonces la fuerza resultante que los hombres y el caballo ejercen sobre el carro?

6.4 Adición geométrica de vectores

Consideremos las fuerzas que ejercen los caballos que tiran de la barcaza de la figura de la izquierda. Cuando **dos vectores forman un ángulo** se puede recurrir a una **técnica geométrica simple** para encontrar la **magnitud y dirección de la resultante**.



Se dibujan los vectores que han de sumarse de manera que sus partes posteriores (o colas) coincidan (ve la figura de la derecha). Después, se traza una **proyección de cada vector** (líneas punteadas) **desde la punta del otro vector**. La figura de cuatro lados que resulta es un **paralelogramo** (figura cuyos lados opuestos son paralelos y de la misma longitud).* La **resultante de las fuerzas** es la **diagonal del paralelogramo**.

mo, que va del punto en que coinciden las colas de los vectores al punto en que coinciden los extremos de las líneas punteadas.**

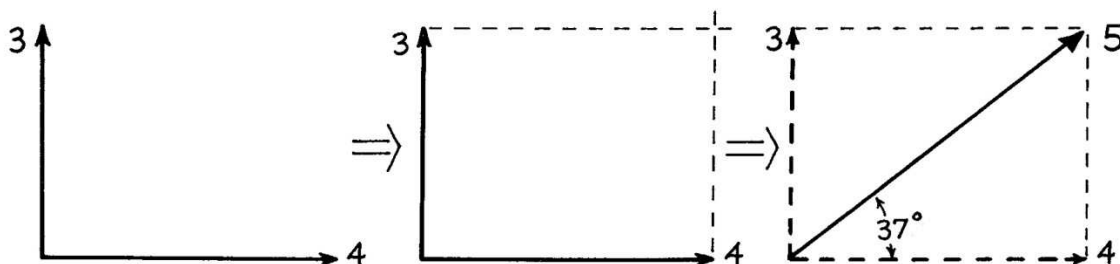
* Cuando los ángulos de un paralelogramo son de 90° , éste se convierte en un rectángulo; si los cuatro lados del rectángulo son de la misma longitud, entonces se tiene un cuadrado.

** Puesto que las flechas de los vectores sólo representan las fuerzas, no importa dónde las coloquemos en la figura, siempre y cuando conserven las direcciones y longitudes correctas. Otra manera de encontrar la resultante es colocar las flechas en cualquier orden, pero de tal manera que la punta de una, coincida con la cola de la otra. Un nuevo **vector que va de la cola del primer vector a la punta del segundo** representa la **fuerza resultante** o neta.

Podemos ver que la barcaza no se moverá en la dirección de ninguna de las fuerzas que ejercen los caballos, sino más bien en la dirección de su resultante. La resultante se encuentra usando la siguiente **regla de la adición vectorial**:

La resultante de dos vectores queda representada por la diagonal de un paralelogramo construido con estos dos vectores por lados.

Esta regla puede aplicarse a otros pares de fuerzas que actúan en el mismo punto. En la figura siguiente se muestra un par de fuerzas: 3 N hacia el norte y 4 N hacia el este. Usando la **escala** de **1 N : 1 cm** puedes construir un paralelogramo con estos vectores por lados. Como los vectores forman un ángulo recto, el paralelogramo es simplemente un rectángulo. Si trazas una diagonal desde las colas de los vectores, obtienes la resultante. Ahora mide la longitud de la diagonal, y refiriéndote a la escala, obtienes la magnitud de la resultante. Puedes determinar el ángulo por medio de un transportador.



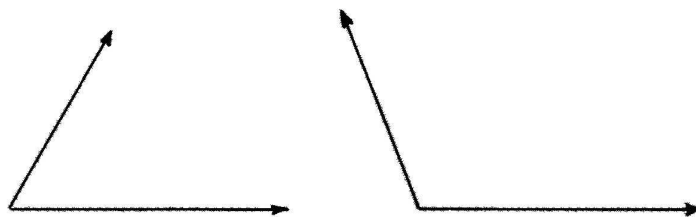
► Respuestas

(Recordatorio: ¿Estás leyendo esto antes de haber reflexionado sobre las preguntas y haber obtenido tus propias respuestas? Encontrar, leer y recordar la respuesta no es la manera correcta de hacer física. Es más importante aprender a pensar los conceptos de la física. ¡Piensa antes de mirar las respuestas! Notarás la diferencia.)

1. La resultante será la suma de las fuerzas aplicadas: $200\text{ N} + 100\text{ N} + 50\text{ N} = 350\text{ N}$.
2. La fuerza resultante es la misma, o sea, 350 N . Ten cuidado. Sumar manzanas a un montón de naranjas no incrementa el número de naranjas. Análogamente, no podemos sumar o restar una velocidad a una fuerza.

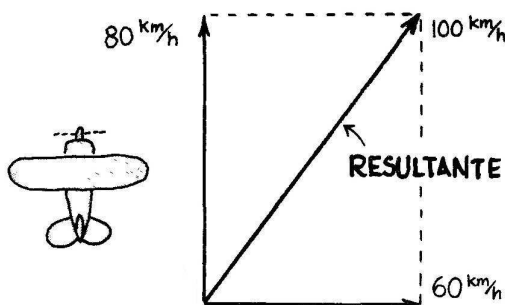
► Ejercicios

1. Construye mediante el método del paralelogramo las resultantes de las fuerzas de 3 N y 4 N representadas por los vectores que se muestran en la figura. La escala es 1 cm : 1 N. Mide tus resultantes con una regla y compara tus mediciones con las respuestas correctas de estos ejercicios que aparecen después.



2. ¿Cuáles son las resultantes máxima y mínima posibles para una fuerza de 3 N y otra de 4 N que se ejercen sobre el mismo objeto?

Puedes corregir el efecto de un viento cruzado sobre la trayectoria de un avión por medio del método de la adición vectorial. Considera un avión lento que vuela hacia el norte a 80 km/h mientras un fuerte viento cruzado sopla hacia el este a 60 km/h. En la figura se muestran los vectores de velocidad del avión y del viento. La **escala** es de **1 cm : 20 km/h**. La diagonal del paralelogramo (que en este caso es un rectángulo) mide 5 cm, lo que equivale a 100 km/h, así que el avión se mueve a 100 km/h respecto a la Tierra en dirección noreste.*

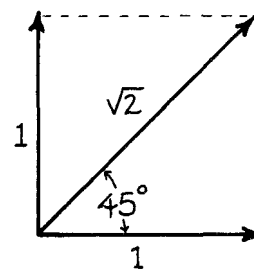


* Cuando los vectores forman un **ángulo recto** puedes encontrar la resultante por medio del **teorema de Pitágoras**, una herramienta muy utilizada en la geometría. El teorema establece que el cuadrado de la hipotenusa de un triángulo rectángulo es igual a la suma de los cuadrados de los dos lados restantes. Observa que hay dos triángulos rectángulos en el paralelogramo (rectángulo en este caso) de la figura. De cualquiera de estos triángulos obtenemos:

$$\text{resultante}^2 = (60 \text{ km/h})^2 + (80 \text{ km/h})^2 = 3.600 (\text{km/h})^2 + 6.400 (\text{km/h})^2 = 10.000 (\text{km/h})^2$$

La raíz cuadrada de $10.000 (\text{km/h})^2$ es 100 km/h, como esperábamos.

Hay un caso particular de paralelogramo que ocurre con frecuencia. Cuando han de sumarse **dos vectores de la misma magnitud que forman un ángulo recto**, el paralelogramo es un cuadrado. La longitud de la diagonal de todo cuadrado es igual a $\sqrt{2}$ o 1,41 veces la longitud de uno de los lados, por lo que la resultante es de $\sqrt{2}$ veces cualquiera de los dos vectores. Por ejemplo, la resultante de dos vectores iguales de magnitud 100 que forman un ángulo recto es de 141.

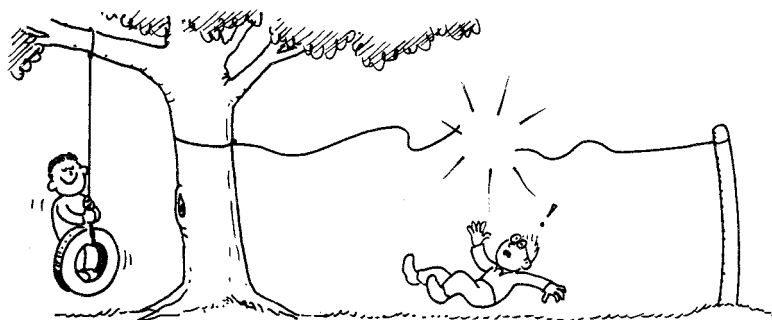


► **Respuestas**

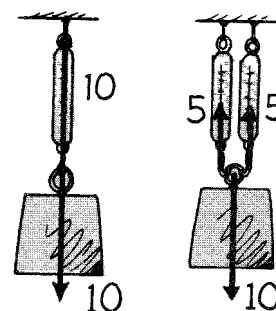
1. Izquierda: 6 N; derecha: 4 N.
2. La resultante mínima ocurre cuando las fuerzas están en direcciones opuestas: $4 \text{ N} - 3 \text{ N} = 1 \text{ N}$. La máxima ocurre cuando tienen la misma dirección: $4 \text{ N} + 3 \text{ N} = 7 \text{ N}$. (Cuando forman un ángulo, una fuerza de 3 N y otra de 4 N pueden combinarse para dar una fuerza cuya magnitud está en el intervalo de 1 N a 7 N.)

6.5 Equilibrio

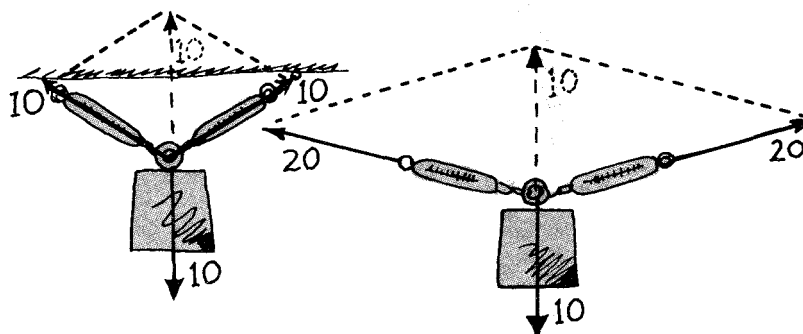
El método de combinar vectores por medio de *la regla del paralelogramo es un hecho experimental*. Se puede comprobar que es correcto considerando un ejemplo muy común y bastante sorprendente la primera vez que nos topamos con él: el hecho de que te puedes colgar tranquilamente de una *cuerda delgada* cuando está en posición vertical, pero no cuando está tendida horizontalmente. Invariablemente se romperá (figura).



Puedes hacer el experimento usando unos *dinamómetros* para medir las fuerzas. Considera un bloque que pesa 10 N (masa de 1 kg). Si lo colgamos de un solo dinamómetro, como en la figura de la izquierda, éste indica 10 N. En cambio, si colgamos el bloque de 10 N de dos dinamómetros verticales (figura de la derecha), cada uno de ellos indicará 5 N. Entre ambos tiran del bloque con una fuerza resultante de 10 N, igual al peso del bloque. La *fuerza neta* sobre el bloque es *cero* y éste cuelga en reposo; decimos entonces que está en *equilibrio*. El concepto más importante es éste: si un bloque de 10 N está en equilibrio, la resultante de las fuerzas que ejercen los dos dinamómetros debe ser igual a 10 N. Si están orientados verticalmente, esto es fácil: $5\text{ N} + 5\text{ N} = 10\text{ N}$. Lo podríamos haber visto en la unidad 4.



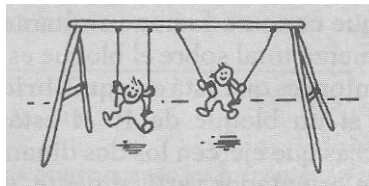
Ahora supón que los dinamómetros no están en posición vertical, lo que exige una cuidadosa atención. Lo que hay que entender es que *cuanto mayor sea el ángulo* que forman *con la vertical* los dinamómetros, cuerdas o cables que soportan una carga, *mayor será la fuerza* que tiende a estirarlos. Esto ocurre debido a que la *resultante de las fuerzas*, o sea, la diagonal del paralelogramo que forman, debe ser *igual y opuesta a la carga*. En la figura siguiente vemos que cuando los dinamómetros están a 60° de la vertical, cada uno de ellos indica 10 N: ¡el doble de lo que indicaban en la posición vertical! ¿Por qué? Porque la diagonal del paralelogramo que forman debe ser igual a 10 N, que es el peso de la carga. Para un ángulo de 60° con la vertical (120° entre los dinamómetros) esto corresponde a un paralelogramo con lados de 10 N. Si el ángulo es mayor, las indicaciones de los dinamómetros serán mayores.



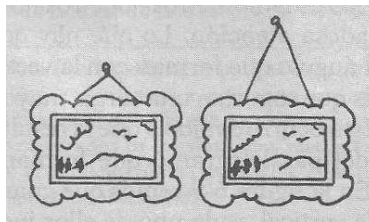
En la figura de la derecha, donde el ángulo respecto a la vertical se ha aumentado a $75\frac{1}{2}^\circ$, cada uno de los dinamómetros debe tirar con una fuerza de 20 N para producir la resultante de 10 N. Conforme aumenta el ángulo que forman los dinamómetros, también aumenta la fuerza que indican, de tal modo que la resultante es siempre de 10 N. En términos del paralelogramo, al aumentar el ángulo entre sus lados, la magnitud de éstos debe aumentar para que la diagonal sea siempre igual. Si entiendes esto, podrás entender por qué no puedes colgarte de una cuerda delgada horizontal sin producir una fuerza de tensión considerablemente superior a tu peso. Vemos que la regla del paralelogramo es muy interesante.

► Preguntas

1. Si los niños que están en las hamacas tienen el mismo peso, ¿cuál de las dos hamacas tiene mayor probabilidad de romperse?



2. Si cuelgas dos cuadros que pesan lo mismo como se muestra en la figura. ¿En cuál de los dos casos es más probable que se rompa la cuerda?



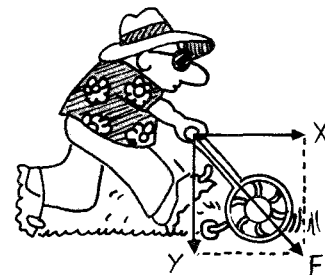
3. Si cuelgas un peso de 10 N a la mitad de una cuerda de guitarra horizontal muy tensa, ¿puede la cuerda permanecer horizontal sin bajar un poco en el punto de suspensión?

6.6 Componentes de vectores

Hemos visto que dos vectores que se aplican al mismo objeto pueden ser sustituidos por un solo vector (la resultante) que produce el mismo efecto sobre el objeto que los otros dos combinados. Lo opuesto también es cierto: **todo vector puede considerarse como la resultante de dos vectores, cada uno de los cuales actúa en una dirección distinta a la del vector original**. Estos dos vectores se conocen como las **componentes del vector** que sustituyen. El **proceso de determinar las componentes de un vector** se llama **descomposición**.

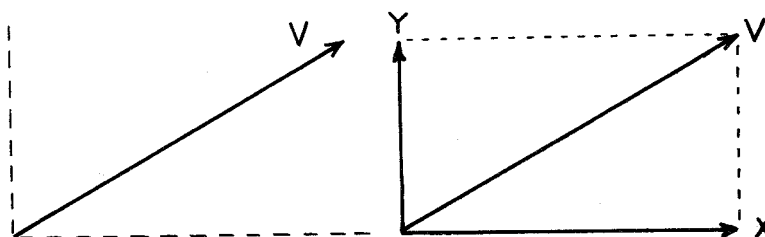
Un hombre que empuja una cortadora de césped ejerce una fuerza que impulsa a la máquina hacia delante y también la oprime contra el suelo. En la figura, el vector **F** representa la fuerza que ejerce el hombre. Podemos descomponer esta fuerza en dos componentes. El vector **Y**, **componente vertical**, es la fuerza hacia abajo. El vector **X**, **componente horizontal**, es la fuerza hacia delante que impulsa la cortadora.

Trazando un rectángulo cuya diagonal sea **F** podemos encontrar la magnitud de las componentes. Como **X** y **Y** son los lados de un paralelogramo, el vector **F** es la resultante de **X** y **Y**. Por lo tanto, la acción conjunta de las componentes **X** y **Y** es equivalente a la de la fuerza **F**. Es decir, la cortadora se moverá de la misma manera ya sea que supongamos que el hombre ejerce dos fuerzas representadas por las componentes **X** y **Y**, o una



sola fuerza F .

La regla para determinar las componentes vertical y horizontal de un vector es relativamente simple, y se ilustra en la figura siguiente. Se traza un vector V en la dirección adecuada para representar la fuerza, velocidad, o cualquier otra cantidad vectorial (figura de la izquierda). Luego, se traza una línea horizontal y otra vertical partiendo de la cola del vector (figura de la derecha). Entonces se traza un rectángulo cuya diagonal es V y cuyos lados son las componentes buscadas. Vemos que las componentes del vector V quedan entonces representadas, tanto en dirección como en magnitud, por los vectores X y Y .



Cualquier vector puede representarse por medio de un par de componentes perpendiculares entre sí.

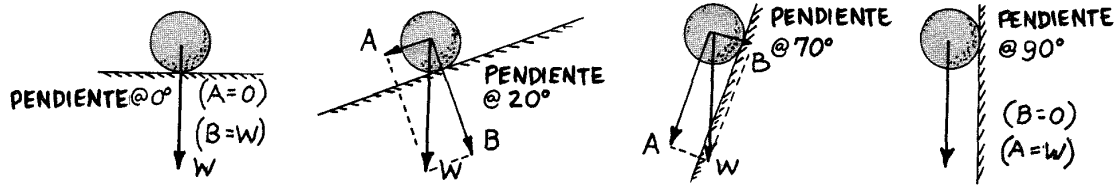
► **Respuestas**

1. La fuerza de tensión es mayor en las cuerdas que forman un ángulo con la vertical, por lo que es más probable que éstas se rompan y no las verticales.
 2. La fuerza de tensión es mayor en el cuadro de la izquierda porque la cuerda forma un ángulo mayor respecto a la vertical que la cuerda del cuadro de la derecha. La situación es similar al caso de la cuerda delgada.
 3. ¡De ninguna manera! Si queremos que la carga de 10 N se mantenga en equilibrio, debe haber una resultante de 10 N hacia arriba para sostenerla. La mitad de la cuerda hacia un lado y la otra mitad hacia el otro lado deben formar un paralelogramo cuya resultante sea de 10 N. Para que la distancia que desciende el punto medio de la cuerda sea muy pequeña, la fuerza de tensión debe ser muy, muy grande. Conforme esta distancia se acerca a cero, la fuerza de tensión se acerca a infinito. Reflexiona sobre esta idea y verás que oprimiendo un poco hacia abajo una cuerda muy tensa, la fuerza a lo largo de ésta aumenta enormemente. ¡Por eso una pequeña fuerza hacia un costado puede hacer que se rompa una cuerda de guitarra muy resistente!
-

6.7 Componentes del peso

Todos sabemos que una pelota rueda más rápido por la ladera de una colina empinada que por la de una colina con pendiente pequeña. Cuanto más pronunciada sea la pendiente, mayor será la aceleración de la pelota. La descomposición de vectores nos permite entender este hecho. La fuerza de gravedad, que se ejerce en la dirección que apunta directamente al centro de la Tierra (figura de la pág. siguiente), proporciona a los objetos un peso, representado por el vector W . Sin embargo, las componentes de W pueden actuar en cualquier dirección. **La mayoría de las veces es útil considerar componentes que sean perpendiculares entre sí.**

En la figura vemos que W se ha descompuesto en las componentes A y B , donde A es paralela a la superficie y B es perpendicular a la superficie. La componente A es la que imparte movimiento a la pelota. La componente B oprime la pelota contra la superficie. Las imágenes son mejores que las palabras, así que estudia la figura y ve cómo varían las magnitudes de las componentes según la pendiente.



¿Ves que la componente **A** es igual a cero sólo cuando la **pendiente** es **cero**, es decir, cuando la superficie es horizontal? Por eso la rapidez de la pelota no cambia en una superficie horizontal. La componente **B** es igual a **W**; la pelota se apoya sobre la superficie con la máxima fuerza posible. Pero cuando la **pendiente** es de **90°** la componente **B** se hace cero y **A** se hace igual a **W**, de modo que la pelota sufre la aceleración máxima.

► **Pregunta**

¿A qué ángulo tendrán la misma magnitud las componentes **A** y **B** de la figura anterior? ¿A qué ángulo será **A** igual a **W**? ¿A qué ángulo será la magnitud de **A** superior a la de **W**?

6.8 Movimiento de proyectiles

En la unidad 2 estudiamos las cantidades vectoriales velocidad y aceleración. Como únicamente consideramos movimientos horizontales y verticales, no fue necesario conocer las **técnicas de la adición o la descomposición vectoriales**, pero para estudiar el **movimiento de objetos** que se proyectan **formando un ángulo distinto de cero con la vertical** sí es necesario conocerlas.

Se llama **proyectil** a cualquier **objeto que es lanzado por algún agente y que continúa en movimiento en virtud de su propia inercia**. Una bala disparada por un cañón, una piedra lanzada al aire o una pelota que cae por el borde de una mesa, todos son proyectiles. Los proyectiles describen trayectorias curvas que a primera impresión nos parecen complicadas, pero cuando descomponemos el movimiento en una parte horizontal y otra vertical, estas trayectorias se vuelven asombrosamente simples.

La **componente horizontal** del movimiento de un proyectil es igual al movimiento horizontal de una bola de billar que rueda libremente sobre la superficie plana de la mesa. Si podemos **despreciar el efecto de la fricción**, la bola se mueve a velocidad constante, recorriendo distancias iguales en intervalos de tiempo iguales. **No hay aceleración horizontal**, y lo mismo ocurre en el caso de la componente horizontal de la velocidad de un proyectil.

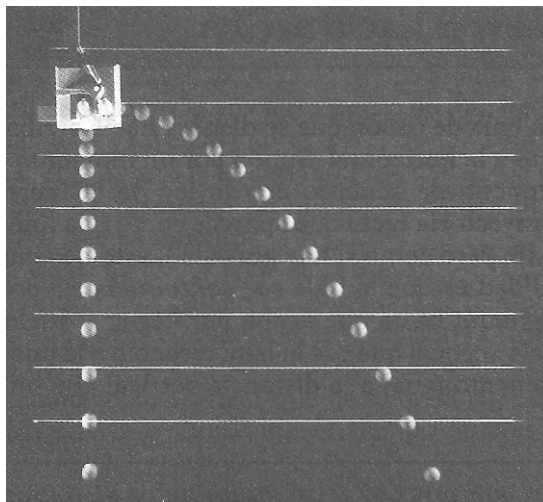
La **componente vertical** del movimiento de un proyectil que describe una trayectoria curva es exactamente igual que el movimiento de un objeto en **caída libre**, que estudiamos en la unidad 2. El movimiento del proyectil, como el de una pelota que dejamos caer, tiene una componente vertical en la dirección de la gravedad terrestre; **el proyectil se acelera hacia abajo**. El aumento de la rapidez en la dirección vertical hace que el objeto recorra distancias cada vez mayores a intervalos de tiempo iguales.

Es interesante notar que **la componente horizontal del movimiento de un proyectil es totalmente independiente de la componente vertical**. Cada una de ellas actúa de manera independiente. Sus efectos combinados producen toda la gama de trayectorias curvas que describen los proyectiles.

► **Respuestas**

Las componentes **A** y **B** tendrán la misma magnitud a 45°; **A = W** a 90°; la magnitud de **A** no puede ser superior a la de **W** a ningún ángulo.

En la **fotografía estroboscópica** de la figura siguiente se muestran las **posiciones sucesivas, a intervalos regulares**, de dos pelotas: **una que se lanza horizontalmente** y **otra que se deja caer**. Estudia la fotografía con detenimiento porque involucra muchos conocimientos de física. Observa que en intervalos de tiempo iguales recorre la misma distancia en la dirección horizontal, pero una distancia cada vez mayor en la dirección vertical. ¿Sabes por qué?



La trayectoria curva de la pelota se puede analizar mejor considerando por separado las componentes horizontal y vertical del movimiento. Debemos notar dos cosas importantes. En primer lugar, que **la componente horizontal del movimiento de la pelota no cambia al moverse ésta hacia un costado**. La pelota recorre la misma distancia horizontal durante los intervalos de tiempo iguales que transcurren entre destellos. Esto se debe a que **la fuerza gravitacional no tiene una componente que se ejerza en la dirección horizontal**.

La gravedad sólo se ejerce hacia abajo, de modo que la pelota únicamente se acelera en esa dirección. En segundo lugar, observa en la fotografía que **ambas pelotas recorren distancias verticales iguales en intervalos de tiempo iguales**. La distancia vertical no tiene nada que ver con la componente horizontal del movimiento. **El movimiento hacia abajo de la pelota que se proyecta horizontalmente es el mismo que si estuviera en caída libre**.

La trayectoria que describe un proyectil que sólo se acelera en la dirección vertical, moviéndose con velocidad horizontal constante, se llama **parábola**. Cuando es posible **despreciar la resistencia del aire** –o sea, en general, para proyectiles lentos o proyectiles muy pesados respecto a las fuerzas de resistencia del aire– las trayectorias curvas son parabólicas.

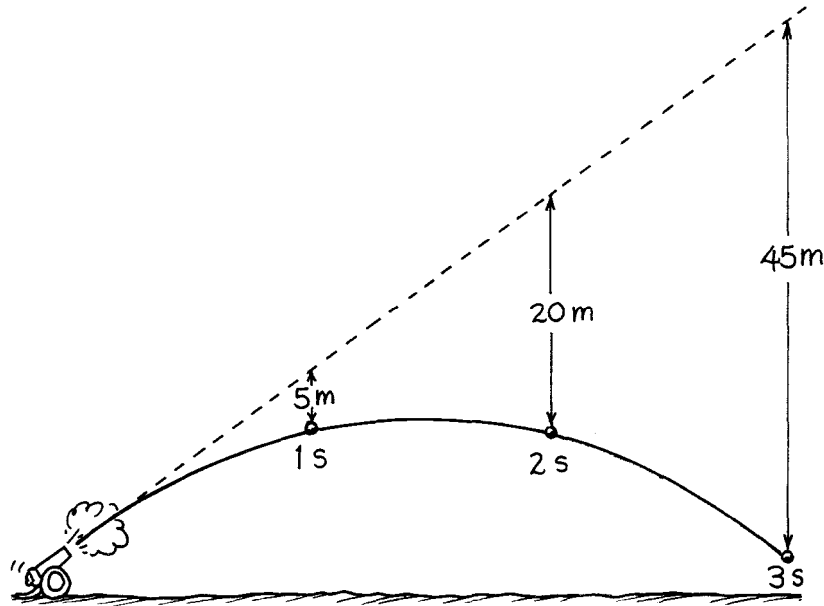
► **Pregunta**

Una bala que se sostiene junto a un rifle que está en posición horizontal sobre un terreno plano se deja caer en el preciso instante en que se dispara el rifle. ¿Cuál de las dos balas llega primero al suelo: la que se dispara o la que se deja caer desde el reposo?

6.9 **Proyectiles que se mueven hacia arriba**

Considera una bala de cañón que **se dispara hacia arriba con cierto ángulo respecto a la horizontal**. Supón por un momento que **no hay gravedad**; entonces, de acuerdo con la ley de la inercia, la bala describirá la **trayectoria recta que aparece como una línea punteada en la figura** de la pág. siguiente. Pero como sí hay gravedad, esto no ocurre. Lo que ocurre en realidad es que la bala **cae continuamente por debajo de esta línea imaginaria** hasta que acaba por llegar al suelo. Entiende esto: **la distancia vertical que cae la bala respecto a la línea punteada es en**

todo momento igual a la distancia vertical que hubiese recorrido hasta ese instante de haber caído desde el reposo. En la unidad 2 vimos que esta distancia es $d = \frac{1}{2}gt^2$, donde t es el tiempo transcurrido.



Podemos decirlo de otra manera: lanza un proyectil hacia el cielo y supón que no hay gravedad. Al cabo de cierto número de segundos t , el proyectil debería estar en cierto punto de una trayectoria recta. Pero, a causa de la gravedad, no es así. ¿Dónde está entonces? La respuesta es: el proyectil está exactamente debajo de este punto. ¿A qué distancia? La respuesta en metros es $5t^2$ (o, de manera más precisa, $4,9t^2$). ¿No es sencillo?

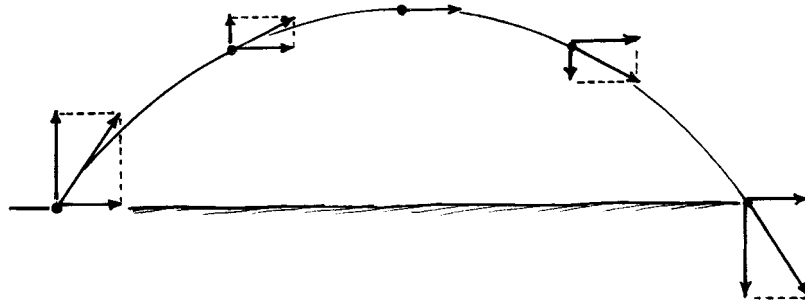
Haz otra observación acerca de la figura anterior. La bala recorre distancias horizontales iguales en intervalos de tiempo iguales. Esto se debe a que **no hay aceleración en la dirección horizontal**. La única aceleración del proyectil es vertical, en la dirección de la gravedad terrestre. La distancia vertical que cae por debajo de la trayectoria recta imaginaria a intervalos de tiempo iguales aumenta con el tiempo.

► **Respuestas**

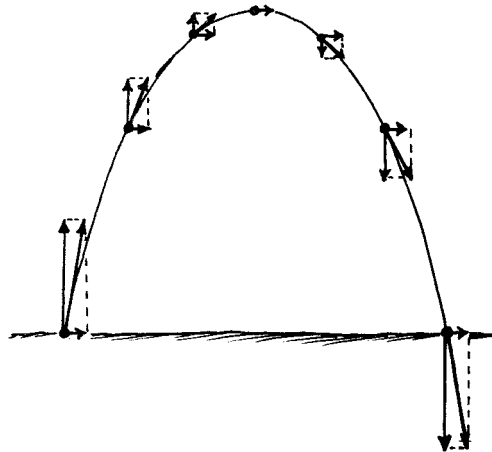
Ambas balas recorren la misma distancia vertical con la misma aceleración de la gravedad g , por lo que llegan al suelo al mismo tiempo. ¿Puedes ver que esto es congruente con nuestro análisis de la figura de la pág. anterior? Podemos entenderlo de otra manera preguntándonos cuál de las dos balas llegaría primero al suelo si el rifle apuntara hacia arriba con cierto ángulo. En tal caso, la bala que se deja caer llegaría primero. Considera ahora el caso en que el rifle apunta hacia abajo. La bala disparada llega primero. Así, si apuntamos hacia arriba, la bala que se deja caer llega primero; si apuntamos hacia abajo, la bala del rifle llega primero. Debe, pues, existir un ángulo para el que ambas lleguen al mismo tiempo. ¿Puedes ver que esto ocurre cuando el rifle no apunta ni hacia arriba ni hacia abajo, sino en la dirección horizontal?

En la figura siguiente se muestran unos vectores que representan las componentes horizontal y vertical de la velocidad de un proyectil que describe una **trayectoria parabólica**. Nota que la componente horizontal es siempre igual y que sólo cambia la componente vertical. Advierte también que la velocidad real está representada por el vector que forma la diagonal del rectángulo cuyos lados son las componentes. **La componente vertical se anula en el punto más alto de la trayectoria**, por lo que la velocidad real en ese punto es la **componente horizontal** de la velocidad que es la misma

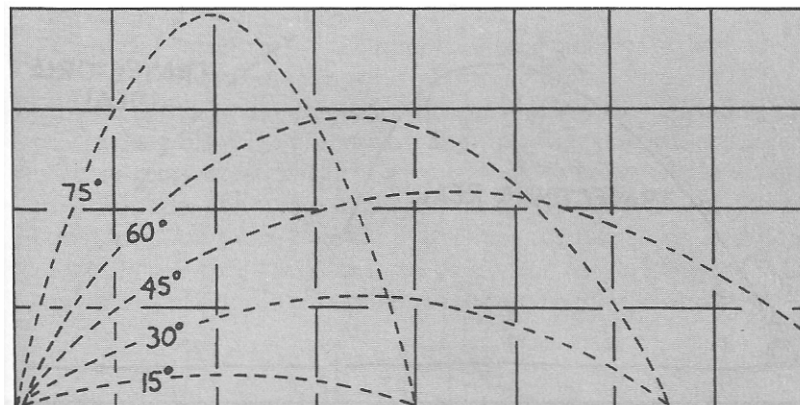
para todo punto de la trayectoria **En cualquier otro punto, la magnitud de la velocidad es mayor** (porque la diagonal de un rectángulo es siempre mayor que sus lados).



La figura siguiente muestra la trayectoria que describe **un proyectil lanzado con la misma velocidad inicial que el anterior pero con un ángulo mayor**. Nota que el vector **velocidad inicial** tiene una **componente vertical mayor** que en el caso en que el ángulo de lanzamiento es menor. El hecho de que la componente vertical de la velocidad inicial sea mayor se traduce en una **trayectoria mas elevada**. Pero la **componente horizontal es menor**, por lo que el **alcance** del proyectil también es **menor**.



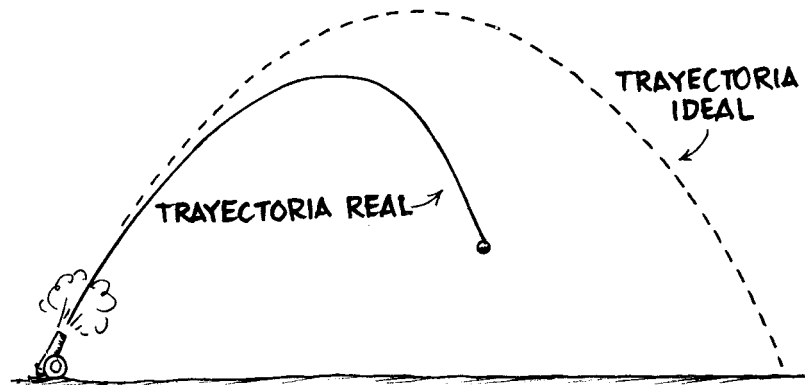
En la figura siguiente se muestran las trayectorias de varios proyectiles lanzados con la **misma rapidez inicial**, pero con **distinto ángulo**. Hemos despreciado los efectos de la resistencia del aire, por lo que las **trayectorias** son **parabólicas**. Observa que los proyectiles alcanzan distintas altitudes o alturas sobre la tierra. También tienen distintos alcances horizontales, o distancias recorridas en la dirección horizontal.



El hecho más notable de la figura es que se obtiene **el mismo alcance con dos ángulos de lanzamiento distintos, y la suma de dichos ángulos es siempre de 90**

grados! Por ejemplo, un objeto lanzado con un ángulo de 60 grados tiene el mismo alcance que un objeto lanzado con la misma rapidez, pero con un ángulo de 30 grados. **Por supuesto, cuando el ángulo es menor, el objeto permanece en vuelo durante un tiempo menor.**

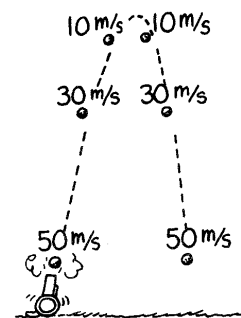
Hemos considerado el caso particular de un proyectil que se mueve sin resistencia del aire. **Cuando hay resistencia del aire, el alcance del proyectil es algo inferior y su trayectoria no es realmente una parábola** (figura).



► **Pregunta**

1. Se lanza un proyectil al aire con cierto ángulo respecto a la horizontal. Si se puede despreciar la resistencia del aire, ¿cuál es su aceleración hacia abajo? ¿Cuál es su aceleración horizontal?
2. ¿En qué parte de su trayectoria un proyectil tiene la mínima rapidez?

Si la resistencia del aire es lo bastante pequeña para que podamos despreciarla, el proyectil alcanzará su máxima altura en el mismo tiempo que le toma caer al suelo desde dicha altura. Esto se debe a que la desaceleración debida a la gravedad cuando el proyectil va hacia arriba es igual que la aceleración producida por la gravedad cuando va hacia abajo. La rapidez que pierde al subir es por tanto igual a la rapidez que adquiere al bajar; de modo que el proyectil llega al suelo con la misma rapidez con que partió del suelo.



► **Respuestas**

1. La aceleración hacia abajo es **g** porque la fuerza de gravedad actúa hacia abajo; la aceleración horizontal es cero porque no se ejercen fuerzas horizontales sobre el proyectil.
2. La rapidez de un proyectil es mínima en el punto más alto de su trayectoria. Si lo lanzamos verticalmente, la rapidez en el punto más alto es cero. Si lo lanzamos formando cierto ángulo con la vertical, la componente vertical de la velocidad es cero en el punto más elevado y únicamente la componente horizontal es distinta de cero, así que la rapidez en el punto más elevado es igual a la componente horizontal de la velocidad del proyectil en todo punto.

6 Repaso

Sumario de conceptos

Las cantidades vectoriales tienen magnitud y dirección.

- Un vector se representa por medio de una flecha cuya longitud representa la magnitud de la cantidad vectorial y cuya dirección representa la dirección de la cantidad vectorial.

Podemos determinar la resultante de varias fuerzas o varias velocidades por medio de un diagrama de vectores trazados a escala.

- Cuando un objeto está en equilibrio, la resultante de todas las fuerzas que lo sostienen debe ser exactamente opuesta al peso.

Todo vector puede ser sustituido por dos componentes cuya suma vectorial es el vector original.

- A menudo es conveniente estudiar las componentes que son perpendiculares entre sí.
- Cuando sólo la gravedad actúa sobre un proyectil, la componente horizontal de su velocidad no cambia.

Términos importantes

cantidad escalar (6.1)

cantidad vectorial (6.1)

componente (6.6)

descomposición (6.6)

equilibrio (6.5)

proyectil (6.8)

resultante (6.2)

vector (6.1)

Preguntas

1. ¿En qué difiere un vector de un escalar? (6.1)
2. Si un vector que tiene 1 cm de longitud representa una fuerza de 5 N, ¿cuántos newtons representa un vector de 2 cm de longitud trazado en la misma escala? (6.2)
3. a. ¿Cuál es la resultante de un par de fuerzas, una de 100 N hacia arriba y una de 75 N hacia abajo?
b. ¿Cuál es la resultante si ambas fuerzas se ejercen hacia abajo? (6.2)
4. ¿Por qué decimos que la rapidez es un escalar y la velocidad un vector? (6.3)
5. ¿Cuál es la velocidad resultante de un avión que normalmente vuela a 200 km/h si vuela con un viento a favor de 50 km/h? ¿Y si vuela con un viento en contra de 50 km/h? (6.3)
6. ¿Qué es un paralelogramo? (6.4)
7. Cuando construimos un paralelogramo a fin de sumar fuerzas, ¿qué representa a la resultante de las fuerzas? (6.4)
8. ¿Cuál es la magnitud de la resultante de dos vectores perpendiculares de magnitudes 4 y 3? (6.4)
9. ¿Cuál es la magnitud de la resultante de un par de vectores perpendiculares de 100 N? (6.4)
10. La fuerza de tensión de una soga que soporta una carga de ropa es apreciablemente mayor cuando la cuerda está tendida horizontalmente que cuando cuelga en posición vertical. ¿Por qué? (6.5)
11. ¿Cuál es la fuerza neta o, lo que es equivalente, la fuerza resultante que se ejerce sobre un objeto cuando está en equilibrio? (6.5)
12. Comparada con tu peso, ¿cuál es la fuerza de tensión que actúa sobre tu brazo cuando estás colgado de un brazo sin moverte? ¿Y cuando estás colgado con los dos

brazos verticalmente? Si te cuelgas con las manos muy separadas, ¿es mayor o menor esta fuerza? ¿Por qué? (6.5)

13. Señala la diferencia que existe entre el método de adición geométrica de vectores y el método de descomposición vectorial. (6.4, 6.6)

14. ¿Cuáles son las magnitudes de las componentes horizontal y vertical de un vector de 100 unidades de longitud orientado a 45° ? (6.6)

15. Podemos descomponer el peso de una pelota que rueda por un plano inclinado en dos componentes: una paralela al plano y la otra perpendicular.

a. ¿A qué ángulo debe estar inclinado el plano para que las componentes sean iguales?

b. ¿A qué ángulo debe estar inclinado el plano para que la componente paralela sea igual a cero?

c. ¿A qué ángulo debe estar inclinado el plano para que la componente paralela sea igual al peso? (6.7)

16. ¿Por qué se mueve sin aceleración una bola de billar que rueda sobre la mesa? (6.8)

17. En ausencia de resistencia del aire, ¿por qué permanece constante la componente horizontal de la velocidad de un proyectil y por qué cambia la componente vertical? (6.8)

18. ¿Cómo se compara la componente vertical del movimiento de un proyectil con el movimiento de un objeto en caída libre? (6.8)

19. Al instante de lanzar una pelota en dirección horizontal sobre un terreno plano se deja caer otra pelota que se mantenía a la misma altura que la primera. Si podemos desprejiciar la resistencia del aire, ¿cuál de las dos llega primero al suelo: la que se lanza o la que se deja caer desde el reposo? (6.8)

20. a. ¿A qué distancia por debajo de la trayectoria recta se encontrará un proyectil al cabo de un segundo?

b. ¿Depende el resultado del ángulo de lanzamiento o de la rapidez inicial del proyectil? Defiende tu respuesta. (6.9)

21. a. Se lanza un proyectil directamente hacia arriba a 100 m/s . ¿Cuál es su rapidez en el instante en que alcanza el punto más alto de su trayectoria?

b. ¿Cuál es la respuesta si el proyectil se lanza a 45° ? (6.9)

22. ¿A qué ángulo debe orientarse una honda para que la piedra alcance la máxima altitud posible? ¿Y para que el alcance horizontal sea el máximo? (6.9)

23. Si lanzas una pelota directamente hacia arriba con una rapidez de 20 m/s , ¿cuál será su rapidez al momento de atraparla, desprejiciando la resistencia del aire? (6.9)

24. a. Si lanzas una pelota de beisbol a 20 m/s a tu amigo que se encuentra en primera base, desprejiciando la resistencia del aire, ¿La rapidez de la pelota será mayor, menor o igual a 20 m/s al momento de atraparla?

b. ¿Y si tomas en cuenta la resistencia aire? (6.9)

Piensa y explica

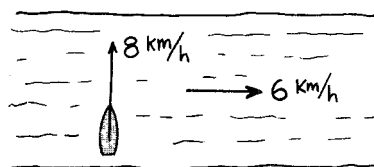
1. a. ¿Cuál es la máxima resultante posible de dos vectores de magnitudes 5 y 4?

b. ¿Cuál es la resultante mínima posible?

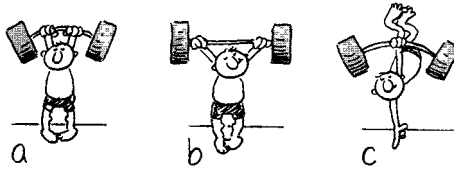
2. Un bote cruza transversalmente a 8 km/h un río que fluye a 6 km/h (figura).

a. ¿Cuál es la rapidez resultante del bote?

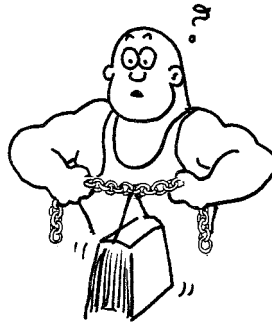
b. ¿A qué velocidad y en qué dirección se puede remar a fin de llegar al punto de la otra orilla que está exactamente frente al punto de partida?



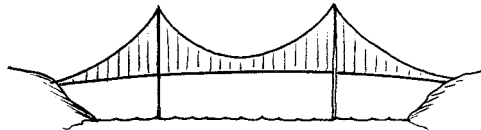
3. ¿En qué posición es menor la tensión en los brazos del levantador de pesas de la figura ? ¿En qué posición es mayor?



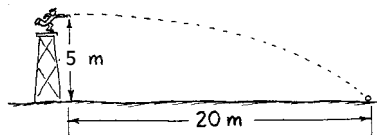
- 4. ¿Por qué se rompen a veces, en invierno, los hilos que transportan electricidad cuando se forma sobre ellos un poco de hielo?
- 5. ¿Por qué el forzudo de la figura no puede tirar lo bastante fuerte para que la cadena se enderece?



6. ¿Por qué deben colgar los cables principales de un puente colgante (figura)?



7. El muchacho que está en la torre (figura) lanza una pelota que cae a 20 m del punto de lanzamiento, como se muestra. ¿Cuál es la rapidez inicial de la pelota?



- 8. ¿Por qué es mayor la aceleración de una pelota que rueda por un plano inclinado cuanto mayor sea la pendiente?
- 9. ¿Por qué se requiere una fuerza menor para empujar un barril hacia arriba por una rampa (figura) que para levantarlo verticalmente?

