

## 4. Impulso y momentum

### Exploremos

Toma un pequeño carrito de juguete y pon encima de él un “peso” de los empleados en la actividad de la página 44. Haz lo mismo con otro carrito, pero ponle el triple de masa. En el extremo de cada uno de ellos pon una bolita de plastilina. Si impulsamos los dos carritos al mismo tiempo y aproximadamente con la misma velocidad hacia la pared, ¿en cuál de ellos la deformación de la plastilina será mayor? ¿Sobre cuál de ellos la fuerza ejercida por la pared para detenerlo será mayor?

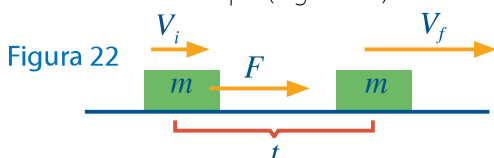
### Momentum o cantidad de movimiento lineal

Un cuerpo en movimiento opone resistencia a cambiar dicho movimiento, es decir, tiene inercia. Esta inercia, está determinada por dos factores: su velocidad y su masa. La inercia del cuerpo en movimiento, está asociada a su cantidad de movimiento lineal o momentum lineal, que operacionalmente se determina como el producto entre su masa y su rapidez (Figura 21):



$$p = m \cdot V \rightarrow kg \cdot \frac{m}{s}$$

El impulso corresponde al efecto de una fuerza sobre el movimiento de un cuerpo, es proporcional a la intensidad de la fuerza y al tiempo durante el cual actúa sobre el cuerpo (Figura 22).



$$I = F \cdot t \rightarrow N \cdot s$$

### Conceptos clave

El **momentum lineal** es una propiedad de los cuerpos, y mide cuantitativamente la inercia que tiene el cuerpo cuando está en movimiento. Es un indicador de la oposición que presenta el cuerpo frente a los cambios de movimiento.

El **impulso** es el efecto producido por una fuerza sobre el momentum de un cuerpo.

### Relaciones entre impulso y momentum

Si empujamos un cuerpo que viaja con cierta rapidez  $V_0$  mediante una fuerza  $F$  en la misma dirección de su movimiento, estaremos produciendo sobre él una aceleración y, por lo tanto, el cuerpo aumentará su rapidez hasta un valor  $V$ . En este caso, la fuerza  $F$  producirá un impulso y también una variación en la cantidad de movimiento. Podemos escribir:

$$I = F \cdot t \Rightarrow I = m \cdot a \cdot t \Rightarrow I = m \cdot \left( \frac{V - V_0}{t} \right) \cdot t$$

$$I = mV - mV_0 \Rightarrow I = p - p_0$$

Por lo tanto,  $I = \Delta p$

A partir de la última relación, podemos escribir:

$$I = \Delta p \quad F \cdot t = \Delta p \quad \text{y finalmente:} \quad F = \frac{\Delta p}{t}$$

Respecto de las unidades, es fácil demostrar que  $p$  e  $I$  se miden en las mismas unidades:

$$N \cdot s = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot s$$

## Exploremos

## Objetivo

En esta actividad, estudiaremos el choque experimentado por dos cuerpos (carritos de juguete) desde el punto de vista del momentum.

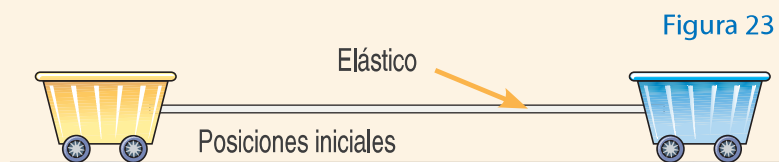


Figura 23

## Materiales

- 2 carritos de laboratorio de masas diferentes (los puedes reemplazar por dos carritos de juguete cuyas masas sean diferentes y conocidas o posibles de medir mediante una balanza).
- 1 huincha de medir, papel engomado (*masking tape*) 1 elástico grueso (de aproximadamente un metro de longitud) y algunos chinchos, corchetes u otra forma de fijar el elástico a los carritos tal como muestra la Figura 23.

## A experimentar

Separa los carritos unidos por el elástico sobre el suelo, hasta una distancia en la que se note la acción ejercida mutuamente por los carritos mediante el elástico. Marca con cinta la posición inicial de los carritos.

1. Si sueltas los carritos y permites que la fuerza ejercida sobre ellos mediante el elástico los haga chocar, ¿en qué punto, en la línea que une a ambos carritos, se impactarán aproximadamente? (Al medio, más cerca del más liviano, más cerca del más “pesado”, etc.). Formula una predicción.
2. Verifica tu predicción, ¿qué observas?
3. Vuelve a separar los carritos. Antes de soltarlos, ¿cuánto vale el momentum total del sistema?
4. El valor del momentum total del sistema justo en el instante del choque, ¿es mayor o menor que el momentum total inicial? Formula una predicción.

Suelta los carritos y mide la distancia recorrida por cada uno de ellos desde el punto en que son soltados hasta el punto del choque.

Si consideramos que el tiempo empleado por ambos carritos desde que son soltados hasta que chocan frontalmente es el mismo ( $t$ ), ¿cómo son los correspondientes momentum de los carritos justo en el momento del choque?

5. ¿Qué puedes decir respecto de tu última predicción?
6. ¿Qué puedes concluir respecto del momentum total de un sistema durante un choque?

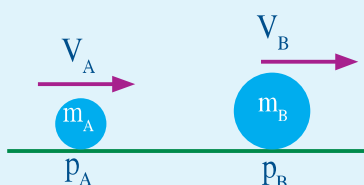
## Ley de conservación del momentum lineal

En la actividad anterior hemos revisado una de las leyes fundamentales de la mecánica, es decir, la conservación del momentum. Esta ley permite estudiar y analizar situaciones de la mecánica como choques, explosiones u otras interacciones con gran facilidad. La demostración de esta ley se plantea a continuación.

Supongamos que dos cuerpos se mueven como muestran las figuras y experimentan el choque mostrado en estas:

Inicialmente, el cuerpo  $m_A$  se mueve en persecución del cuerpo de masa  $m_B$ , y ambos cuerpos tienen momentum, cuyos valores respectivos son  $p_A$  y  $p_B$ . El momentum total del sistema podemos calcularlo como:

$$p_T = p_A + p_B$$



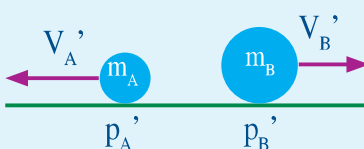
Cuando los cuerpos impactan, se ejercen fuerzas mutuamente (de acuerdo con la 2ª ley de Newton). Dichas fuerzas son de igual magnitud, pero en sentido opuesto. Consecuentemente con esto, ambos cuerpos experimentan impulsos de igual magnitud, pero opuestos:

$$I_A = -I_B$$



Luego del impacto, los cuerpos continúan moviéndose con diferentes velocidades  $V_A'$  y  $V_B'$ , con el consiguiente cambio en sus respectivos momentum  $p_A'$  y  $p_B'$ . De manera análoga a la situación inicial, el momentum total está dado por:

$$p_T' = p_A' + p_B'$$



Dado que los impulsos ejercidos sobre cada cuerpo son de igual magnitud, pero opuestos, podemos concluir que lo mismo ocurre con las variaciones de momentum, es decir:

$$\begin{aligned}\Delta p_A &= -\Delta p_B \\ p_A' - p_A &= (p_B' - p_B) \\ p_A' + p_B &= p_A + p_B' \\ p_T' &= p_T\end{aligned}$$



**Para tener en cuenta**

**Tipos de choque:**

- Choque elástico: ocurre cuando las deformaciones sufridas por los cuerpos son momentáneas y estos recuperan por sí mismos su forma original. En esta situación se conserva también la energía cinética del sistema.
- Choque inelástico: se produce cuando las deformaciones sufridas por los cuerpos son permanentes y no recuperan por sí mismo su forma original. En esta situación, no se conserva la energía cinética del sistema.
- Choque totalmente inelástico: en este tipo de choque, no solo las deformaciones sufridas por los cuerpos son permanentes, sino que además los cuerpos quedan unidos.

La ley de conservación del momentum lineal, dice: "En un sistema aislado de fuerzas externas y en ausencia de roce, el momentum total se conserva constante, de tal forma que este se transfiere entre los cuerpos que componen dicho sistema, sin embargo, el valor total siempre se conserva constante".

En este sencillo análisis, es posible observar que en el sistema, la cantidad de movimiento total (momentum total) se conserva constante.

## 5. Torque y rotación

### Exploremos

En un programa concurso (“*reality*”), una pareja de concursantes tiene que contener a un animal muy fuerte (como un buey) en el interior de una jaula cuya puerta es muy ancha, pero no tiene seguro o pestillo. Dado que el buey puede ejercer una fuerza equivalente a aproximadamente cuatro hombres, casi todos los equipos pierden la prueba. Sin embargo, en una ocasión, una pareja logró ganarle al buey. ¿Qué condiciones se darían para que la pareja pudiera contener al buey en la jaula? Dibuja un esquema de la situación.

### Concepto clave

El **torque** es una medida del efecto rotacional de una fuerza sobre un cuerpo.

Figura 24

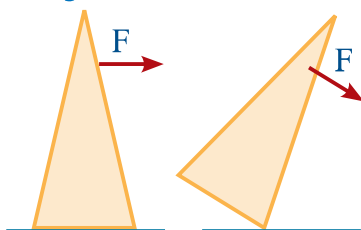
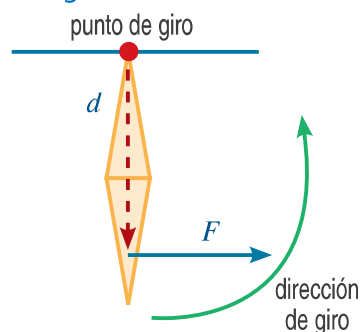


Figura 25



### Para tener en cuenta

#### Torque neto ( $\tau_N$ )

El torque neto sobre un cuerpo corresponde a la suma de todos los torques que actúan sobre él. Si el torque neto es nulo, entonces decimos que el cuerpo está en equilibrio rotacional. Es decir, no gira.

A veces, cuando se aplica una fuerza sobre un objeto puede ocurrir que este gire o se tuerza. Este efecto de giro producido por la acción de la fuerza se llama **torque** o momento de una fuerza (Figura 24). La magnitud de un torque depende de la intensidad de la fuerza y del punto donde se aplique. En efecto, en el análisis de la rotación de un cuerpo debido a la acción de una fuerza se destacan dos elementos: la fuerza aplicada y el brazo de torque, que corresponde a la distancia medida desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el punto de giro del cuerpo.

Si el brazo de torque  $d$  es perpendicular a la dirección de la fuerza  $F$ , entonces podemos calcular el torque operacionalmente como el producto entre ambas magnitudes (Figura 25):

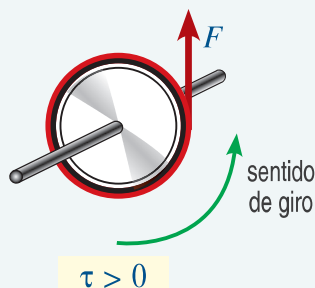
$$\tau = F \cdot d \rightarrow N \cdot m$$

Es muy importante considerar que la unidad de medida del torque es simplemente  $N \cdot m$  y no es equivalente a la unidad de medida del trabajo mecánico (joule), que también corresponde al producto entre una fuerza y una longitud.

### Sentido del torque

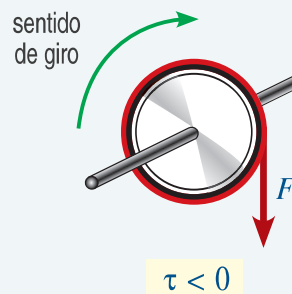
#### Torque positivo

Cuando una fuerza produce un giro en sentido antihorario (contrario al movimiento de las manecillas de un reloj análogo), entonces decimos que el torque es positivo:



#### Torque negativo

Cuando una fuerza produce un giro en sentido horario (en el sentido del movimiento de las manecillas de un reloj análogo), entonces decimos que el torque es negativo:



## Actividad experimental

## Objetivo

Esta actividad tiene como propósito observar experimentalmente el efecto de la longitud del brazo de torque en la rotación de un cuerpo rígido, así como del ángulo formado por la fuerza aplicada y el brazo de torque.

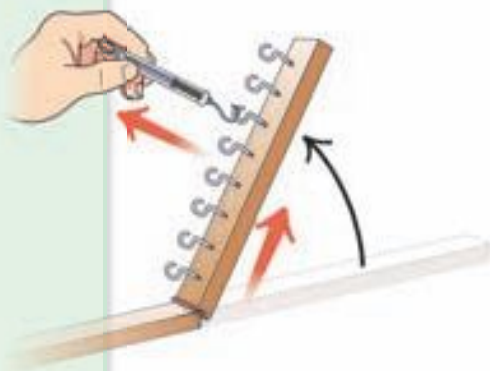
## Materiales

- 2 listones de madera pulida (cepillada), de al menos 50 cm de longitud y de aproximadamente 2 cm de ancho y 2 cm de grosor (similares a los empleados en la actividad de la página 31, es decir, de 1x2 pulgadas), 1 trozo de cuero o género resistente para fabricar una “bisagra”, la que fijaremos con clavos pequeños o tachuelas. Necesitarás además 1 martillo, cuchillo cartonero o tijeras, 1 huincha de medir y algunos cáncamos (pequeños ganchitos con una punta roscada como un tornillo, para poner en la madera).
- Emplearemos además 1 dinamómetro, que es un instrumento para medir la intensidad de una fuerza.

## Preparémonos

Con las tijeras o el cuchillo, corta una tira de cuero que usarás como bisagra para unir los dos listones como muestra la figura. Para ello usa las tachuelas. Del mismo modo, pon algunos cáncamos en uno de los “brazos” del sistema, espaciados regularmente entre sí.

Ubica el sistema formado con los listones unidos por la bisagra de cuero sobre una mesa como muestra la figura. Pon un objeto pesado sobre el listón que descansa sobre la mesa de manera que se mantenga fijo a ella.



## Realización de la actividad

1. Si quisieras levantar el listón para ponerlo de manera vertical, tirándolo desde uno de los cáncamos, ¿desde cuál de ellos habría que tirar para levantarlo con el menor esfuerzo? Formula una predicción.
2. Verifica tu predicción, ¿qué puedes concluir?
3. Repetiremos ahora la experiencia, pero, tomando la precaución de que la fuerza sea permanentemente perpendicular al brazo de torque. Anota el valor de la fuerza necesaria para levantar el listón hasta la posición horizontal.
4. Si levantas el listón pero aplicando la fuerza de modo que esta forme un ángulo menor que  $90^\circ$  con el brazo de torque, la fuerza necesaria para levantarlo, ¿será mayor o menor que en el caso anterior? Formula una predicción.
5. Verifica tu predicción. ¿Qué ocurre?
6. Repite la experiencia para diferentes ángulos y registra, en cada caso, el valor de la fuerza medida por el dinamómetro. ¿Qué puedes concluir respecto de la fuerza necesaria para producir la rotación y el ángulo que esta forma con el brazo?

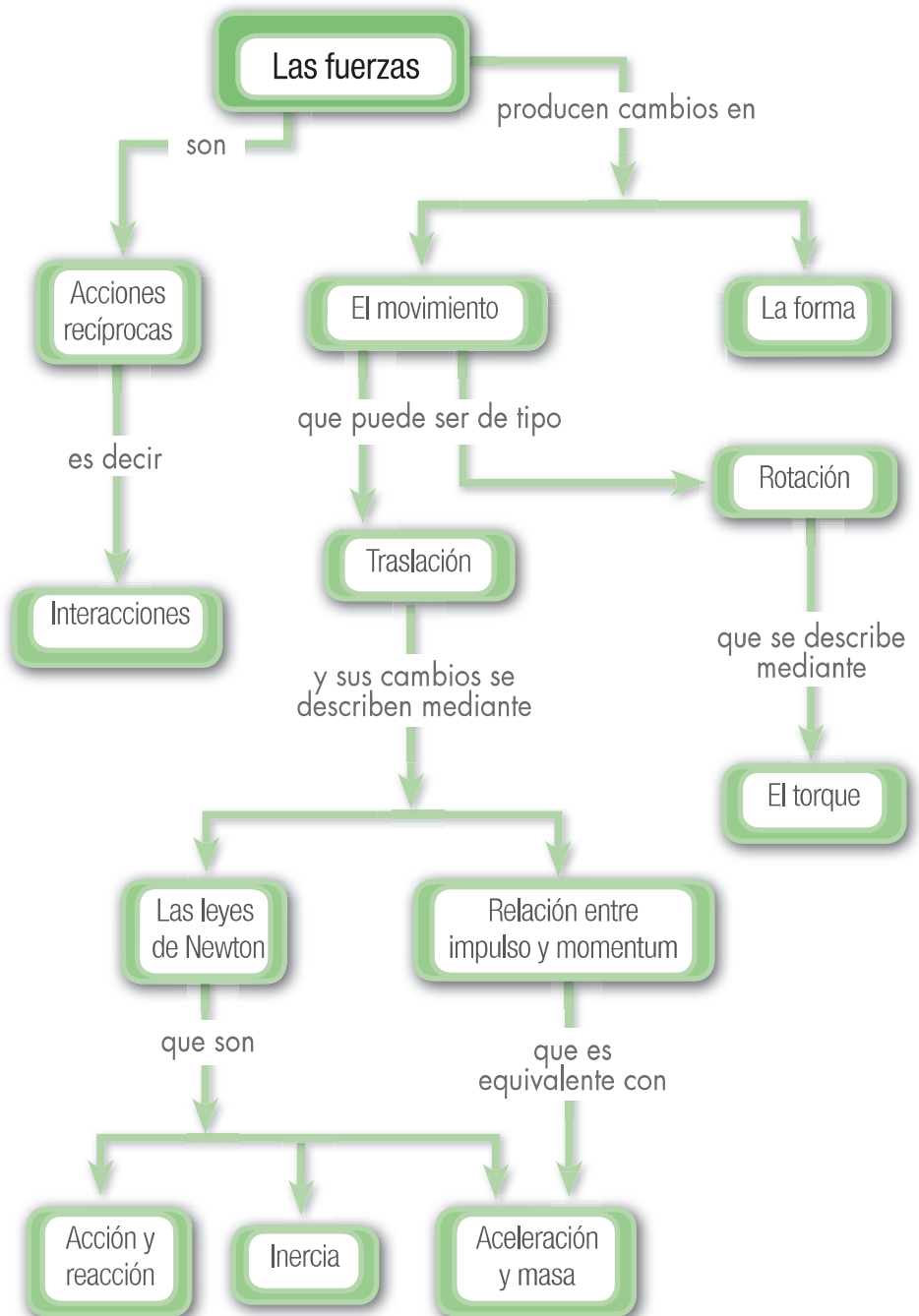
## H Habilidades y destrezas

Predecir  
Observar  
Aplicar  
Medir  
Analizar  
Discutir  
Concluir

Las fuerzas son un tipo de **acciones recíprocas** o mutua entre dos o más cuerpos (interacción), que pueden producir cambios en la forma o en el movimiento de los cuerpos.

El **movimiento** de un cuerpo, se cuantifica a través de la noción de **momentum**, que mide además la **inercia** de un cuerpo en movimiento. Los cambios en el movimiento de un cuerpo, se describen a través de las tres **leyes del movimiento de Newton**, así como mediante la noción de impulso. El **impulso**, al igual que la segunda ley de Newton (aceleración y masa), relaciona el cambio de movimiento con la **fuerza neta** que actúa sobre el cuerpo.

Los efectos de una fuerza sobre el movimiento de **rotación** de un cuerpo se describen mediante la noción de **torque**.





## Evaluación

## I. Casos para discutir

**Caso 1:** Un automóvil compacto choca con un camión de transporte de valores (camión blindado) que se encuentra estacionado. Producto del impacto, el automóvil se detiene y se deforma casi por completo. El camión, por su parte, solo se desplaza algunos centímetros y sufre daños casi imperceptibles. Respecto de esta situación, Raúl afirma que: “debido a que el camión estaba en reposo, solamente el automóvil ejerció la fuerza”. Marianela, por su parte, afirma que “ambos se ejercieron fuerza mutuamente, sin embargo, la fuerza ejercida por el camión sobre el automóvil fue mayor que la ejercida por este último vehículo”. Rodrigo, exclama: “¡Están equivocados! la magnitud de la fuerza fue igual para ambos cuerpos”. ¿Quién(es) de los tres está(n) en lo correcto? ¿Por qué?

**Caso 2:** Una nave espacial se encuentra moviéndose en una zona alejada de cualquier campo gravitacional y prácticamente sin roce. Si en dicho instante el comandante de la nave da la orden de apagar los motores, ¿cómo será el movimiento de la nave? Desde uno de los costados de la nave, se suelta un pequeñísimo foco (de masa despreciable). ¿Cuál será el movimiento de este cuerpo, visto por un pasajero en el interior de la nave?

## II. Ejercitemos

- Un astronauta experimenta un peso de 850 N en la Tierra. Si en la Luna la aceleración de gravedad es la sexta parte de su valor en la Tierra, ¿cuál es la masa del astronauta en este satélite?
- Un niño se encuentra en reposo, sentado en una silla sobre una superficie horizontal. La masa total del conjunto es de 60 kg. Para moverlo, un compañero comienza a tirar de él lentamente mediante una cuerda que tiene intercalado un dinamómetro. Se observa que justo antes de que el sistema se ponga en movimiento, el dinamómetro marca 120 N. ¿cuál es el valor del coeficiente de roce estático entre las patas de la silla y el suelo?
- En la situación anterior se observa que para mover al niño sobre la silla con velocidad constante, se requiere arrastrarlo con una fuerza de 80 N. ¿Cuál es el valor del coeficiente de roce cinético entre el suelo y las patas de la silla?
- Una montacargas de 400 kg, asciende con velocidad constante de 2 m/s, al ser tirado verticalmente mediante una cuerda. ¿Cuál es el valor de la fuerza ejercida por la cuerda sobre el montacargas?
- Una bola de pool de 350 gramos, que se encuentra, inicialmente, en reposo, es golpeada con el taco de tal forma que sale disparada de forma rectilínea a 72 km/h. ¿Cuál es el valor del momentum adquirido por la bola? ¿Cuál es el módulo del impulso ejercido por el taco sobre la bola? Si el taco permanece en contacto 0,02 segundos con la bola, ¿cuál es la magnitud de la fuerza ejercida sobre dicho cuerpo?
- Una pelota de tenis de 200 gramos se mueve de manera horizontal y rectilínea a 30 m/s y choca contra una pared vertical durante una milésima de segundo. Después del impacto, la pelota se mueve en la misma dirección, pero en sentido opuesto con una rapidez de 20 m/s. ¿Cuál es la magnitud del cambio de momentum experimentado por la pelota de tenis? ¿Cuál es la magnitud de la fuerza ejercida por la pared sobre la pelota?
- Una flecha de 300 gramos se mueve horizontalmente a 25 m/s y se incrusta en un bloque de madera de 4,7 kg que se encuentra inicialmente en reposo. Luego del impacto, ¿cuál es el valor de la velocidad con que queda moviéndose el sistema?
- Dos niños se encuentran jugando en un balancín formado por un tablón de 8 metros de longitud que puede girar en torno a un eje que pasa por su punto medio. Si en uno de sus extremos se ubica un niño de 30 kg de masa, tal como muestra la figura, ¿a qué distancia  $d$  del punto de giro debería ubicarse otro niño(a) de masa 50 kg para que el balancín se mantenga en equilibrio?
- Una barra rígida de masa despreciable se utiliza como palanca para mover una pesada roca de 300 kg de masa. Si la distancia entre el punto de apoyo y la roca es la cuarta parte del largo total de la barra, ¿cuál es el valor de la fuerza que se debe ejercer en el punto A para mover la roca?

