

# B.2.1 Leyes del movimiento de Newton

## Comprensiones del programa de estudios

B.2.1.1 El movimiento lineal y angular se pueden analizar utilizando las leyes de movimiento de Newton.

B.2.1.2 Una colisión produce un cambio en el momento de los cuerpos en colisión.

B.2.1.3 La fuerza de fricción está determinada por el coeficiente de fricción.

B.2.1.4 El trabajo resulta de la aplicación de una fuerza a lo largo de una distancia.

bh

## Introducción

Los movimientos del cuerpo (y de los equipos deportivos) se basan en las leyes de Newton del movimiento, que relacionan las fuerzas con el movimiento. No es posible analizar las técnicas deportivas o la actividad física sin comprender las leyes de Newton del movimiento, ya sea para mejorar el rendimiento, reducir el riesgo de lesiones o desarrollar nuevas técnicas.

Términos como “fuerza”, “potencia”, “velocidad” y “energía” tienen significados específicos en la ciencia. Comprender estas definiciones (y las de otras magnitudes mecánicas) le ayudará a realizar análisis precisos e informativos del movimiento humano.

La ciencia mecánica es la más noble y, sobre todas las demás, la más útil, pues por medio de ella todos los cuerpos animados que tienen movimiento realizan todas sus acciones.

Leonardo da Vinci (1452-1519)

## Introducción a la cinemática

La cinemática es el estudio del movimiento. El movimiento es el “cambio de posición de un cuerpo u objeto”. Puede ser un cambio en la posición de las extremidades del cuerpo, mover el cuerpo de un lugar a otro o ambos a la vez.

El movimiento puede ser:

- lineal (en línea recta), como un disco de hockey sobre hielo deslizándose sobre el hielo
- curvilíneo (en una curva), como una bala que se desplaza por el aire
- angular o rotacional (alrededor de un eje), como una gimnasta que gira alrededor de un eje.  
barra alta
- general (movimiento lineal y angular juntos).

El tipo de movimiento más común del cuerpo humano en el deporte y el ejercicio es el general. Esto se debe a que en casi todas las articulaciones sinoviales del cuerpo, un segmento gira alrededor de otro. Esto significa que, incluso si queremos correr en línea recta, debemos rotar nuestras extremidades mientras nos desplazamos linealmente.

**Términos clave**

**Vector** Una medida que tiene tanto el tamaño como la dirección.

**Escalar** Una medida que sólo tiene tamaño.

## Medidas y posición

### Medidas vectoriales y escalares

Una medida que tiene tanto tamaño como dirección se conoce como vector.

La medida que solo tiene tamaño se conoce como escalar.

La diferencia entre escalares y vectores es importante en biomecánica. Afecta la forma en que se combinan las mediciones (por ejemplo, sumando, restando, multiplicando o dividiendo). Si la dirección de dos vectores es la misma, sus tamaños se pueden combinar entre sí. Pero si hay diferentes direcciones, esto también debe tenerse en cuenta. Los escalares se pueden sumar, restar, multiplicar y dividir de forma sencilla.

### Posición

La posición de un objeto o cuerpo suele indicarse mediante sus coordenadas. Las coordenadas son una medida de distancia desde un origen (por ejemplo, en metros) y suelen indicarse en dos dimensiones (horizontal y vertical) o en tres dimensiones (horizontal, vertical y lateral).

Las coordenadas bidimensionales a menudo se denominan  $x$  e  $y$  (horizontal y vertical), mientras que las coordenadas tridimensionales suelen denominarse  $x$ ,  $y$  y  $z$ .

Existen dos sistemas para dar coordenadas tridimensionales. En el primero,  $x$  es horizontal,  $y$  es vertical,  $z$  es lateral, mientras que en el segundo,  $x$  es horizontal,  $y$  es lateral,  $z$  es vertical.

Las coordenadas angulares se dan mediante una medición de ángulos alrededor de uno o más ejes.

## Cinemática lineal

La cinemática lineal estudia el movimiento en línea recta.

### Desplazamiento lineal y distancia lineal

Si un cuerpo u objeto cambia su posición, sufre un desplazamiento. Este se expresa en términos de la distancia y la dirección en que se encuentra la posición final con respecto a la posición inicial. El desplazamiento se expresa a menudo como la distancia que el cuerpo u objeto se ha movido horizontal, vertical y lateralmente. Por lo tanto, el desplazamiento es una cantidad vectorial porque tiene tamaño y dirección.

La magnitud del desplazamiento lineal se denomina distancia. La distancia es una magnitud escalar y no tiene dirección. Por lo tanto, no importa en qué dirección se mueve el objeto o cuerpo, sino qué distancia recorre.

El desplazamiento lineal se expresa generalmente con el símbolo  $s$ . La distancia lineal se expresa generalmente con el símbolo  $d$ . La unidad del SI para la magnitud del desplazamiento es el metro (m).

La dirección de un desplazamiento se puede especificar en grados ( $^{\circ}$ ) o radianes (rad) desde una dirección particular, o puede ser a lo largo de un eje de coordenadas (horizontal, vertical o lateral).

### Velocidad lineal

La velocidad es un cambio en el desplazamiento dividido por el tiempo que tarda en producirse el cambio. Tiene magnitud (qué tan rápido) y dirección, por lo que es una cantidad vectorial. La velocidad lineal se expresa generalmente con el símbolo  $v$ . A veces se utiliza el símbolo  $u$ .



### Actividad 1

¿Cuál es la distancia lineal total y el desplazamiento recorrido después de una carrera de 400 m completada en el primer carril de una pista de carreras competitiva?

**Nota:** la longitud del primer carril de una pista de carreras de competición es de 400 m.

Esta definición de velocidad se puede escribir como:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

donde  $v$  es la velocidad,  $s$  es el desplazamiento,  $t$  es el tiempo y  $\Delta$  significa "diferencia en".

La magnitud de la velocidad lineal se denomina rapidez. Es una magnitud escalar, ya que no tiene dirección.

La unidad del SI para rapidez y velocidad es metros por segundo ( $\text{ms}^{-1}$ ) o  $\text{m/s}$ .

Al igual que con el desplazamiento lineal, la dirección de la velocidad puede especificarse en grados o radianes desde una dirección particular, o puede ser a lo largo de un eje de coordenadas (horizontal, vertical o lateral).

## Aceleración lineal

La aceleración es un cambio de velocidad dividido por el tiempo que tarda en producirse. También puede ser lineal o angular. Tiene tamaño y dirección y es una cantidad vectorial.

La aceleración es un cambio de velocidad, un cambio de dirección o ambos. Si estás tomando una curva a velocidad constante, estás acelerando. Por lo tanto, la aceleración no solo debería utilizarse para indicar un cambio de velocidad, sino también un cambio de dirección.

La aceleración lineal generalmente se da mediante el símbolo  $a$  y se puede expresar como:

$$a = \frac{(v - u)}{t}$$

donde  $v$  y  $u$  son las velocidades final e inicial, y  $t$  es el tiempo para el cambio de velocidad.

La unidad SI para la aceleración es metros por segundo por segundo ( $\text{ms}^{-2}$ ). La  $\text{ms}^{-2}$  o  $\text{m/s}^2$ , y la dirección puede especificarse en grados o radianes desde una dirección particular, o puede ser a lo largo de un eje de coordenadas (horizontal, vertical o lateral).

### Punto clave

Los símbolos habitualmente utilizados para los diferentes tipos de movimiento en cinemática lineal y las unidades SI utilizadas se resumen en la Tabla 1.

▼ Tabla 1 Diferentes tipos de movimiento en cinemática lineal

Movimiento	Unidad de símbolo	
desplazamiento lineal	$s$	metros
distancia lineal	$d$	metros
velocidad lineal	$v, u$	metros por segundo ( $\text{ms}^{-1}$ o $\text{m/s}$ )
aceleración lineal	$a$	metros por segundo por segundo ( $\text{ms}^{-2}$ o $\text{m/s}^2$ )

## Cinemática angular

La cinemática angular es una rama de la física que estudia el movimiento de los objetos que rotan o giran alrededor de un eje. Esto tiene aplicaciones en muchos deportes, como la rotación del cuerpo de un patinador artístico durante los saltos y los giros, y la

Rotación de un palo de golf durante el swing. Al comprender los principios de la cinemática angular, los atletas y entrenadores pueden mejorar su rendimiento y reducir el riesgo de lesiones.

Por ejemplo, cuando un jugador de fútbol patea el balón, su pierna gira alrededor de la articulación de la cadera. La cinemática angular se utiliza para analizar la rotación de la pierna durante el golpe. El giro del balón de fútbol después de ser pateado también es un ejemplo de cinemática angular. El giro afecta la trayectoria del balón y puede hacer que se curve o se desvíe en el aire.

Consideremos la natación como otro ejemplo de la aplicación de la cinemática angular. Cuando un nadador realiza un giro de cadera, su cuerpo rota alrededor del eje longitudinal. La cinemática angular se puede utilizar para analizar la rotación del cuerpo del nadador durante el giro.

En el béisbol, cuando un lanzador lanza una bola curva, la pelota gira sobre su eje. Este movimiento giratorio es otro ejemplo de cinemática angular. Los lanzadores de béisbol pueden usar su conocimiento de la cinemática angular para lanzar distintos tipos de lanzamientos, y los bateadores pueden usar su comprensión de la velocidad para cronometrar sus swings y mejorar su rendimiento.

En el juego de cricket, la longitud de un bate de cricket también puede afectar la aplicación de estos conceptos de cinemática angular. Por ejemplo, un bate de cricket más largo puede aumentar la velocidad angular del bate durante un swing, lo que puede resultar en una mayor velocidad de la pelota al golpearla. Sin embargo, un bate más largo también puede aumentar el momento de inercia, lo que puede dificultar el swing rápido del bate.

Al comprender los principios de la cinemática angular, el desplazamiento y la velocidad, los jugadores y entrenadores de cricket pueden mejorar su desempeño y comprender mejor la física del juego de cricket.

#### Desplazamiento angular El

desplazamiento angular es la diferencia entre las posiciones inicial y final cuando un cuerpo se mueve alrededor de un eje con movimiento angular. El desplazamiento angular es una cantidad vectorial, por lo que tiene tamaño y dirección y se representa con el símbolo  $\theta$  (theta minúscula del griego). La unidad del SI para el tamaño del desplazamiento angular suele ser grados o radianes, y la dirección es en sentido horario o antihorario alrededor del eje.

## Velocidad angular

La velocidad angular es el cambio de desplazamiento angular dividido por el tiempo empleado. También es una cantidad vectorial y se representa mediante el símbolo  $\omega$  (omega minúscula del griego).

La unidad SI para el tamaño de la velocidad angular son grados por segundo ( $^{\circ} \text{s}^{-1}$  o  $^{\circ}/\text{s}$ ) o radianes por segundo ( $\text{rads}^{-1}$  o  $\text{rad/s}$ ), y la dirección suele ser en sentido horario o antihorario alrededor de un eje.

A veces, la velocidad angular de un objeto se expresará como:

$$v = \omega r$$

donde  $\omega$  es la velocidad angular y  $r$  es el radio (distancia del objeto desde el eje).

Una rotación completa equivale a  $2\pi$  radianes, por lo que otra forma de expresar esto es:

$$e_n = \frac{2\pi r}{y_o}$$

donde  $T$  es el período (tiempo necesario para una rotación completa).

## Aceleración angular

La aceleración angular es el cambio de velocidad angular dividido por el tiempo que tarda en producirse el cambio.

Es un vector y se da con el símbolo  $\alpha$  (alfa minúscula del griego).

La unidad SI para el tamaño de la aceleración angular es grados por segundo al cuadrado ( $^{\circ}\text{s}^{-2}$  o  $^{\circ}/\text{s}^2$ ) o radianes por segundo al cuadrado ( $\text{rads}^{-2}$  o  $\text{rad}/\text{s}^2$ ), y la dirección suele ser en sentido horario o antihorario alrededor de un eje.

### Punto clave

Los símbolos habitualmente utilizados para los diferentes tipos de movimiento en cinemática angular y las unidades SI utilizadas se resumen en la Tabla 2.

▼ Tabla 2 Diferentes tipos de movimiento en cinemática angular

Movimiento	Símbolo	Unidad	grados
desplazamiento angular $\theta$			$(^{\circ})$ o radianes (rad)
velocidad angular	$\omega$	segundo ( $^{\circ}\text{s}^{-1}$ o $^{\circ}/\text{s}$ ) o radianes por segundo ( $\text{rads}^{-1}$ o $\text{rad}/\text{s}$ )	grados por segundo al cuadrado
aceleración angular $\alpha$		$(^{\circ}\text{s}^{-2}$ o $^{\circ}/\text{s}^2)$ o radianes por segundo al cuadrado ( $\text{rads}^{-2}$ o $\text{rad}/\text{s}^2$ )	

**Cinemática instantánea y media** Como las velocidades y aceleraciones

(lineales y angulares) implican división por el tiempo, los valores obtenidos dependerán del tiempo durante el cual se realice la medición. El tiempo puede ser largo (por ejemplo, durante toda una carrera), o muy corto (fracciones de segundo). A medida que el tiempo se hace cada vez más corto, se acerca a cero. En matemáticas, el estudio de estos cambios continuos a lo largo del tiempo se llama cálculo.

La velocidad y la aceleración medidas durante un período de tiempo muy corto ("instantáneo") se denominan velocidad instantánea y aceleración instantánea, y pueden calcularse de dos maneras.

Si la relación entre el desplazamiento y el tiempo se conoce matemáticamente (mediante una ecuación), el cálculo permite el cálculo exacto de una ecuación para la velocidad (y de manera similar, si se conoce la ecuación entre la velocidad y el tiempo, se puede encontrar una ecuación para la aceleración).

Otra opción es dibujar un gráfico de desplazamiento en función del tiempo. La velocidad es el gradiente de la pendiente de este gráfico en cualquier punto. Esto se suele encontrar dibujando una tangente al gráfico de desplazamiento-tiempo. De manera similar, se puede utilizar el mismo método para obtener la aceleración a partir de un gráfico de velocidad-tiempo.

La velocidad y la aceleración calculadas durante un período de tiempo más largo generalmente se denominan velocidad promedio y aceleración promedio.

Las velocidades y aceleraciones promedio son mucho más sencillas de calcular que la velocidad y la aceleración instantáneas.

- Para encontrar la velocidad promedio, divida el cambio en el desplazamiento por el tiempo empleado.

$$\text{desplazamiento} = \frac{\text{cambio en la velocidad media de}}{\text{tiempo tomado}}$$

- Para encontrar la aceleración promedio, divida el cambio en la velocidad por el tiempo empleado.

$$\text{aceleración media} = \frac{\text{cambio en la velocidad}}{\text{tiempo tomado}}$$

## Introducción a la cinética

La cinética estudia las fuerzas que intervienen en el movimiento de un objeto o cuerpo. Al igual que con la cinemática, podemos considerar la cinética lineal para los movimientos en línea recta o la cinética angular para los movimientos alrededor de un eje.

### Fuerza

A veces se describe la fuerza como un empujón o un tirón. Sin embargo, esto es bastante simple y, por lo tanto, se necesita una mejor definición y comprensión.

La fuerza es la interacción mecánica que ocurre entre dos objetos o cuerpos.

Puede implicar contacto (como la fricción) o puede actuar a distancia (como la gravedad).

Una fuerza cambia o intenta cambiar el movimiento de los objetos.

El movimiento resultante de un objeto está determinado por la suma de las fuerzas que actúan sobre él. Cuando un atleta se mueve, el movimiento resultante está determinado por la suma de las fuerzas que actúan sobre él. Por ejemplo, cuando un trampolinista salta o rebota en un trampolín, el movimiento resultante del trampolín está determinado por la suma de las fuerzas que actúan sobre él, incluida la fuerza del trampolín que lo empuja hacia arriba y la fuerza de la gravedad que lo empuja hacia abajo. Además, el movimiento resultante del trampolín está determinado por la dirección y la magnitud de estas fuerzas, que pueden afectar la altura y la velocidad de su salto o rebote. Al comprender los principios de las fuerzas y el movimiento, los trampolinistas (y sus entrenadores) pueden ajustar su técnica para maximizar la fuerza del trampolín y minimizar la fuerza de la gravedad, lo que puede dar como resultado saltos y rebotes más altos e impresionantes y, lo que es más importante, más tiempo en el aire para realizar sus acrobacias de alto vuelo, como giros y volteretas.

### Gravedad

En 1687, Sir Isaac Newton publicó sus Principia, que se proponían comprender cómo los objetos modificaban su movimiento. Basándose en el trabajo de otros científicos, como Galileo, Kepler y Halley, se dio cuenta de que existe una fuerza de atracción entre los objetos que está relacionada con sus masas (la cantidad de material que contienen) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos.

La fuerza de gravedad actúa entre todos los objetos con masa. La gravedad es la causa de las órbitas elípticas de los planetas alrededor del Sol, pero también es la razón de la atracción entre la Tierra y todos los cuerpos y objetos próximos a ella o en su superficie.

## Reflexiones de pensamiento

Los astronautas que orbitan alrededor de la Tierra todavía están sujetos a la gravedad de la Tierra (es por eso que están en órbita en lugar de viajar hacia el espacio) y, por lo tanto, no están en "gravedad cero".

Es simplemente que su nave espacial se mueve tan rápido como ellos y por eso están en "caída libre" todo el tiempo y, por lo tanto, no tienen fuerza entre ellos y el suelo.

## Masa y peso La masa es

la cantidad de material que hay en un cuerpo u objeto. Generalmente se mide en kilogramos (kg). No es lo mismo que el peso.

El peso es el efecto de la fuerza de gravedad sobre la masa. Esto significa que, por ejemplo, la masa de un objeto en la Luna es la misma que en la Tierra, pero su peso es menor (porque la gravedad de la Luna es menor que la de la Tierra). En la Tierra, la fuerza de gravedad siempre actúa entre un objeto y la Tierra y se dirige hacia el centro de la Tierra, por lo que siempre hay una fuerza que actúa verticalmente sobre nosotros.

## Leyes del movimiento de Newton

En sus Principia, Newton también enunció las tres leyes que relacionan las fuerzas con el cambio de movimiento. Aunque hoy sabemos que las leyes de Newton no funcionan bien cuando se considera el movimiento cercano a la velocidad de la luz o cuando se observan partículas subatómicas, estas leyes son precisas cuando se analizan las fuerzas y el movimiento sobre nuestros cuerpos o sobre objetos cotidianos.

### Primera ley del movimiento de Newton

La primera ley del movimiento de Newton se puede resumir así:

Un objeto permanecerá en reposo o continuará con velocidad constante a menos que actúe sobre él una fuerza desequilibrada.

Esto significa que los cuerpos u objetos permanecen donde están o siguen moviéndose a menos que actúe sobre ellos una fuerza desequilibrada. Esta ley a veces se conoce como la ley de la inercia.

Para que un cuerpo se encuentre en reposo (quieto) sobre la Tierra, debe existir una fuerza que equilibre su peso, actuando en dirección opuesta (hacia arriba). Esta fuerza suele proceder de apoyos o del suelo y se denomina fuerza de reacción. Si un objeto se desplaza a velocidad constante en una dirección constante, las fuerzas que actúan sobre él también deben estar equilibradas.

Por lo tanto, una verdadera comprensión de una fuerza es que es algo que cambia (o intenta cambiar) el movimiento de un cuerpo u objeto y no algo que causa el movimiento.

### Segunda ley del movimiento de Newton

La segunda ley de Newton relaciona el cambio de movimiento (aceleración) con la fuerza que provoca dicho cambio. Puede enunciarse de la siguiente manera:

La aceleración (de un cuerpo/objeto de masa constante) es proporcional y en la misma dirección que la fuerza desequilibrada que se le aplica.

Esta ley a veces se conoce como la ley de la aceleración.

Esto a veces se escribe así: "La fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración":

$$F = ma$$

donde  $m$  es masa y  $a$  es aceleración.

## Reflexiones de pensamiento

Un ejemplo de la primera ley de movimiento de Newton en el deporte es cuando un disco de hockey sobre hielo está inmóvil sobre el hielo. La fuerza del peso del disco se equilibra con la fuerza ascendente del hielo, por lo que está en reposo.

Sin embargo, cuando un jugador golpea el disco, se le aplica una fuerza externa desequilibrada, por lo que se acelera en la dirección del golpe.

viaja a través del hielo, siendo frenado ligeramente por la fricción, hasta que otra fuerza externa (el palo de otro jugador o las paredes laterales de la arena) cambia su movimiento nuevamente (por ejemplo, para detenerlo).



▲ Figura 1

### Reflexiones de pensamiento

La segunda ley de Newton se puede ilustrar considerando las diferentes fuerzas necesarias para acelerar una pelota de tenis de mesa y una Pelota de fútbol. Para que la pelota de fútbol tenga la misma aceleración que una pelota de tenis de mesa, el jugador debe aplicar una fuerza mayor porque la pelota de fútbol tiene mayor masa que la pelota de tenis de mesa.



▲ Figura 2

De este modo, el cambio de movimiento de un cuerpo u objeto está directamente relacionado con la magnitud de la fuerza (desequilibrada) que provoca el cambio y con la dirección de la fuerza aplicada. El cambio de movimiento también está inversamente relacionado con la masa del objeto. Por lo tanto, los objetos más pesados acelerarán menos para la misma fuerza, y para acelerar objetos pesados, se necesita una fuerza grande.

Como hemos visto, la aceleración es el cambio de velocidad dividido por el tiempo empleado. Por lo tanto, la segunda ley del movimiento de Newton podría reescribirse como:

$$F = \frac{m(v - u)}{a}$$

donde  $v$  y  $u$  son las velocidades final e inicial y  $t$  es el tiempo para el cambio de velocidad.

La fuerza de gravedad que actúa sobre un objeto (peso) se puede expresar como:

$$F_g = mg$$

donde  $m$  es la masa del objeto y  $g$  es la aceleración causada por la gravedad.

### Tercera ley del movimiento de Newton

La tercera ley del movimiento explica las fuerzas entre dos objetos. Puede enunciarse de la siguiente manera:

Cuando un cuerpo u objeto aplica una fuerza a otro, el segundo cuerpo u objeto aplicará una fuerza igual en tamaño pero opuesta en dirección al primer cuerpo u objeto.

Esta ley se denomina a menudo ley de la reacción y a veces se expresa como "por cada acción hay una reacción igual y opuesta".

Hay varios aspectos importantes para la comprensión de esta ley.

- Las dos fuerzas actúan sobre dos cuerpos u objetos diferentes (no sobre el mismo cuerpo/objeto).
- Las fuerzas sobre los objetos son exactamente del mismo tamaño, independientemente de las masas de los objetos.
- Los efectos de esas fuerzas pueden ser diferentes si los cuerpos/objetos tienen masas diferentes; esto se debe a la segunda ley del movimiento de Newton.
- Las fuerzas ocurren exactamente al mismo tiempo: una no ocurre después en respuesta a la otra.



▲ Figura 3

### Puntos clave

**Primera ley de Newton** Los cuerpos u objetos permanecen donde están o continúan moviéndose a menos que actúe sobre ellos una fuerza desequilibrada (ley de inercia).

**Segunda ley de Newton** La fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración (ley de la aceleración).

**Tercera ley de Newton** Para cada acción existe una reacción igual y opuesta (ley de reacción).



## idades de pensamiento

Las leyes del movimiento de Newton aplicadas al hockey sobre hielo

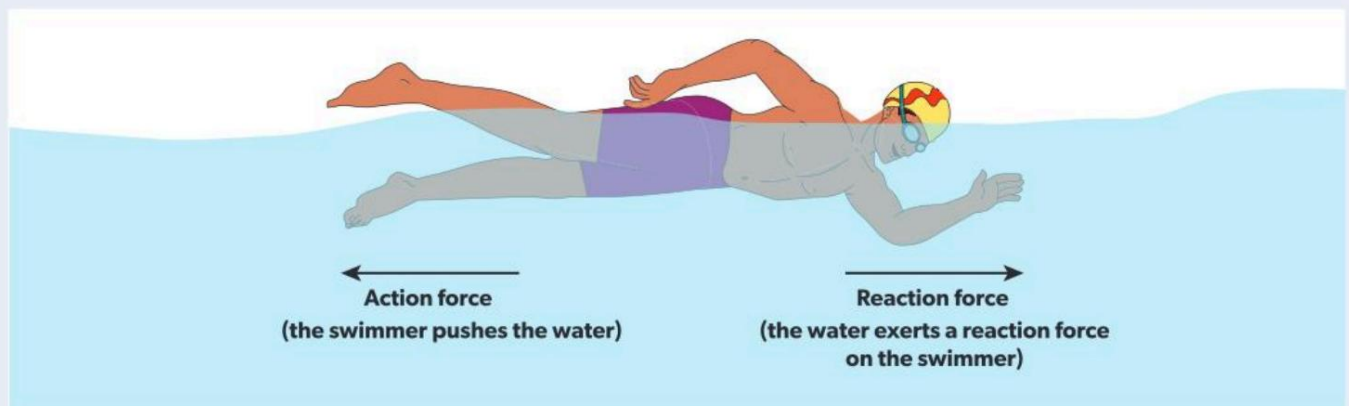
- Primera ley del movimiento de Newton: un disco de hockey se moverá permanecer en reposo sobre el hielo o continuar moviéndose a un ritmo velocidad constante en línea recta a menos que actúe sobre ella una fuerza, como cuando el palo de un jugador la golpea.
- Segunda ley del movimiento de Newton: un jugador de hockey debe aplicar más fuerza a un disco más pesado para lograr la misma aceleración que con un disco más liviano.
- Tercera ley del movimiento de Newton: cuando una pelota de hockey El jugador golpea los tableros, la fuerza del impacto es igual y opuesta a la fuerza que el jugador ejerce sobre los tableros.

Las leyes del movimiento de Newton aplicadas a la natación

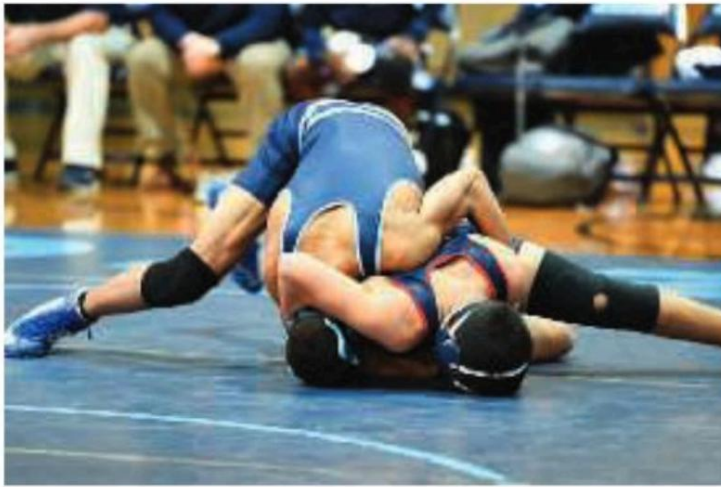
- Primera ley del movimiento de Newton: un nadador permanecer en reposo en el agua o continuar moviéndose a un ritmo velocidad constante en línea recta a menos que actúe sobre ella una fuerza, como los brazos y las piernas de un nadador empujando contra el agua.
- Segunda ley del movimiento de Newton: una masa más pesada El nadador debe aplicar más fuerza al agua para lograr la misma aceleración que un nadador más ligero.
- Tercera ley del movimiento de Newton: cuando un nadador empuja contra el agua con sus brazos y piernas, el agua empuja hacia atrás con una fuerza igual y opuesta, impulsando al nadador hacia adelante.



▲ Figura 4 Los tableros ejercen una fuerza igual y opuesta sobre el jugador.



▲ Figura 5 El agua ejerce una fuerza de reacción sobre el nadador.



▲ Figura 6 Los luchadores maximizan su estabilidad minimizando la altura de su centro de masa y maximizando su base de apoyo.

## Aplicación de las leyes del movimiento de Newton

Hay varios principios a tener en cuenta al aplicar las leyes de Newton.

### Principio de estabilidad

Los siguientes factores afectan la estabilidad de un objeto.

- la altura del centro de masa con respecto a la superficie de apoyo (un centro de masa más bajo proporciona mayor estabilidad)
- el tamaño de la base de apoyo (una base más grande proporciona mayor estabilidad)
- la posición de la línea de gravedad con respecto a la base de sustentación (una línea de gravedad que está dentro de la base de sustentación proporciona mayor estabilidad)
- la masa (una masa mayor proporciona mayor estabilidad).

### Actividades de pensamiento

Cómo la estabilidad puede influir positivamente en el rendimiento en el baloncesto

- Cuando un jugador de baloncesto está botando el balón, necesita mantener el equilibrio y la estabilidad para evitar perder el control del balón y poder cambiar de dirección rápidamente.
- Al mantener una buena estabilidad, un jugador de baloncesto puede generar más fuerza y potencia en sus movimientos, como saltar más alto para atrapar un rebote o hacer un cambio rápido de dirección para superar a un defensor.
- La estabilidad también ayuda a los jugadores de baloncesto a resistir fuerzas externas, como un defensor que intenta desequilibrarlos, y a recuperarse rápidamente de movimientos inesperados o del contacto con otros jugadores.

Cómo la inestabilidad puede afectar negativamente al rendimiento en el baloncesto

- La inestabilidad puede aumentar el riesgo de lesiones en los jugadores de baloncesto.
- Mantener un buen equilibrio es esencial para que los jugadores de baloncesto controlen sus cuerpos, minimicen los errores y cambien rápidamente de dirección en un área limitada.



▲ Figura 7 Estabilidad en el baloncesto

## Principio de suma de fuerzas conjuntas

Cuando practicas algún deporte, tus músculos crean fuerzas para realizar movimientos, como correr, saltar o lanzar. Estas fuerzas actúan sobre tus articulaciones, lo que te permite realizar una amplia gama de movimientos.

Cada articulación del cuerpo puede experimentar múltiples fuerzas que actúan sobre ella simultáneamente. Por ejemplo, cuando saltas para lanzar un tiro de ataque en voleibol, los músculos de las piernas empujan hacia abajo la articulación de la rodilla para impulsarte hacia arriba, mientras que los pies empujan contra el suelo para impulsarte fuera de la superficie. El principio de sumar fuerzas conjuntas consiste en comprender cómo estas fuerzas se combinan o interactúan en una articulación.

Imaginemos que un grupo de amigos compiten tirando de la cuerda. Si todos los miembros de un equipo tiran en la misma dirección, sus fuerzas se combinan y facilitan el movimiento del equipo contrario.

Como deportista individual, cuando las fuerzas de los músculos se suman en la misma dirección, hacen que los movimientos sean más potentes (por ejemplo, puedes saltar más alto cuando realizas un tiro de ataque en voleibol). El principio de la suma de las fuerzas articulares en la biomecánica deportiva nos ayuda a entender cómo las fuerzas creadas por nuestros músculos se combinan en nuestras articulaciones, lo que afecta nuestros movimientos y nuestro rendimiento en los deportes.

Pero ¡cuidado! A veces, si aplicas demasiada fuerza o realizas un movimiento con una técnica deficiente, puedes ejercer una presión adicional sobre tus articulaciones, lo que puede provocar lesiones.

## Principio del momento lineal y del impulso lineal

El momento lineal es la propiedad que tiene un objeto debido a su movimiento. Se calcula multiplicando la masa del objeto ( $m$ ) por la velocidad a la que se mueve ( $v$ ).

El momento es un vector ya que tiene tamaño y dirección, y se mide en  $\text{kg ms}^{-1}$ .

Generalmente se da con el símbolo  $p$ , y se puede expresar como:

$$p = mv$$

El impulso lineal es la fuerza multiplicada por el tiempo durante el cual actúa la fuerza. El impulso también es un vector. Suele expresarse con el símbolo  $J$ :

$$J = F\Delta t$$

donde  $F$  es fuerza y  $\Delta t$  significa "cambio en el tiempo".

Existe una relación importante entre el impulso lineal y el momento lineal. El impulso lineal es el cambio en el momento lineal. Esto significa que el tamaño y la dirección del cambio en el momento de un cuerpo u objeto dependen de la fuerza que se le aplica y del tiempo durante el cual actúa esa fuerza. Si la fuerza es grande y el tiempo también es grande, habrá un cambio significativo en el momento.

Como la masa de un cuerpo u objeto normalmente no cambia, esto equivaldrá a un cambio en la velocidad.



## Actividad 2

La segunda ley del movimiento de Newton se puede expresar como:

La aceleración que experimenta un objeto cuando actúa sobre él una fuerza es directamente proporcional al tamaño de la fuerza, inversamente proporcional a la masa del objeto y tiene lugar en la dirección de la fuerza.

Por lo tanto, cuanto mayor sea la fuerza aplicada a un objeto, mayor será la aceleración del objeto y mayor será la velocidad del objeto cuando se elimine la fuerza. Por ejemplo, cuanto más fuerza pueda aplicar un lanzador de peso a la bola antes de soltarla, mayor será la velocidad de la bola en el momento de soltarla y, en igualdad de condiciones, como la altura de liberación y el ángulo de trayectoria, mayor será la distancia recorrida por la bola.

Sin embargo, según la segunda ley de Newton, la cantidad en que se puede aumentar la velocidad de un objeto no solo depende de la magnitud de la fuerza aplicada, sino también de la duración de la misma. De ello se deduce que para que un disparo alcance la velocidad máxima, es necesario aplicar la mayor fuerza posible durante el mayor tiempo posible.

¿Qué técnicas deportivas utilizan los atletas para garantizar que aplican fuerza al tiro (o al disco) durante el mayor tiempo posible?



## Reflexiones de pensamiento

## Relación impulso-momentum en el deporte

Durante el despegue, un saltador de altura debe cambiar su movimiento horizontal a vertical para saltar por encima de la barra. Esto significa que el momento lineal horizontal que tiene en la aproximación debe convertirse en momento lineal vertical. Esto se hace aplicando una gran fuerza vertical hacia abajo sobre el suelo y, por lo tanto, según la tercera ley de Newton, recibiendo la misma fuerza de reacción del suelo que actúa hacia arriba.

Para obtener el mayor impulso vertical, esta fuerza debe aplicarse durante el mayor tiempo posible. Por lo tanto, el saltador de altura coloca la pierna de despegue por delante de él, aterrizando sobre el talón. El tiempo que tarda el cuerpo sobre el pie de despegue, combinado con la flexión y extensión de la rodilla, significa que los músculos pueden aplicar una fuerza muy grande durante un largo período de tiempo, maximizando así el impulso lineal vertical y obteniendo un gran impulso lineal vertical.



▲ Figura 8

## Principio de dirección del impulso

Imagina que estás jugando al fútbol y necesitas patear la pelota para marcar un gol. El principio de la dirección del impulso en la biomecánica deportiva es como entender cómo patear para que vaya exactamente donde quieres que vaya. Piensa en el impulso como una “fuerza de empuje” que aplicas a la pelota. La dirección de esta “fuerza de empuje” es esencial porque determina en qué dirección se moverá la pelota.

Ahora imagina que tienes un coche de juguete y quieres que se mueva hacia adelante. Le das un suave empujón desde atrás y se mueve en línea recta. Pero si lo empujas desde un costado, se moverá hacia los costados. Esto se debe a que la dirección del empujón afecta la dirección en la que se mueve el coche.

En los deportes en los que se utiliza un balón, como el fútbol o el baloncesto, comprender la dirección del impulso ayuda a los atletas a controlar el balón y hacer que vaya adonde quieren. Por lo tanto, el principio de la dirección del impulso en la biomecánica deportiva consiste en aplicar la cantidad adecuada de fuerza en la dirección correcta para hacer que el balón vaya adonde quieres, ya sea al lanzar un balón de baloncesto al aro o al marcar un gol en el fútbol.

## Principio del movimiento angular

Esfuerzo de torsión

Si se aplica una fuerza a un objeto que puede girar libremente alrededor de un eje, siempre que la fuerza se aplique de forma que no actúe a través del eje (centro de rotación), creará un par de torsión (a veces llamado momento de la fuerza). La fuerza que se aplica se llama fuerza excéntrica.

La magnitud del par creado depende de tres factores:

- el tamaño de la fuerza
- la dirección de la fuerza
- a qué distancia se aplica la fuerza del eje de rotación.

El par motor es muy importante porque casi todos los segmentos del cuerpo humano giran alrededor de ejes dentro de las articulaciones sinoviales. La forma en que los músculos están dispuestos anatómicamente en relación con las articulaciones desempeña un papel importante a la hora de determinar cuánto par motor se puede crear alrededor de cada articulación. Esto está estrechamente relacionado con el principio de las palancas: barras rígidas (como los huesos) que giran alrededor de ejes como las articulaciones (capítulo B.1.4).

Momento de inercia

El momento de inercia es la dificultad que tiene un cuerpo u objeto para girar sobre un eje. Se mide en kgm. Depende de la masa del cuerpo u objeto y de su distribución de masa alrededor del eje. Cuanta más masa haya más lejos del eje, mayor será el momento de inercia y más difícil será girar. Cuanta más masa haya más cerca del eje de rotación, más fácil será girar. El cuerpo humano tiene diferentes momentos de inercia según el eje de rotación y la posición del cuerpo.

Momento angular El momento

angular es una medida de la cantidad de rotación (o potencial de rotación). Se genera por el par resultante de la aplicación de una fuerza excéntrica a un objeto que puede girar libremente alrededor de un eje. La fuerza excéntrica puede provenir de otro objeto (como el suelo o un implemento deportivo), otro cuerpo o un segmento del cuerpo a través de los músculos.

### Estudios de investigación

En 1952, en los Juegos Olímpicos de Helsinki, el ganador del lanzamiento de peso, Parry O'Brien de los EE.UU., demostró una nueva técnica que desde entonces ha sido utilizada por muchos campeones olímpicos.

Investiga la técnica "O'Brien" y explica por qué su ventaja es que como resultado del impulso de la fuerza aplicada al tiro en el movimiento a través del círculo, el tiro se moverá bastante rápido en la dirección que se pretende alcanzar.

distancia máxima.





▲ Figura 9. Gimnasta generando momento angular en una voltereta hacia atrás (arriba) y un salto mortal hacia atrás (abajo) al crear fuerzas de reacción en el suelo (flechas) no dirigidas a través del centro de masa (círculos).

El momento angular es una cantidad vectorial ya que tiene tamaño y dirección, y se mide en kg·m<sup>2</sup>/s.

$$L = I\omega$$

A menudo se representa con la letra  $L$  y se puede expresar como:

$$L = I\omega$$

donde  $I$  es el momento de inercia y  $\omega$  es la velocidad angular.

El momento angular del cuerpo humano se genera a menudo mediante el uso de los músculos y las extremidades para aplicar un par de torsión al suelo, que a su vez aplica el mismo par de torsión (consulte la tercera ley de Newton). Como el cuerpo tiene un momento de inercia mucho menor que la Tierra, el cuerpo rotará mucho más. Esto es importante en deportes como la gimnasia para crear la rotación necesaria para realizar saltos mortales, giros y otros movimientos de rotación. El momento angular también se puede crear aplicando y obteniendo un par de torsión en aparatos como una mesa de salto o una viga.

Esto a menudo significa que se debe aplicar una fuerza al suelo o al aparato para que la fuerza de reacción no pase por el centro de masa del individuo (el eje de las rotaciones en el aire).

Muchos otros deportes requieren movimientos de rotación (por ejemplo, balancear un palo de golf, lanzar una jabalina o patear una pelota de fútbol), por lo que la generación de momento angular también es un principio importante aquí.

## Conservación del momento angular

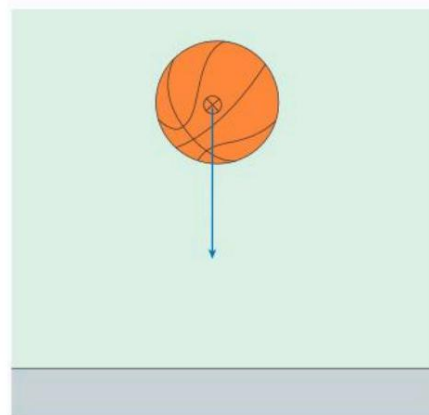
La primera ley del movimiento de Newton se puede expresar angularmente como:

Un cuerpo giratorio continuará girando sobre su eje con un momento angular constante a menos que se le aplique un par (momento) externo desequilibrado.

Por lo tanto, una vez generado el momento angular, permanecerá constante a menos que haya una interacción con otro objeto o cuerpo que cree un torque para cambiarlo.

Durante el vuelo aéreo humano en deportes como la gimnasia, el salto de longitud y el salto de altura, las únicas fuerzas que actúan son la gravedad y la resistencia del aire (resistencia al avance). Como la velocidad del vuelo es bastante baja (menos de 15 ms<sup>-1</sup> incluso en el salto de longitud) y el cuerpo humano tiene una masa considerable, el efecto de la resistencia del aire (resistencia al avance) es muy pequeño. Por lo tanto, la única fuerza importante que actúa es la gravedad que actúa a través del centro de gravedad.

Sin embargo, los ejes de rotación en vuelo también pasan por el centro de gravedad. Por lo tanto, la fuerza de gravedad no crea un par cuando pasa por el eje de rotación (es decir, la distancia de la fuerza desde el eje de rotación es cero). Esto significa que no hay efecto rotacional de la fuerza de gravedad mientras el cuerpo está en vuelo. Por lo tanto, de acuerdo con la primera ley de Newton, el momento angular debe permanecer igual (se conserva) durante el vuelo. Por ejemplo, si dejas caer una pelota desde una altura de 1 m, la velocidad del vuelo será baja y la resistencia del aire será insignificante. La fuerza de gravedad aplicada



▲ Figura 10 Cuando se deja caer una pelota, la gravedad actúa a través del centro de masa y no hay rotación.

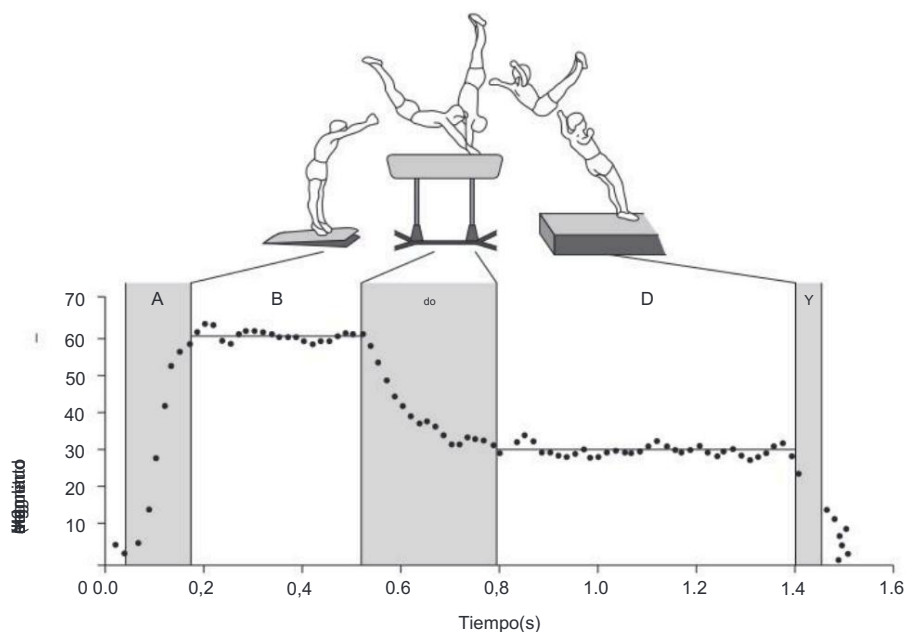
pasa a través del centro de masa (a distancia cero del eje de rotación) y no crea rotación (torque).

El momento angular se compone del momento de inercia multiplicado por la velocidad angular. Por lo tanto, durante el vuelo, si se reduce el momento de inercia, la velocidad angular debe aumentar para mantener constante el momento angular. Por eso, cuando una gimnasta se “encoge” durante una voltereta (llevando los brazos y las piernas hacia el centro de gravedad y reduciendo el momento de inercia), rotará más rápido. De manera similar, por el mismo principio, cuando la gimnasta se “abre” antes de aterrizar (aumentando el momento de inercia), su velocidad de rotación disminuirá.

Un error común es creer que estos cambios en la velocidad de rotación (velocidad angular) se deben a disminuciones o aumentos en la resistencia del aire; esto es falso.

La figura 12 ilustra el momento angular cuando una gimnasta completa un salto de Yamashita. Los puntos negros sólidos muestran la magnitud del momento angular. El momento angular solo cambia cuando la gimnasta está en contacto con el suelo o el cajón y se mantiene constante en las fases aéreas.

- Durante la fase A, la gimnasta está en contacto con el suelo y el momento angular en sentido horario va aumentando, alcanzando valores superiores a  $60 \text{ kgm}^2 \text{ s}$
- Durante las fases B y D, la gimnasta está en el aire (sin contacto con el suelo ni con la caja) y el momento angular permanece constante.
- Durante la fase C, los brazos de la gimnasta están en contacto con la caja y la El impulso disminuye a medida que se reduce la velocidad angular de la gimnasta.
- Durante la fase E, la gimnasta está en contacto con el suelo al aterrizar y el momento angular disminuye a cero.



▲ Figura 12 Momento angular en una bóveda de Yamashita



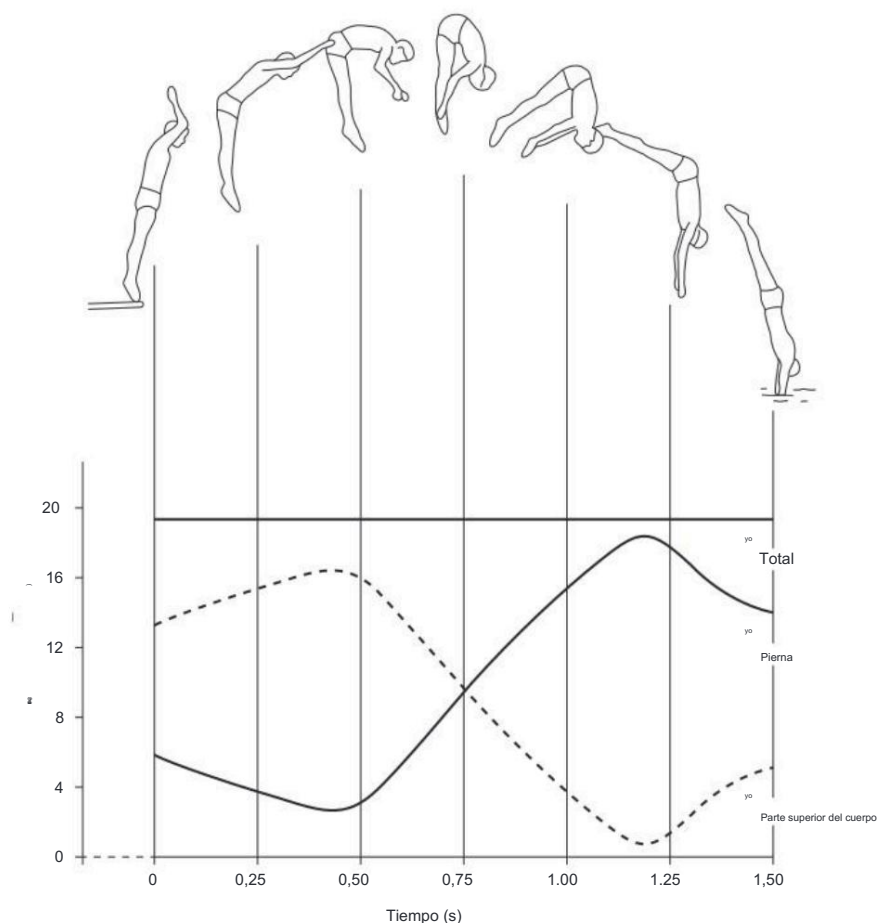
▲ Figura 11 En el patinaje artístico, los atletas acercan o alejan sus brazos del eje de rotación (el eje vertical) para controlar su velocidad angular (velocidad de rotación).

## Transferencia de momento angular

Como el momento angular no se puede crear ni destruir a menos que haya un torque externo, una vez que un atleta está en el aire, no es posible cambiar la cantidad de momento angular de todo el cuerpo.

Esto significa que si una parte del cuerpo aumenta su velocidad angular (por ejemplo, mediante una contracción muscular), otra parte del mismo cuerpo debe disminuir su velocidad angular (reducir su velocidad angular) para asegurarse de que el momento angular de todo el cuerpo se mantenga igual. Sin embargo, cuando la primera parte disminuye su velocidad, la segunda parte vuelve a aumentar su velocidad.

Esta transferencia de momento angular entre los diferentes segmentos del cuerpo humano cuando se está en el aire se utiliza en actividades como el salto en picada (Figura 13). A medida que el saltador flexiona sus caderas para lograr una posición en picada (0-0,5 segundos), la velocidad angular de la parte superior del cuerpo aumenta y, como consecuencia, el momento angular de la parte superior del cuerpo también aumenta. Como el momento angular de todo el cuerpo se conserva, el momento angular de la parte inferior del cuerpo durante el mismo período de tiempo (0-0,5 segundos) disminuye. Cuanto mayor sea el momento angular de la parte superior del cuerpo, menor será el de la parte inferior.



▲ Figura 13 Momento angular en una inmersión en picada

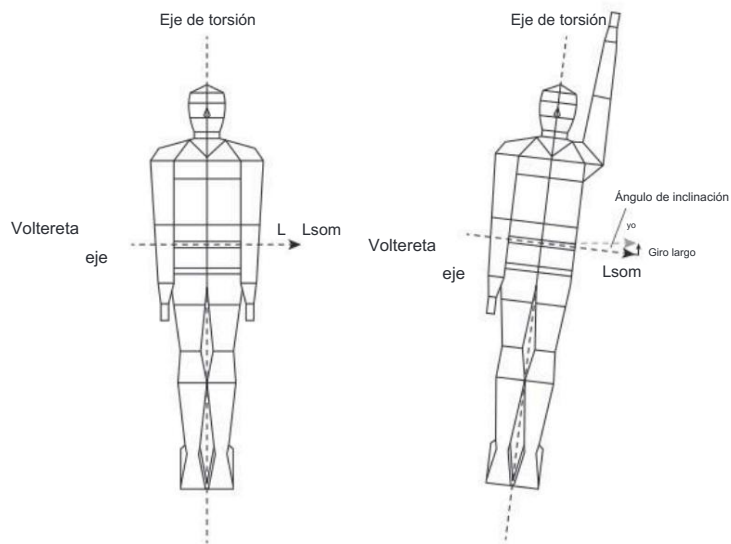
## Comercio de momento angular

Como el momento angular es una cantidad vectorial, si un atleta está rotando sobre un eje (por ejemplo, si está dando un salto mortal) e introduce una rotación sobre otro eje (como una inclinación) mediante movimientos de segmentos corporales utilizando los músculos, entonces

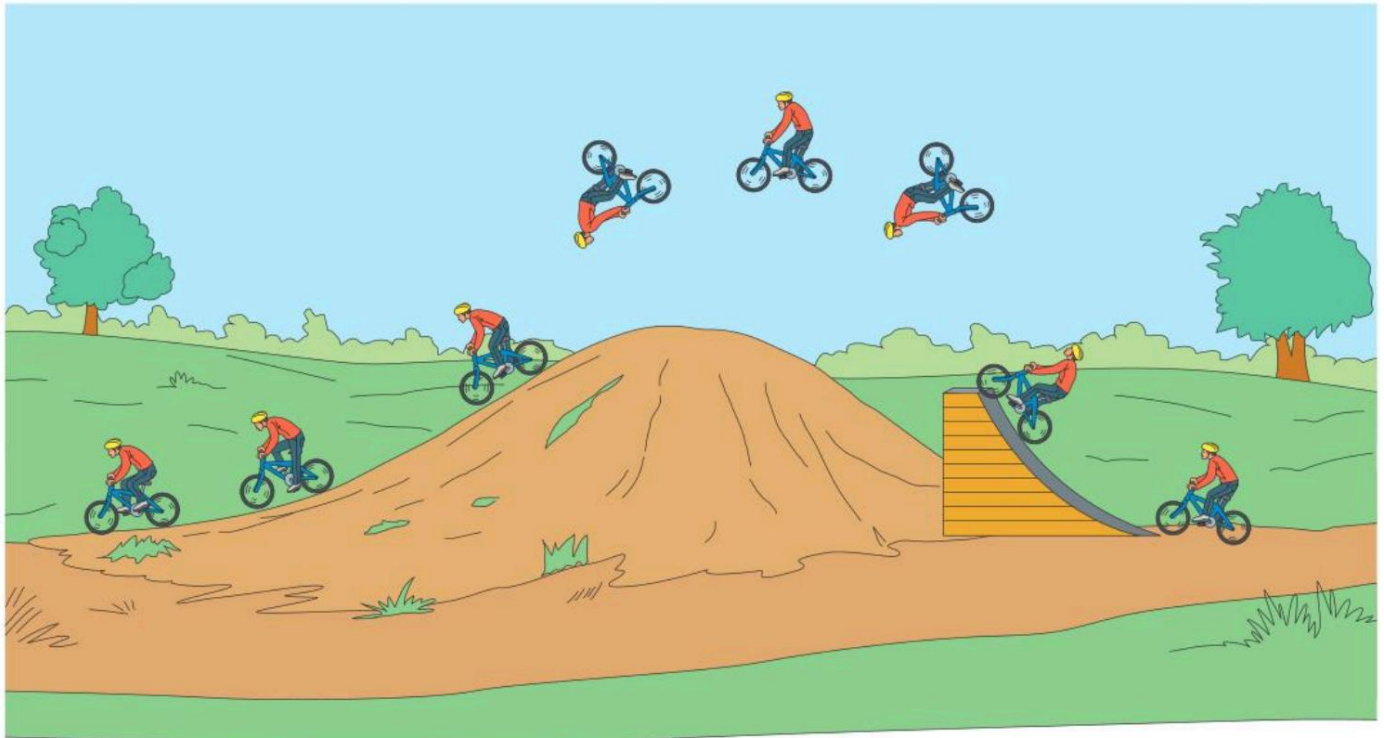


La combinación de los dos vectores produce una rotación alrededor de un tercer eje (torsión).  
En gimnasia, esto se suele utilizar para crear una torsión en los saltos mortales.

Esto permite intercambiar parte del momento angular del salto mortal por torsión (Figura 14).



▲ Figura 14 Intercambio de momento angular: creación de giro mediante la introducción de inclinación mientras se realiza una voltereta



▲ Figura 15 Los ciclistas pueden utilizar los frenos para ajustar su rotación cuando están en el aire. Como no hay contacto con el suelo y el momento angular permanece constante, el frenado permite una transferencia del momento angular de la rueda al ciclista.



## Pregunta de enlace

¿Cómo pueden los entrenadores utilizar las leyes de Newton para mejorar el rendimiento de sus atletas? (B.2.1)

Considerar:

- ley de inercia, posicionamiento corporal, equilibrio/estabilidad y conservación de energía (para Por ejemplo, entrenar a los atletas para que eviten movimientos innecesarios y se muevan de manera eficiente)
- Ley de aceleración, potencia, fuerza y velocidad (por ejemplo, entrenar a los atletas para mejorar su relación potencia-peso)
- ley de acción-reacción y generación de potencia (por ejemplo, entrenar a los atletas para que transfieran energía de las piernas a los brazos durante el lanzamiento)
- impulso y momento (aumentar el impulso para generar un mayor impulso; por ejemplo, entrenar a los atletas para que den pasos más largos cuando corren)
- Leyes de Newton, identificación de áreas de mejora técnica, retroalimentación y prevención de lesiones.

## Colisiones

Una colisión ocurre cuando dos o más objetos entran en contacto (ejercen fuerzas) entre sí durante un corto período de tiempo.

### Conservación del momento lineal

Durante las colisiones entre dos cuerpos u objetos, el momento lineal total de los objetos involucrados se conserva (permanece igual). Esto es un resultado directo de la segunda y tercera leyes de Newton, ya que las fuerzas entre los objetos serán las mismas, al igual que el tiempo de la colisión. Por lo tanto, los cambios en el momento lineal serán los mismos para los dos objetos.

Sin embargo, en la colisión se pierde algo de energía debido al calor y al sonido.

Existe una ley experimental formulada por Newton que establece que la diferencia de velocidades de dos objetos está directamente relacionada con la diferencia de velocidades antes de la colisión. La variable que cuantifica esta relación se llama coeficiente de restitución (CR) y depende principalmente de los materiales de los que están hechos los objetos que chocan (aunque depende ligeramente de las velocidades iniciales de los objetos, por eso es una ley experimental). Cuanto más elásticos sean los objetos en la colisión, más cercano a 1 será el coeficiente de restitución y menos energía se perderá en la colisión.

El coeficiente de restitución CR de dos objetos a y b se puede expresar como:

$$CR = \frac{v_b - v_a}{u_a - u_b}$$

donde  $v_a$  y  $v_b$  son las velocidades finales de los objetos, y  $u_a$  y  $u_b$  son las velocidades iniciales de los objetos.



## Impacto global de la ciencia

### Coefficiente de restitución: ¿trampas en los juegos de pelota?

Como el coeficiente de restitución depende del material de los objetos que chocan, a veces es posible cambiarlo para obtener una ventaja en los juegos de pelota. Por ejemplo, las propiedades de muchas pelotas deportivas dependen de su temperatura (porque las pelotas están hechas de goma o pueden contener aire).

Entonces, al elevar la temperatura de la pelota, puede ser posible aumentar el coeficiente de restitución, dándole así a la pelota una mayor velocidad después de la colisión con una raqueta o un palo.

En algunos deportes, como el squash, esto es legal y el calentamiento sirve para aumentar la temperatura de la pelota. Sin embargo, en otros deportes es ilegal. Por ejemplo, en la década de 1950, algunos equipos de béisbol profesional guardaban las pelotas de béisbol en un congelador para enfriarlas. Esto reducía el coeficiente de restitución y las hacía menos elásticas. Si el equipo local jugaba contra un equipo que era famoso por hacer jonrones, esto podía reducir el número de carreras anotadas por los visitantes. Por eso, las pelotas de los partidos de béisbol (y otros deportes como el tenis) ahora se guardan en contenedores cuya temperatura es monitoreada de cerca por las autoridades gubernamentales.

En 2008, los organismos reguladores del golf (la USGA y la R&A) declararon ilegales determinados diseños de palos de golf. Los fabricantes de palos de golf habían estado fabricando palos (en particular, los drivers) con superficies de contacto que tenían un coeficiente de restitución muy alto (a veces llamados "caras de palo de trampolín"), y por lo tanto la bola podía golpearse más rápido y viajar más lejos. Por lo tanto, los organismos reguladores pusieron un límite superior al coeficiente de restitución de la cara del driver, para garantizar la equidad entre los jugadores y evitar que los campos de golf tuvieran que alargarse para hacer frente al aumento de las distancias de conducción.



### Actividad 3

El coeficiente de restitución se puede medir experimentalmente dividiendo la velocidad de la pelota después de la colisión por la velocidad de la pelota antes de la colisión. ¿Puedes diseñar un experimento para evaluar el coeficiente de restitución de un palo de golf?

Nota: supongamos que podemos utilizar un cañón de bolas para disparar pelotas de golf a una velocidad específica y en una dirección específica. También podemos medir la velocidad de la pelota antes y después de la colisión con el uso de una cámara de video de alta velocidad.

## Fricción

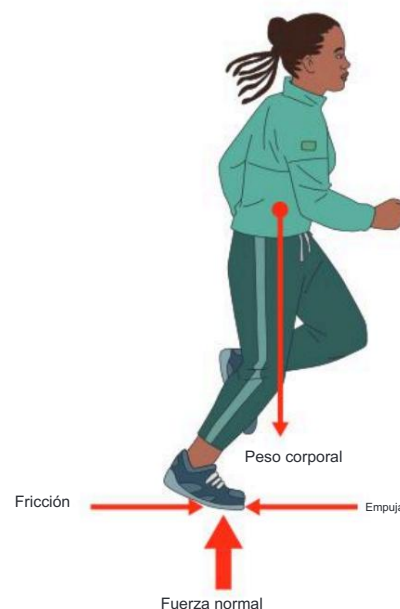
La fricción es una fuerza que actúa contra el movimiento de dos superficies que están en contacto.

La dirección de la fuerza de fricción es paralela al plano de contacto de las dos superficies.

Por ejemplo, considere la Figura 16.

Cuando caminas o corres, la superficie de tus zapatos entra en contacto con la superficie del suelo.

Cuando se aplica una fuerza de empuje, la fricción actúa en dirección opuesta, paralela a la superficie del suelo. La figura 16 también muestra las fuerzas del peso corporal (la fuerza de la gravedad) y la fuerza normal (la fuerza que el suelo ejerce sobre el cuerpo).



▲ Figura 16 La dirección de la fricción que actúa en oposición a la fuerza de empuje

## Reflexiones de pensamiento

La figura 17 muestra una ampolla en el pie de un atleta después de completar una carrera

¿Esas ampollas son el resultado de la fricción estática o de la fricción dinámica?



▲ Figura 17

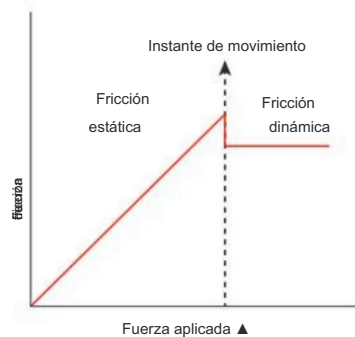


Figura 18 Cuando la fuerza aplicada a un objeto estacionario es suficiente para superar la fricción estática, el objeto comienza a moverse

## Puntos clave

- La dirección de la fricción es opuesta a la dirección de la fuerza aplicada.
- La magnitud de la fricción es proporcional a la fuerza normal entre las dos superficies y se ve afectada por las características de las superficies en contacto.
- La fricción estática alcanza su valor máximo antes de que la superficie de un objeto comience a moverse.
- La fricción dinámica es menor que la fricción estática.

Hay dos tipos de fricción:

- fricción estática o limitante
- fricción dinámica.

## Fricción estática

La fricción estática se refiere a la fuerza que actúa entre dos superficies que no se mueven una con respecto a la otra.

El coeficiente de fricción estática ( $\mu_s$ ) es una cantidad escalar que refleja las características de las superficies en contacto. Por ejemplo, el acero sobre hielo tendrá un coeficiente de fricción estática bajo, mientras que el caucho sobre el suelo tendrá un coeficiente de fricción estática alto. Los valores varían entre cero y uno, pero a veces pueden ser más altos. En general, cuanto mayor sea la interacción entre las superficies en contacto, mayor será el tamaño del coeficiente de fricción estática.

El coeficiente de fricción estática ( $\mu_s$ ) es igual a la relación entre la fuerza de fricción ( $F_f$ ) y la fuerza de reacción normal,  $F_N$ :

$$F_f \mu_s = \frac{F_f}{F_N}$$

donde  $\mu_s$  es el coeficiente de fricción estática,  $F_f$  es la fuerza de fricción y  $F_N$  es la fuerza de reacción normal.

A veces, esta ecuación se escribe con un "signo menor o igual" para mostrar que la fuerza de fricción aumenta dependiendo de la fuerza aplicada:

$$F_f \leq \mu_s F_N$$

El valor máximo de fricción estática se alcanza antes de que la superficie de un objeto comience a moverse sobre la superficie del otro.

## Fricción dinámica

Cuando la fuerza aplicada a un objeto estacionario es suficiente para superar la fricción estática, el objeto comenzará a moverse.

Una vez que el objeto está en movimiento, la magnitud de la fuerza de fricción será menor que cuando el objeto estaba estático. La fuerza de fricción entre superficies que se mueven entre sí se denomina fricción dinámica (Figura 18).

Cuando un objeto está en movimiento, consideramos el coeficiente de fricción dinámica ( $\mu_d$ ), que viene dado por:

$$F_f \mu_d = \frac{F_f}{R}$$

donde  $\mu_d$  es el coeficiente de fricción dinámica,  $F_f$  es la fuerza de fricción y  $R$  es la fuerza de reacción normal.

Esto también se puede escribir como:

$$F_f = \mu_d F_N$$

Fricción y rendimiento deportivo Tanto la maximización

como la minimización de la fuerza de fricción se pueden utilizar para mejorar el rendimiento en los deportes.

En deportes como el bádminton, los atletas intentan empezar, parar y cambiar de dirección lo más rápido posible. Para ello, las zapatillas de bádminton están diseñadas para tener un alto coeficiente de fricción (Figura 19).

De manera similar, los gimnastas aplican tiza en las barras y anillas para aumentar el coeficiente de fricción, lo que les permite aplicar más fuerza sin resbalarse.

En otros deportes, los deportistas intentan reducir la fricción para mejorar el rendimiento. Por ejemplo, los esquiadores de descenso enceran sus esquís para reducir el coeficiente de fricción.



▲ Figura 20 Los esquiadores aplican cera a sus esquís para reducir la fricción.



▲ Figura 19 Los zapatos de bádminton están diseñados para aumentar la fricción.

## Trabajo y poder

### Trabajar

El trabajo resulta de la aplicación de una fuerza a lo largo de una distancia. Cuando se realiza el trabajo, la energía se transforma de una forma a otra. El trabajo realizado se representa generalmente con la letra W y se puede expresar como:

$$W = Fd$$

donde F es la fuerza y d es la distancia.

Por ejemplo, al levantar un peso, se aplica una fuerza vertical para oponerse a la fuerza de gravedad. El trabajo realizado es la fuerza que se aplica multiplicada por la distancia a la que se aplica (la distancia desde la que se levanta el peso). La energía que se utiliza se transforma en energía potencial gravitatoria del peso.

### Fuerza

La potencia se define como la velocidad a la que se realiza un trabajo. Generalmente se representa con la letra P.

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

donde  $\Delta W$  significa "cambio en el trabajo realizado" y  $\Delta t$  significa "cambio en el tiempo".

### Actividades de investigación



▲ Figura 21 A medida que los récords mundiales de maratón han ido cayendo en los últimos años, ha habido un debate sobre el papel interpretado por "super zapatos"

La etíope Tigst Assefa batió el récord mundial femenino de maratón en Berlín en 2023 con un tiempo de 2 horas 11 minutos 53 segundos, lo que supone quitarle 2 minutos 11 segundos al récord anterior. El keniano Kelvin Kiptum también batió el récord mundial masculino de maratón en el maratón de Chicago en 2023. Tanto Assefa

y Kiptum llevaban modelos de lo que se ha descrito como "superzapatos". Investigue "superzapatos" y cuánto cuestan

ventaja que los atletas podrían obtener al usarlos.



### Actividad 4

En muchos deportes es necesario que los participantes creen una cierta cantidad de fricción entre sus pies y la superficie de juego, o entre sus manos y algún implemento como un palo, una raqueta o una pértiga (en el salto con pértiga), para evitar resbalones.

1. ¿Cómo logran esto los montañistas, los jugadores de béisbol, los jugadores de fútbol, los jugadores de squash, los golfistas y los atletas de pista y campo?
2. ¿Cuál sería el efecto de una superficie de juego interior (por ejemplo, una ¿Se pulen mucho las superficies de las canchas de voleibol o baloncesto? ¿Esto aumentaría o reduciría el coeficiente de fricción entre los zapatos y la superficie de juego?
3. Da dos razones por las que hay demasiada fricción entre los zapatos y el juego.  
La superficie puede ser un problema.
4. ¿Puedes pensar en una actividad en la que el desempeño hábil dependa de  
¿Reducir hasta cierto punto la fricción entre los zapatos y el suelo?
5. ¿Por qué los esquiadores enceran la parte inferior de sus esquís?
6. ¿Qué papel juega el líquido sinovial en la articulación de la rodilla durante el movimiento humano con carga de peso?
7. ¿Por qué a veces se forman ampollas en las manos o los pies después de participar en escaladas en roca o correr una maratón?

La potencia se puede calcular como el producto de la fuerza por la velocidad:

$$P = Fv$$

donde  $F$  es la fuerza y  $v$  es la velocidad.

La potencia es una medida de la velocidad a la que se realiza el trabajo. Por lo tanto, medir la potencia de salida puede ser una medida de la intensidad del trabajo. La potencia muscular es el aspecto explosivo de la fuerza muscular: el producto de la fuerza y la velocidad de movimiento.

#### Potencia de salida en el deporte

Aunque la fuerza absoluta es un componente importante de muchos tipos diferentes de rendimiento deportivo, la potencia muscular es la aplicación funcional tanto de la fuerza como de la velocidad de movimiento, y la potencia muscular de un atleta es un componente clave para el rendimiento exitoso en muchos deportes y actividades competitivas. Por lo tanto, es valioso comprender cómo optimizar la potencia de salida mediante una técnica y un diseño de equipamiento correctos.



### Actividad 5

La potencia es el producto de la fuerza y la velocidad, y es una de las características distintivas clave entre los atletas exitosos y los promedios.

1. ¿Qué deportes requieren grandes potencias?
2. ¿Cómo entrena un atleta para alcanzar la potencia?



Optimizar la potencia ajustando la técnica: imagina que estás aprendiendo a saltar en un trampolín. Cuando saltas en un trampolín, si doblas las rodillas y usas las piernas para impulsarte con la mayor fuerza posible (maximizas la fuerza) y la mayor velocidad posible (maximizas la velocidad angular de extensión de la rodilla), llegarás más alto que si simplemente rebotas y te impulsas con una fuerza moderada y una velocidad angular de extensión de la rodilla moderada o si saltas sin doblar las rodillas. Por lo tanto, en los deportes, utilizar la técnica correcta significa hacer los movimientos de la mejor manera posible para aprovechar al máximo tu fuerza y velocidad.

Optimizar la potencia mediante el uso de equipamiento deportivo eficaz: imagina que vas en bicicleta. La forma y los materiales de la bicicleta pueden afectar a la velocidad y la eficacia con la que pedaleas. Los resultados de las investigaciones (Burns, Kram, 2020) indican que las zapatillas de ciclismo con pedales con clip permiten un mayor rendimiento medio y máximo en el sprint en comparación con las zapatillas para correr con pedales planos o las zapatillas para correr con calapiés. Por tanto, el diseño eficaz del equipamiento deportivo puede ayudar a mejorar tu rendimiento deportivo.

Cuando utilizas la técnica correcta y tienes un equipamiento deportivo bien diseñado, ¿es como tener una receta secreta para un rendimiento exitoso!

#### Reflexiones de pensamiento

¿Puedes pensar en cómo optimizar la potencia a través de la técnica correcta en tu deporte favorito?

En un deporte en el que no participas, ¿puedes pensar en cómo el diseño efectivo del equipamiento utilizado en ese deporte ayuda a mejorar el rendimiento?



### Pregunta de enlace

¿Puede considerarse una ventaja injusta el uso de patines calefactados en bobsleigh o de un bañador de piel de tiburón en una piscina? (NOS, B.2.2)

Considerar:

- si el equipo especializado, como zapatillas térmicas o trajes de baño de piel de tiburón, mejora el rendimiento más allá de las capacidades naturales de un atleta
- si estas tecnologías son asequibles para todos los atletas (¿todos los atletas tendrán acceso a dichos equipos?)
- la importancia de mantener la integridad del deporte y garantizar la igualdad de condiciones para todos los atletas
- si se debería prestar más atención al elemento humano del deporte/la competición y el esfuerzo y el logro individual.

### Pregunta de práctica

Explica cómo se aplican las leyes del movimiento de Newton en un deporte de equipo.

(4 puntos)

# Resumen

- La cinemática lineal implica el movimiento en línea recta y  
Consiste en desplazamiento lineal, velocidad lineal y aceleración lineal.
- La cinemática angular se ocupa de la rotación y  
Consiste en desplazamiento angular, velocidad angular y aceleración angular.
- Las tres leyes del movimiento de Newton relacionan cómo cambian las fuerzas movimiento.
- La relación impulso-cantidad de movimiento es importante para comprender los cambios de movimiento.
- El momento angular mide la cantidad de rotación que realiza un cuerpo u objeto tiene.
- En ausencia de un par externo (por ejemplo, en un vuelo a baja velocidad, como un salto), el momento angular permanece constante.
- La fricción es una fuerza que actúa paralela a la interfaz de dos superficies que están en contacto durante el movimiento (o movimiento inminente) de una superficie a medida que se mueve sobre la otra.
- El coeficiente de fricción estática es un escalar adimensional.  
Cantidad igual al cociente entre la fuerza de rozamiento y la fuerza de reacción normal. Cuando el objeto está en movimiento, consideramos rozamiento dinámico.
- Para mejorar el rendimiento en los deportes buscamos maximizar o minimizar la fuerza de fricción.

## Comprueba tu comprensión

Después de leer este capítulo, usted debería poder:

- esbozar las tres leyes del movimiento de Newton
- aplicar las leyes de Newton para analizar ecuaciones lineales y angulares. movimiento
- comprender la conservación del momento en las colisiones
- interpretar valores para el coeficiente de restitución en colisiones
- distinguir entre el coeficiente de fricción estática y el coeficiente de fricción dinámica
- explicar la influencia de la fricción en el rendimiento deportivo
- comprender las relaciones entre fuerza y trabajo hecho y poder
- describir cómo se puede optimizar la potencia de salida en deporte.



# Preguntas de autoaprendizaje

1. Utilizando ejemplos deportivos, describa las tres leyes del movimiento de Newton.
2. Distinguir entre distancia y desplazamiento, y velocidad y rapidez.
3. Enumere los factores que afectan la estabilidad de un objeto.
4. Explica cómo podemos maximizar el momento vertical en un salto vertical.
5. Describe cómo una gimnasta puede aumentar la velocidad de rotación durante un salto mortal.
6. Explique cómo maximizamos o minimizamos la fuerza de fricción para mejorar el rendimiento en un deporte.  
de tu elección.
7. Describe cómo una gimnasta puede generar suficiente momento angular para realizar un salto mortal.
8. Explica cómo podemos evaluar el coeficiente de restitución de una pelota de baloncesto.
9. Distinguir entre fricción estática y dinámica.



## Pregunta basada en datos

La Tabla 3 muestra datos del récord mundial de 100 metros de Usain Bolt en 2009 en Berlín.

▼ Tabla 3

Desplazamiento/m	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Veces	1,89	2,88	3,78	4,64	5,47	6,29	7,10	7,92	8,75	9,58

1. Calcula la velocidad media para cada intervalo de 10 m utilizando el desplazamiento y el tiempo.  
diferencias por cada 10m. (2 puntos)
2. ¿Cuál fue su velocidad media máxima (en ms)? 1 ) ¿Y en qué punto de la carrera lo alcanzó? (2 puntos)
3. ¿Cómo calcularías las velocidades instantáneas a partir de un gráfico de desplazamiento?  
¿contra el tiempo? (2 puntos)
4. Trate de averiguar cuál fue su velocidad instantánea máxima utilizando un desplazamiento-tiempo suave.  
gráfica. ¿Cómo averiguarías entonces la aceleración instantánea en cualquier momento? (4 puntos)