



## Cantidad de movimiento e impulso

**Objetivo:** Describir el movimiento de un cuerpo en términos de su cantidad de movimiento y el cambio en el movimiento a partir del impulso.

**Nivel:** Segundo medio

### Cantidad de movimiento

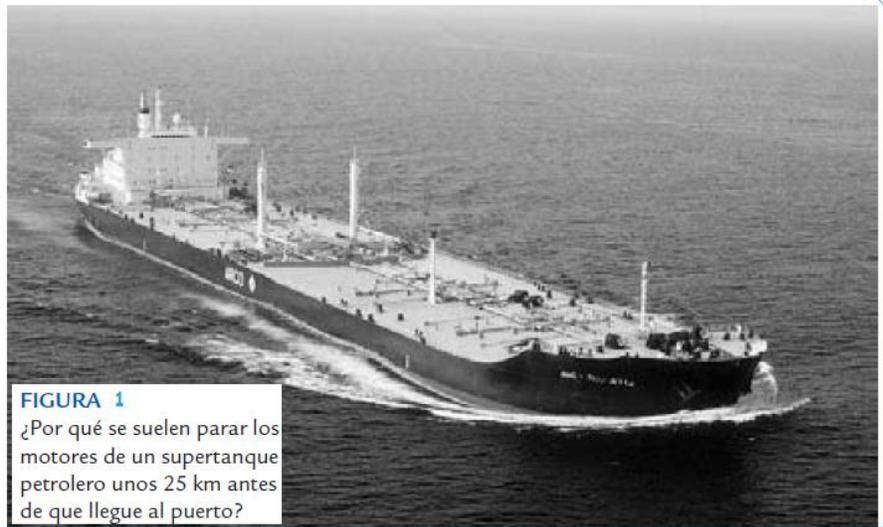
Todos sabemos que es más difícil detener a un camión pesado que a un automóvil ligero que se mueven con la misma rapidez. Expresamos lo anterior diciendo que el camión tiene mayor cantidad de movimiento que el automóvil. Por **cantidad de movimiento (p)** se indica la inercia en movimiento. En forma más específica, la cantidad de movimiento se define como el producto de la masa de un objeto por su velocidad, es decir

Cantidad de movimiento = masa · velocidad

O bien, en notación compacta

$$\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v}$$

De la definición se observa que un objeto en movimiento puede tener una gran cantidad de movimiento, si su masa o su velocidad son grandes, o si tanto su masa como su velocidad son grandes. El camión tiene más cantidad de movimiento que el automóvil que se mueve con la misma rapidez, porque la masa del primero es mayor. Se aprecia que un buque gigantesco que se mueva a una rapidez pequeña tiene una gran cantidad de movimiento, así como una bala pequeña que se mueva a gran rapidez. También, naturalmente, un objeto gigantesco que se mueva a gran rapidez, como sería un camión masivo que baja por una pendiente pronunciada, sin frenos, y tiene una cantidad de movimiento gigantesca; en tanto que el mismo camión en reposo no tiene ninguna cantidad de movimiento porque la parte  $v$  de  $m \cdot v$  es cero.





## Impulso

Si la cantidad de movimiento de un objeto cambia, entonces pueden cambiar su masa, su velocidad, o ambas cuestiones. Si la masa permanece igual, como es el caso más frecuente, entonces la velocidad cambia y se presenta una aceleración. Y, ¿qué produce una aceleración? La respuesta es *una fuerza*. Cuanto mayor sea la fuerza que actúa sobre un objeto, mayor será el cambio de la velocidad y, en consecuencia, mayor será el cambio en la cantidad de movimiento.

Pero hay algo más que importa cuando cambia la cantidad de movimiento: el tiempo, es decir, durante cuánto tiempo actúa la fuerza. Aplica una fuerza durante un corto tiempo a un automóvil parado y producirás un cambio pequeño de su cantidad de movimiento. Aplica la misma fuerza durante largo tiempo y resultará un mayor cambio de su cantidad de movimiento. Una fuerza sostenida durante largo tiempo produce más cambio de cantidad de movimiento, que la misma fuerza cuando se aplica durante un breve lapso. Así, para cambiar la cantidad de movimiento de un objeto importan tanto la magnitud de la fuerza como el tiempo durante el cual actúa la fuerza.

El producto de la *fuerza* x *el intervalo de tiempo* se llama **impulso (I)**. O bien, en notación compacta,

$$I = f \cdot t$$

### Examínate 1

1. ¿Qué tiene más cantidad de movimiento, un automóvil de 1 tonelada que avance a 100 km/h o un camión de 2 toneladas que avance a 50 km/h?
2. ¿Tiene impulso un objeto en movimiento?
3. ¿Tiene cantidad de movimiento un objeto en movimiento?
4. Para la misma fuerza, qué cañón ejerce mayor impulso a la bala: uno largo o uno corto.



**FIGURA 2**

Cuando empujas con la misma fuerza durante el doble del tiempo, ejerces el doble del impulso y duplicas el cambio en la cantidad de movimiento que produces.

### El impulso cambia la cantidad de movimiento

Cuanto mayor sea el impulso que se ejerce sobre algo, mayor será el cambio en la cantidad de movimiento. La relación exacta es

Impulso = cambio en la cantidad de movimiento

Podemos expresar todos los términos de esta relación en notación compacta, introduciendo el símbolo delta,  $\Delta$  (una letra del alfabeto griego que se usa para indicar “cambio de” o “diferencia de”):

$$F \cdot t = \Delta(m \cdot v)$$



La **relación entre impulso y cantidad de movimiento** ayuda a analizar muchos ejemplos en los que las fuerzas actúan y cambia el movimiento. A veces se puede considerar que el impulso es la causa de un cambio de movimiento. En algunas otras se puede considerar que un cambio de cantidad de movimiento es la causa de un impulso. No importa la forma en que uno se lo imagine. Lo importante es que el impulso y la cantidad de movimiento siempre vienen relacionados. Aquí describiremos algunos ejemplos ordinarios, en los cuales el impulso se relaciona con

1. un aumento de cantidad de movimiento;
2. una disminución de cantidad de movimiento durante largo tiempo, y
3. una disminución de la cantidad de movimiento durante un corto tiempo.

### Caso 1: aumento de la cantidad de movimiento

Si quieres aumentar la cantidad de movimiento de algo, deberás aplicar toda la fuerza que puedas durante el mayor tiempo posible. Un golfista que da el golpe inicial y un jugador de béisbol que intenta dar un *home run* hacen ambas cosas, cuando abanicen tan fuerte como sea posible, y acompañan el golpe en sus intentos. Así aumentan el tiempo de contacto.

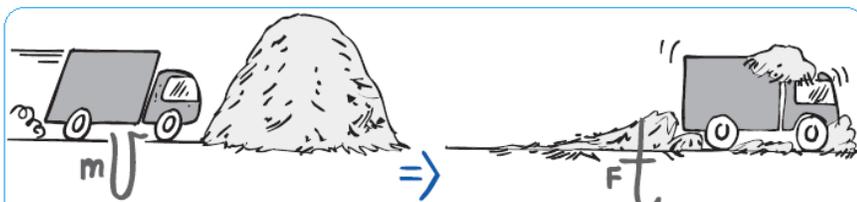
La fuerza que interviene en los impulsos por lo general varía de un instante a otro. Por ejemplo, un palo de golf que golpea una pelota ejerce cero fuerza sobre ésta hasta que entran en contacto; entonces, la fuerza aumenta con rapidez conforme la pelota se deforma (figura 3). Cuando en esta guía se habla de fuerzas de impacto, se indican las fuerzas *promedio*.



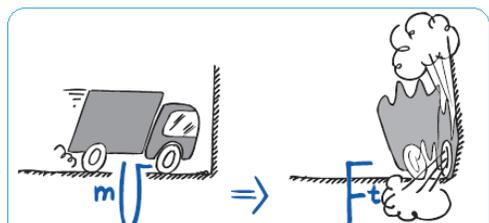
**FIGURA 3**  
La fuerza del impacto contra una pelota de golf varía en todo el impacto.

### Caso 2: disminución de la cantidad de movimiento

Imagina que estás en un automóvil sin ningún control, y puedes optar por chocarlo contra un muro de concreto o contra un montón de paja. No necesitas saber mucha física para optar por lo mejor; pero ciertos conocimientos de esta ciencia te ayudarán a comprender por qué pegar contra algo suave es muy distinto a pegar contra algo duro. En el caso de chocar contra el muro o contra un pajar para detenerte requiere el *mismo* impulso, para disminuir tu cantidad de movimiento a cero. El mismo impulso significa igual *producto* de fuerza y tiempo, no la misma fuerza ni el mismo tiempo. Puedes elegir. Si chocas contra el montón de paja en vez de contra el muro, ampliarás el *tiempo durante el cual tu cantidad de movimiento baja a cero*. Un intervalo de tiempo mayor reduce la fuerza y disminuye la aceleración que resulta. Por ejemplo, si prolongas 100 veces el tiempo del impacto, reduces 100 veces la fuerza del impacto. Siempre que queramos que la fuerza sea pequeña, aumentaremos el tiempo de contacto. Es por esto que se utilizan tableros acojinados y bolsas de aire en los automóviles.



Un cambio de cantidad de movimiento durante un tiempo largo requiere una fuerza pequeña.

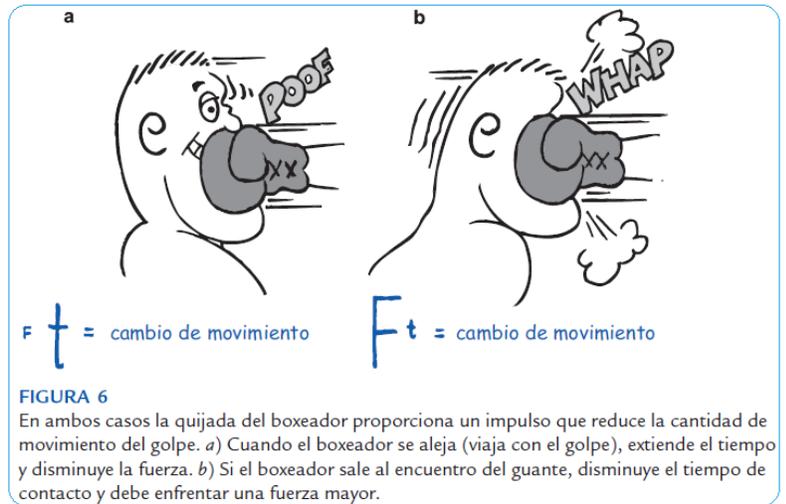


Un cambio de cantidad de movimiento durante un tiempo corto requiere una fuerza grande.



Cuando alguien que salta desde una posición elevada hasta el suelo, ¿qué sucede si mantiene sus piernas estiradas y rígidas? ¡Ouch! En vez de ello, dobla las rodillas cuando sus pies hacen contacto con el suelo, aumentando así el tiempo durante el cual la cantidad de movimiento se reduce, 10 o 20 veces, en comparación con el tiempo de contacto con suelo con las piernas rígidas. La fuerza resultante sobre los huesos se reduce de 10 a 20 veces. Un luchador que se avienta al piso intenta ampliar su tiempo de impacto con la lona del cuadrilátero relajando sus músculos y ampliando el impacto a más partes de su cuerpo: pie, rodilla, cadera, costillas y hombros que sucesivamente golpean contra la lona. Desde luego, caer sobre la lona es preferible a estrellarse contra un piso sólido porque aquélla también incrementa el tiempo durante el cual las fuerzas actúan.

La red de seguridad que utilizan los acróbatas del circo es un buen ejemplo de cómo alcanzar el impulso necesario para una caída segura. La red de seguridad reduce la fuerza que experimenta un acróbata que cae, aumentando sustancialmente el intervalo de tiempo durante el cual actúa la fuerza. Si estás jugando béisbol y vas a atrapar una bola rápida a mano limpia, pones la mano hacia adelante para tener mucho espacio para que retroceda, después de hacer contacto con la bola. Así, prolongas el tiempo de impacto y en consecuencia reduces la fuerza del impacto. De igual modo, un boxeador se flexiona o cabecea el golpe, para reducir la fuerza del impacto (figura 6).



### Caso 3: disminución de la cantidad de movimiento durante corto tiempo

Si estás boxeando y avanzas al encuentro de un golpe en vez de alejarte de éste, te meterás en problemas. Lo mismo sucede, si atrapas una bola rápida moviendo la mano hacia ella, en vez de retrocederla, para tener el contacto. O cuando en un automóvil sin control lo chocas contra un muro de concreto, en vez de hacerlo contra un montón de paja. En esos casos de tiempos de impacto cortos, las fuerzas de impacto son grandes. Recuerda que para que un objeto se detenga hasta el reposo, el impulso es igual, sin importar cómo se detuvo. Pero si el tiempo es corto, la fuerza será grande.

La idea del tiempo corto de contacto explica cómo una experta en karate puede romper una pila de ladrillos con el golpe de su mano desnuda (figura 7). Lleva el brazo y la mano rápidamente contra los ladrillos, con una cantidad de movimiento apreciable. Esta cantidad de movimiento se reduce con rapidez al trasladar un impulso a los ladrillos. El impulso es la fuerza de la mano contra los ladrillos, multiplicada por el tiempo que hace contacto con ellos. Si la ejecución es rápida, hace que el tiempo de contacto sea muy breve y, en consecuencia, la fuerza de impacto es enorme. Si ella hace que la mano rebote en el impacto, la fuerza será todavía mayor.



**FIGURA 7**  
 Cassy imparte un gran impulso a los ladrillos, durante un tiempo corto, y produce una fuerza considerable.



## Examínate 2

1. Si el boxeador de la figura 6 puede prolongar tres veces la duración del impacto cabeceando el golpe, ¿en cuánto se reducirá esa fuerza de impacto?
2. Si en vez de ello el boxeador busca *encontrarse* con el golpe para disminuir la duración del impacto a la mitad, ¿en cuánto aumentará la fuerza de impacto?
3. Un boxeador es alcanzado por un golpe, y lo cabecea para aumentar el tiempo y alcanzar los mejores resultados; en tanto que un experto en karate entrega su fuerza durante un intervalo corto, para obtener mejores resultados. ¿No hay una contradicción aquí?
4. ¿En qué caso el impulso es igual a la cantidad de movimiento?

## Rebote

Sabes muy bien que si un florero cae de un armario hasta tu cabeza, tendrás problemas. Y si rebota en tu cabeza el problema será más grave. ¿Por qué? Por qué los impulsos son mayores cuando un objeto rebota. El impulso necesario para hacer que un objeto se detenga para luego, de hecho, “devolver el golpe”, es mayor que el necesario tan sólo para detenerlo. Por ejemplo, supón que atrapas el florero con las manos. En ese caso, proporcionas un impulso para reducir su cantidad de movimiento a cero. Pero si después tuvieras que lanzar el florero hacia arriba, deberías proporcionarle un impulso adicional. Este incremento en la cantidad de impulso es la misma que tu cabeza suministra cuando el florero rebota en ella.

El hecho de que los impulsos sean mayores cuando hay rebotes se usó con mucho éxito en California en los días de la fiebre del oro. Las ruedas hidráulicas que se usaban en minería para la extracción del oro no eran eficaces. Un hombre llamado Lester A. Pelton observó que el problema eran las aspas planas de las ruedas. Entonces diseñó unas aspas curvas que hacían que el agua que llegaba hiciera una vuelta en U al impacto con ellas, es decir, que “rebotara”. De este modo, el impulso ejercido sobre la rueda aumentó bastante. Pelton patentó su idea, la rueda de Pelton, y probablemente hizo más dinero con ella que la mayoría de los mineros con el oro que extrajeron. La física puede enriquecer tu vida en muchas formas.



La rueda de Pelton. Las aspas curvadas hacen que el agua rebote y haga una vuelta en U, lo cual produce mayor impulso para hacer girar la rueda.



### Examínate 1

1. Ambos tienen la misma cantidad de movimiento ( $1 \text{ ton} \times 100 \text{ km/h} = 2 \text{ ton} \times 50 \text{ km/h}$ ).
2. No, el impulso no es algo que *tenga* un objeto. Es lo que puede *suministrar* o puede *sentir* un objeto cuando interactúa con otro objeto. Un objeto no puede tener impulso, al igual que no puede tener fuerza.
3. Sí, pero como velocidad en sentido relativo, esto es, con respecto a un marco de referencia que con frecuencia se toma como la superficie de la Tierra. La cantidad de movimiento que posee un objeto en movimiento, con respecto a un punto estacionario sobre la Tierra puede ser muy distinta de la que posee con respecto a otro objeto en movimiento.
4. El cañón largo ejercerá mayor impulso porque la fuerza actúa durante un periodo más largo. (Un impulso más grande producirá un cambio mayor en la cantidad de movimiento, de manera que un cañón grande ejercerá mayor rapidez a una bala que un cañón corto.)

### Examínate 1

1. La fuerza del impacto será tres veces menor que si no retrocediera.
2. La fuerza del impacto será dos veces mayor que si mantuviera su cabeza inmóvil. Los impactos de este tipo son causa frecuente de nocauts.
3. No hay contradicción, porque los mejores resultados de cada caso son muy distintos. El mejor resultado para el boxeador es que la fuerza se reduzca, lo cual se logra maximizando el tiempo. El mejor resultado para la karateca es que la fuerza sea grande, y se dé en el tiempo mínimo.
4. En general, el impulso es igual al *cambio* de cantidad de movimiento. Si la cantidad de movimiento inicial de un objeto es cero al aplicar el impulso, entonces el impulso = cantidad de movimiento final. Y si un objeto se lleva al reposo, entonces impulso = cantidad de movimiento inicial