

# ¿DE QUÉ MANERA SE DESCRIBEN LOS **MOVIMIENTOS?**





- ¿Qué tienen en común las imágenes presentadas en estas páginas?
- ¿Cómo te puedes dar cuenta de que un cuerpo se mueve?

## EL MOVIMIENTO RELATIVO



## Para comenzar

Formen parejas y observen la siguiente secuencia de imágenes.



↑ Felipe se encuentra detenido respecto de la calle y observa que viene el autobús.



↑ Al subirse, el autobús se pone en movimiento respecto de la calle. Después, Felipe se encuentra en reposo respecto de una amiga que camina por el pasillo del autobús.



↑ Al mirar por la ventana, observa un automóvil que se mueve respecto de la calle, sin embargo, parece estar detenido respecto del autobús.



↑ Al descender del autobús, el punto de vista de Felipe cambia y lo ve alejarse respecto de la calle.

- ¿De qué manera están presentes los conceptos de movimiento y reposo en la situación?
- ¿Es posible afirmar que Felipe está en reposo dentro del autobús? Explica.
- ¿Por qué el automóvil parece estar detenido respecto del autobús?

## ¿Qué es un sistema de referencia?

Cada vez que buscamos una dirección en una ciudad, necesitamos de al menos un **punto de referencia**. Este es un lugar desde donde se determina la posición de un cuerpo. Un **sistema de referencias** es un objeto que posee una forma relativamente estable (idealmente un sólido) que se emplea para referirse al movimiento de otros objetos. Un **sistema de coordenadas** es un eje o sistema de ejes asociados, con el propósito de especificar posiciones de objetos, por medio de coordenadas, tal como analizaremos a continuación.

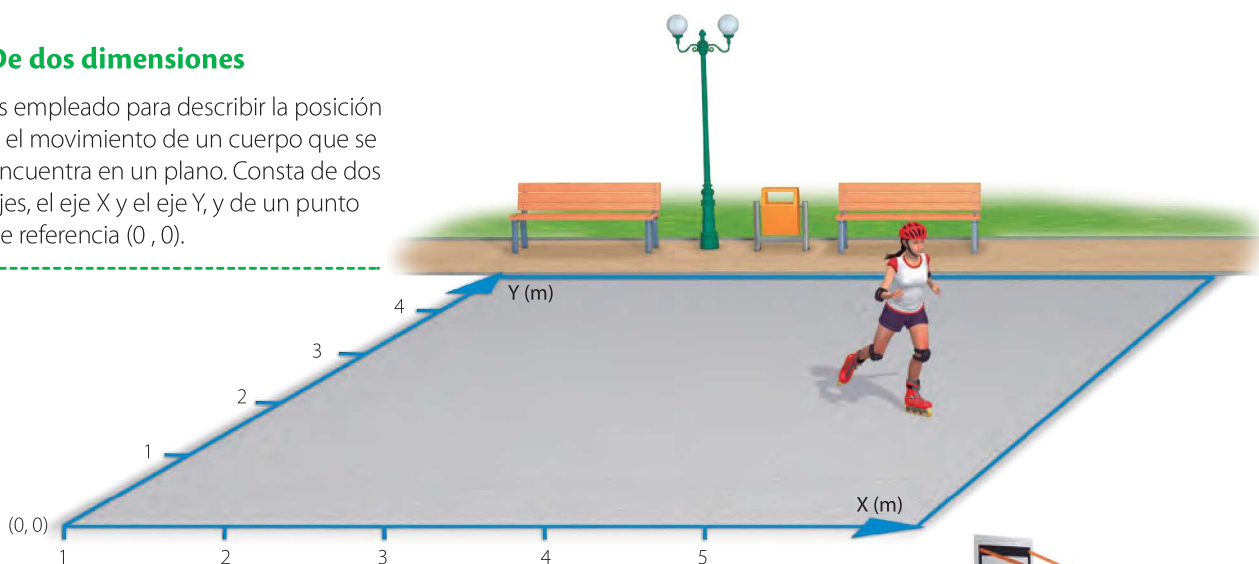
### De una dimensión

Es útil para describir la posición o el movimiento de un cuerpo que se encuentra sobre una línea recta. Consta de un eje horizontal (X) y de un origen (0).



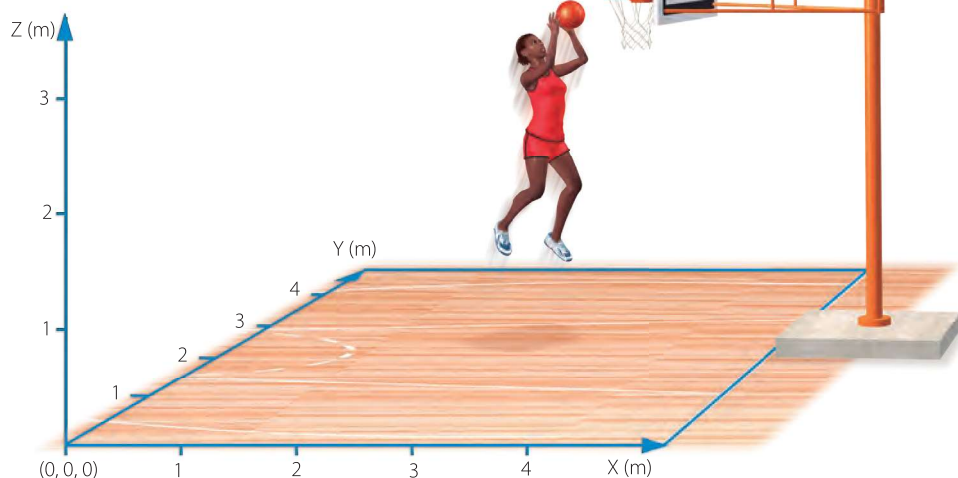
### De dos dimensiones

Es empleado para describir la posición o el movimiento de un cuerpo que se encuentra en un plano. Consta de dos ejes, el eje X y el eje Y, y de un punto de referencia (0, 0).



### De tres dimensiones

Un sistema de coordenadas de tres dimensiones consta de tres ejes coordenados, X, Y y Z.



## ¿Qué parámetros se usan para describir el movimiento?

### La posición

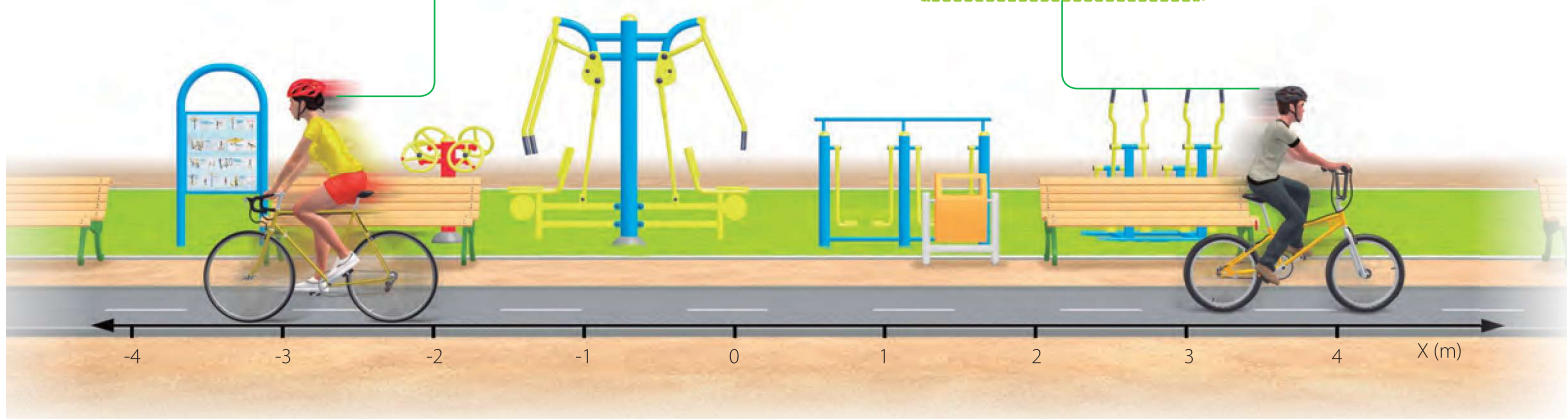
La **posición** de un cuerpo aporta información respecto de su distancia al punto de referencia, y de su orientación y sentido (en caso de que se mueva). Por ello, la posición es una **magnitud vectorial**. Analicemos el siguiente ejemplo:

#### ¡Importante!

Una magnitud vectorial, además de un valor numérico, requiere de una dirección y un sentido.

La posición de la ciclista respecto del "0" (considerando el extremo trasero de su rueda) es de  $\vec{x} = (-2)$  m.

La posición del segundo ciclista es de  $\vec{x} = (3)$  m.



### La distancia recorrida y el desplazamiento

Para ir del punto A hasta B, una joven emplea dos caminos diferentes.

En el primer trayecto, camina desde su derecha hasta llegar al punto B.

A: Posición inicial

En el segundo trayecto recorre desde su izquierda hasta llegar al punto B.

La **distancia recorrida** es la longitud del trayecto.

$\Delta\vec{x}$

B: Posición final

El **desplazamiento** ( $\Delta\vec{x}$ ) es el cambio de posición, independiente de la distancia recorrida.

## La rapidez y la velocidad

### ACTIVIDAD

Una persona va de A hasta B por el camino señalado, tardando cinco minutos en hacerlo.

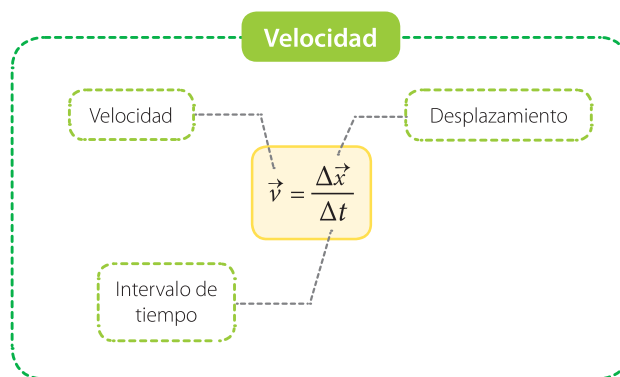
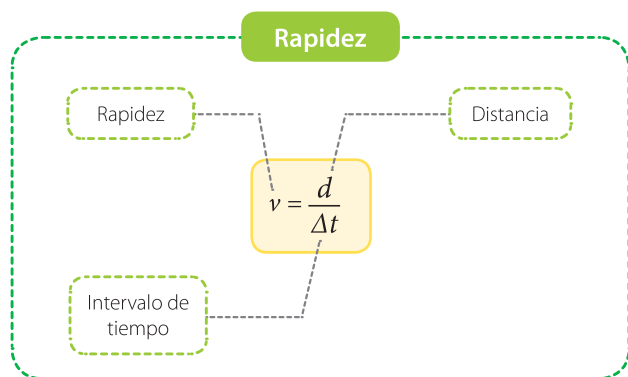


- ¿Cuál es la distancia que recorrió?, ¿cuál fue su desplazamiento?
- ¿Qué valor resulta al dividir la distancia recorrida por el tiempo (en segundos)? ¿Cuál es el resultado de dividir el desplazamiento por el tiempo?
- ¿Difieren los valores anteriores?, ¿qué piensan que representa cada uno?

Es habitual pensar que los conceptos de rapidez y velocidad son lo mismo. Sin embargo, cada uno de ellos representa algo distinto. La **rapidez media** da cuenta de qué tan deprisa se mueve un objeto, y es la distancia recorrida por unidad de tiempo. Por otra parte, la **velocidad** de un cuerpo corresponde a su desplazamiento por unidad de tiempo. En el SI, ambas se miden en m/s.

### ¡Importante!

La velocidad es una magnitud vectorial y la rapidez una magnitud escalar.



## La relatividad del movimiento

Un objeto es soltado desde el mástil de un barco en movimiento, tal como se representa a continuación:



F2P134



Un observador al interior del barco vería que al caer, el objeto describe una trayectoria recta, como si el sistema (barco) se encontrara en reposo.

↑ Supón que el viento no afecta el movimiento del objeto en caída.



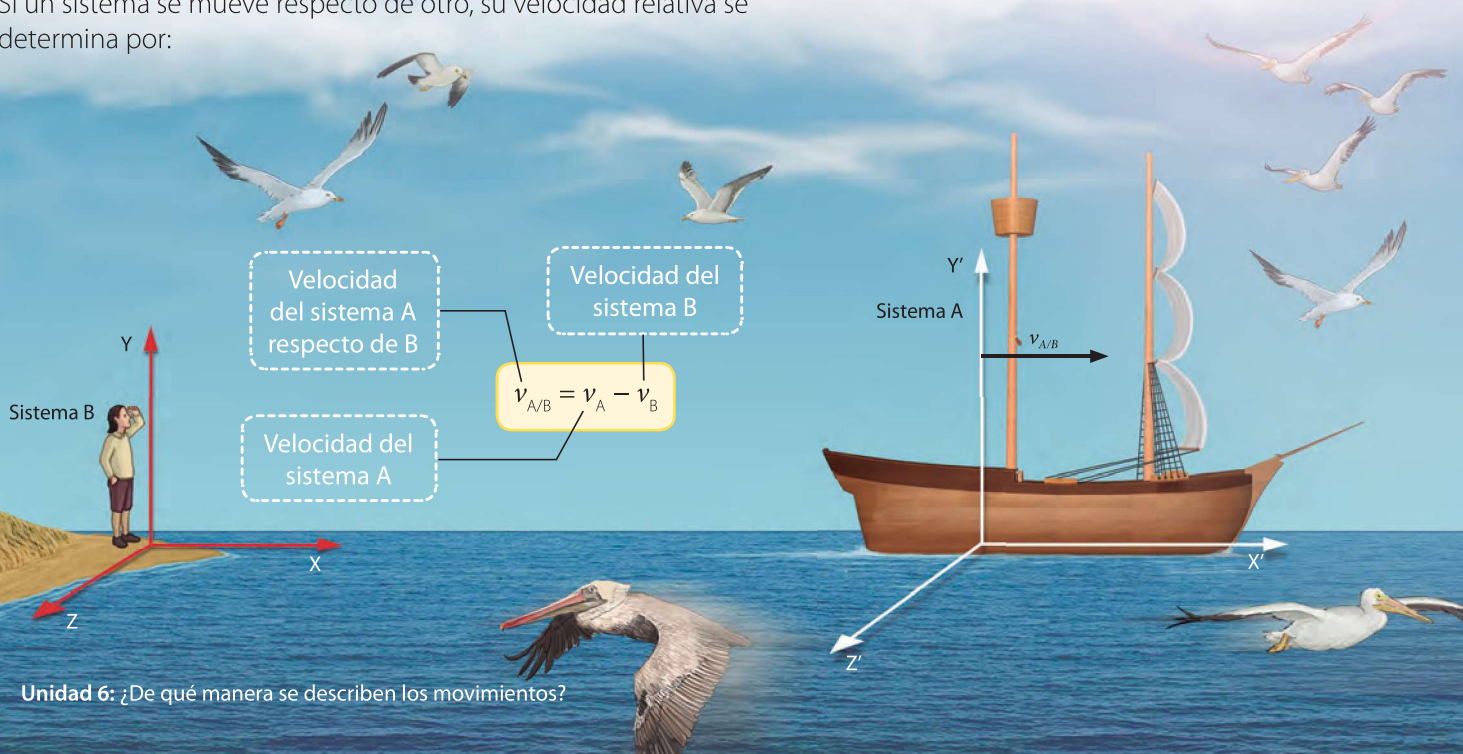
En cambio, un observador en el muelle vería que al caer, el objeto describe una trayectoria curva.

El **movimiento es relativo** con respecto al sistema de referencia que escojamos. A partir de esto, es posible comprender que ciertos conceptos, como el **reposo**, solo son válidos en determinados contextos, ya que un cuerpo puede estar en movimiento respecto de un sistema de referencia y, a la vez, en reposo respecto de otro. También, un cuerpo puede describir una trayectoria curva respecto de un sistema de referencias y, a la vez, una trayectoria rectilínea respecto de otro.

La relatividad del movimiento fue estudiada y presentada por primera vez en forma explícita por Galileo Galilei (incluida la fórmula de más abajo). La relatividad de Galileo poco tiene que ver con la teoría de la relatividad de Einstein.

## La velocidad relativa

Si un sistema se mueve respecto de otro, su velocidad relativa se determina por:



# INVESTIGACIÓN PASO A PASO

## La forma de la trayectoria de un objeto en movimiento, ¿depende de quien la observe?

### Paso 1 Planifico y ejecuto una investigación

Materiales: dos celulares y una pelotita.



↑ Un integrante debe soltar la pelota desde 1 m de altura, mientras graba con su celular y camina (el trayecto debe estar despejado para no tropezar). Simultáneamente, otro integrante del grupo debe grabar a su compañero mientras deja caer el objeto.

### Paso 2 Organizo y analizo los resultados

- Analicen los videos que registraron la trayectoria del objeto en caída.
- ¿Cómo fueron las trayectorias del objeto respecto de cada uno de los estudiantes? Describan.

### Paso 3 Concluyo

- Considerando lo observado, ¿qué piensan que es el movimiento relativo?, ¿de qué manera está presente en la actividad?
- ¿De qué modo les ayudó en la realización de la actividad el uso de los teléfonos celulares?

## EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO



## Para comenzar



Materiales: un riel de un metro de largo, cronómetro y bolitas.



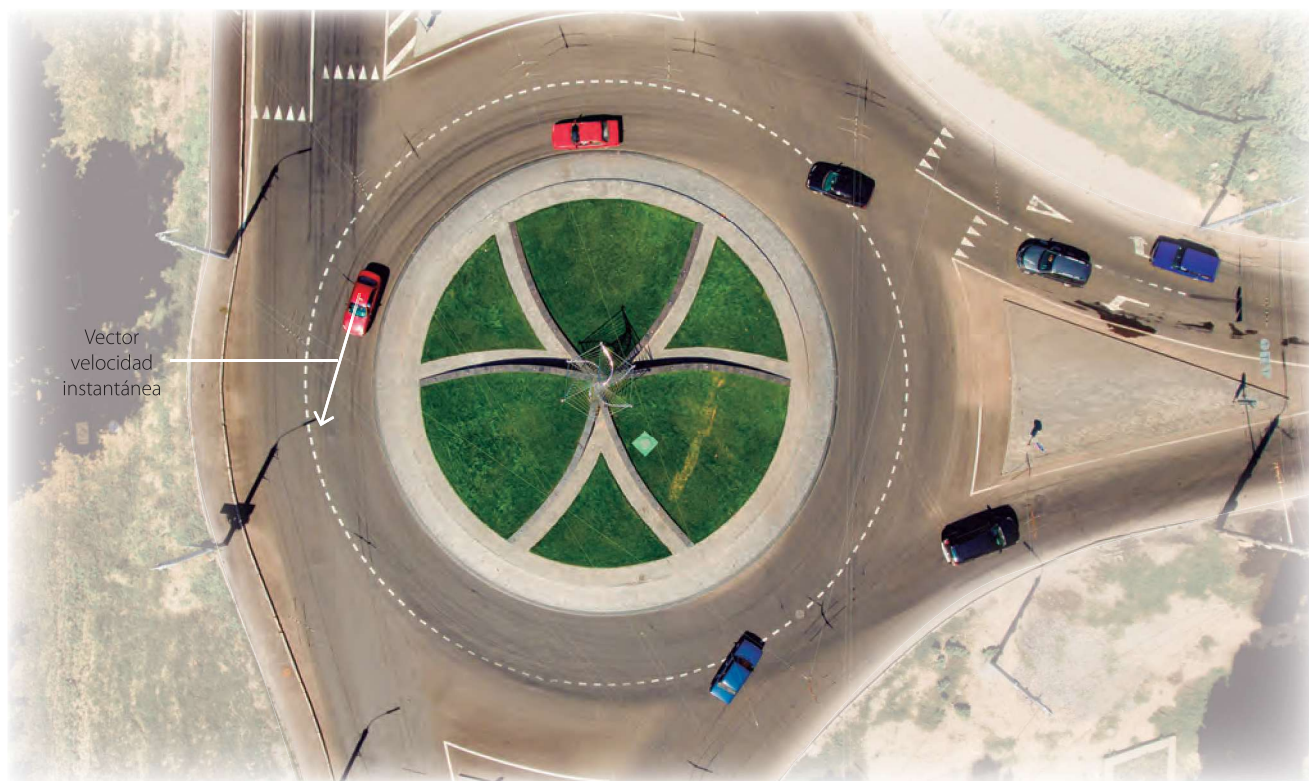
Denle un impulso a la bolita y registren de forma simultánea el tiempo que tarda en recorrer el riel. ¿Qué magnitud da cuenta de la distancia recorrida por unidad de tiempo?

## La rapidez y la velocidad en el movimiento rectilíneo

Para comprender los conceptos de rapidez y velocidad, observa la imagen y lee los textos asociados.

La rapidez de la deportista en un instante determinado corresponde a la **rapidez instantánea**. Por otro lado, su **velocidad instantánea** corresponde al cambio de posición que experimenta en un instante.





↑ Cuando un cuerpo describe una trayectoria curva, el vector velocidad instantánea es tangente a esta.

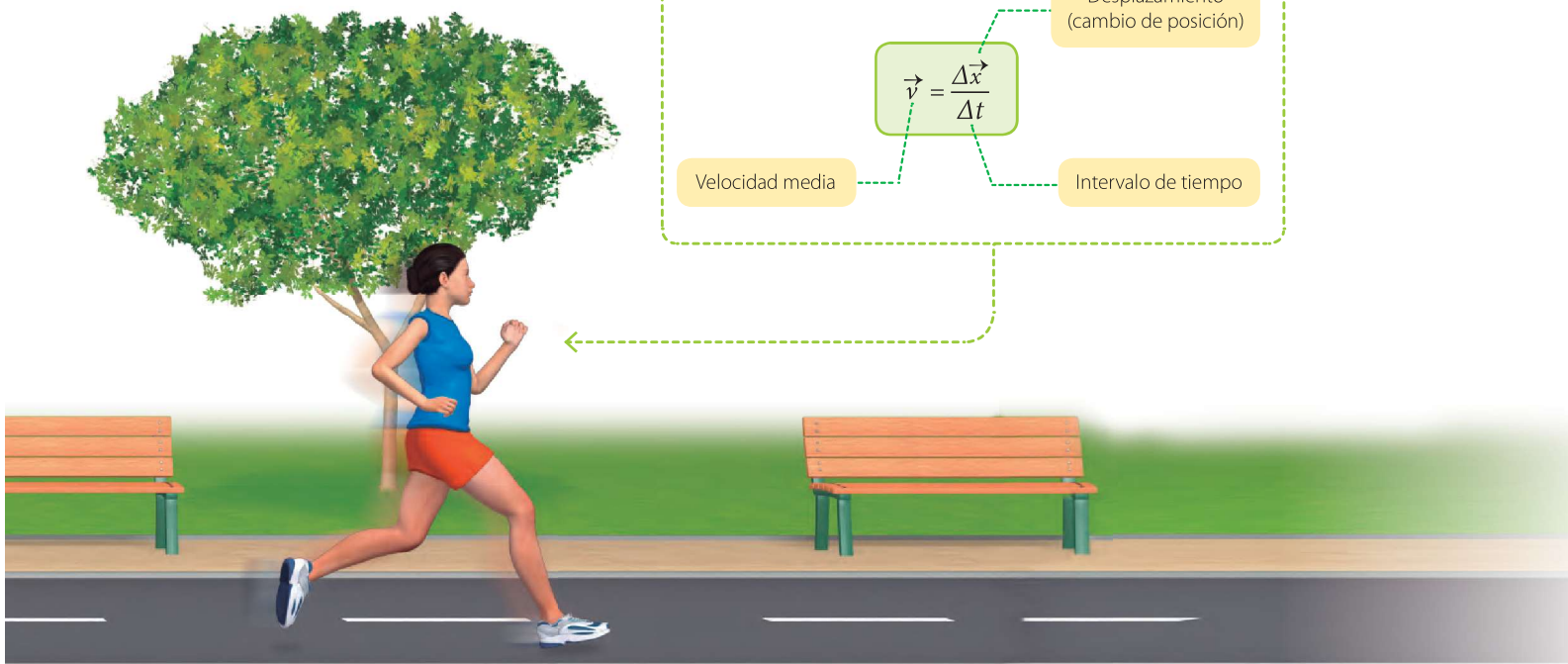
A la distancia recorrida por la deportista por unidad de tiempo se le denomina **rapidez media**. En cambio, la **velocidad media** de ella entrega información respecto a qué tan deprisa cambia de posición. Su modelo matemático es:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$$

Desplazamiento  
(cambio de posición)

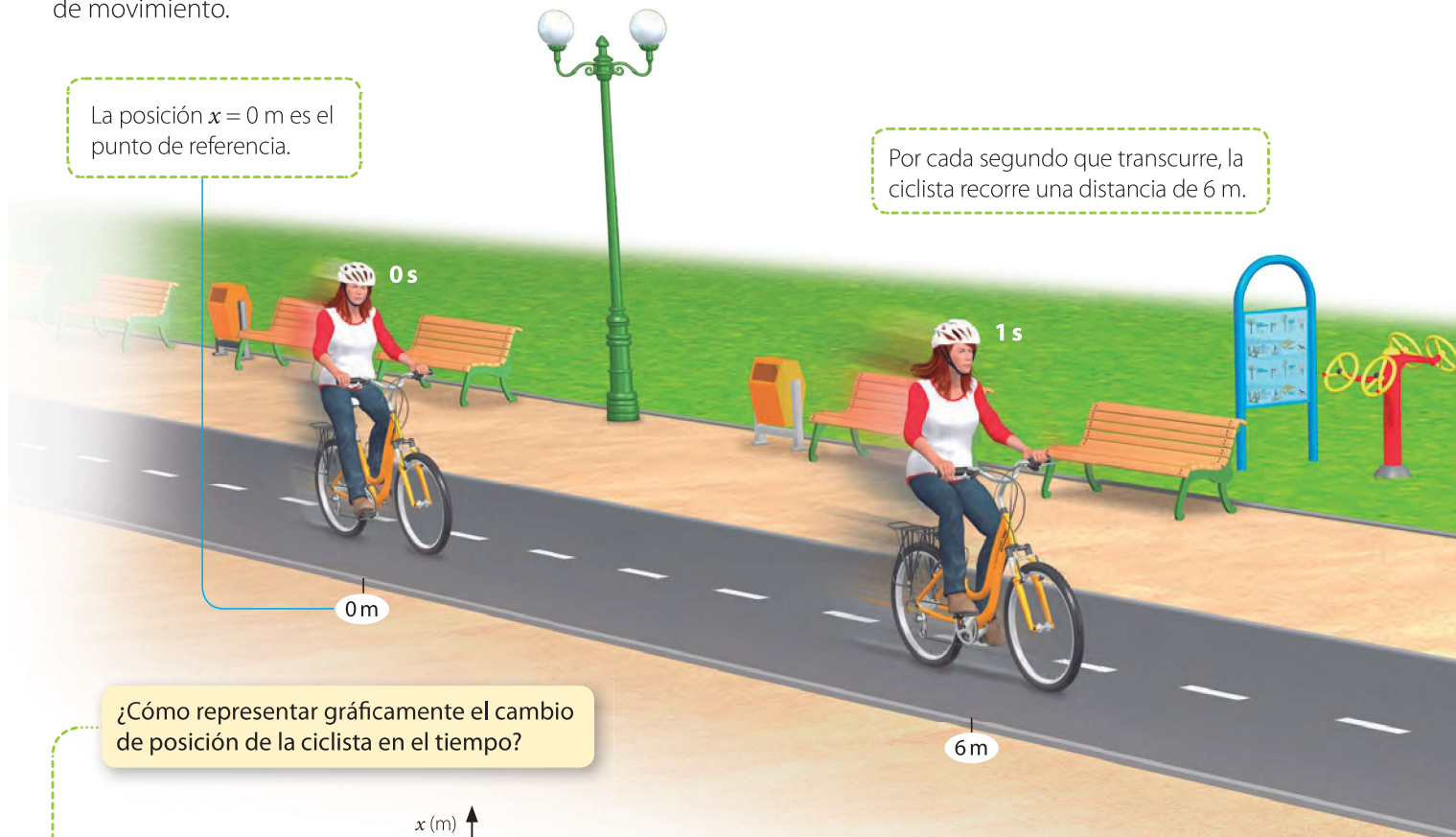
Velocidad media

Intervalo de tiempo



## ¿Qué es el movimiento rectilíneo uniforme (MRU)?

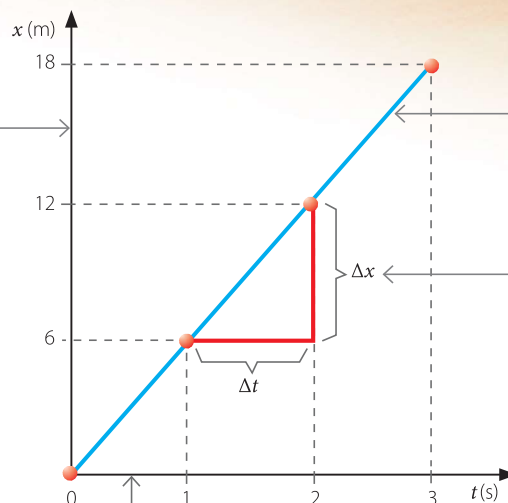
Una ciclista se mueve en línea recta y sin cambiar el sentido de su movimiento, de manera tal que recorre distancias iguales en tiempos iguales (velocidad y rapidez constante). Cuando esto sucede, decimos que el movimiento es **rectilíneo uniforme (MRU)**. Analicemos este tipo de movimiento.



¿Cómo representar gráficamente el cambio de posición de la ciclista en el tiempo?

En el eje vertical se consignan los valores de la posición.

En el eje horizontal se anotan los valores del tiempo.



Para graficar la situación se deben unir los puntos.

La pendiente de la recta corresponde a la velocidad de la ciclista. Es decir:

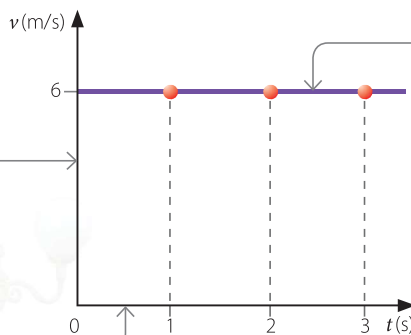
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{12 \text{ m} - 6 \text{ m}}{2 \text{ s} - 1 \text{ s}} = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

¿Cómo piensan que sería el gráfico si la ciclista no partiera del origen del sistema de referencia?

¿Cómo es el gráfico de la velocidad de la ciclista en el transcurso del tiempo?

En el eje vertical se consigna el valor de la velocidad.

En el eje horizontal se consigna el tiempo.



Para graficar la situación se deben ubicar los puntos correspondientes a la velocidad en cada instante. Luego, estos se unen.

Para los datos del gráfico, la distancia recorrida es:

$$d = \text{base} \cdot \text{altura} \\ = 3 \text{ s} \cdot 6 \text{ m/s} = 18 \text{ m}$$

El resultado anterior también corresponde a la magnitud del desplazamiento.

2 s

12 m

3 s

18 m

¿Cómo se puede determinar la posición del cuerpo en un instante determinado?

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \rightarrow \text{Posición final} - \text{posición inicial} = \vec{x}_f - \vec{x}_i$$

Intervalo de tiempo

$$\vec{v} = \frac{\vec{x}_f - \vec{x}_i}{\Delta t} \Rightarrow \vec{x}_f = \vec{x}_i + \vec{v} \cdot \Delta t$$

Para un instante cualquiera, la expresión anterior resulta:

$$\vec{x} = \vec{x}_i + \vec{v} \cdot \Delta t$$

Esta ecuación es conocida como la **ecuación itinerario**.



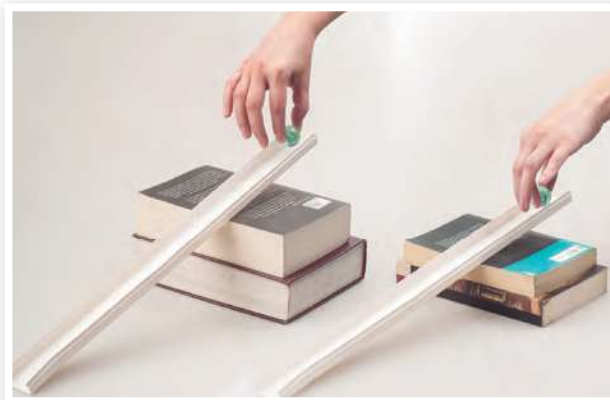
F2P139

## ¿Qué es la aceleración y cómo está presente en los movimientos rectilíneos?

### ACTIVIDAD



Consigan bolitas de igual masa, dos rieles de 40 cm y libros.



Sitúen ambos rieles con diferente inclinación, luego suelten silmultáneamente las bolitas.

- ¿De qué manera varió la velocidad de las bolitas? Describan.
- ¿Cuál de las bolitas alcanzó más rápidamente una mayor velocidad?, ¿cómo lo saben?

En la actividad anterior pudieron comprobar que mientras la bolita descendía por la rampa, la magnitud de su velocidad aumentó. Este cambio de la velocidad se relaciona con una importante magnitud física, la **aceleración**. Analicemos el siguiente ejemplo.

Al momento de iniciar el movimiento, la velocidad del ciclista es cero.

A medida que transcurre el tiempo, el ciclista aumenta la magnitud de su velocidad (rapidez).





¿Piensan que se puede acelerar de manera indefinida?, ¿existirá una velocidad límite en el universo o se podrá alcanzar una velocidad infinita?

↑ Cualquier objeto que parta del reposo, como el disco lanzado por la joven, experimenta un proceso de aceleración.

Mientras el ciclista se encuentre acelerando, la magnitud de su velocidad (rapidez) se incrementará, por lo que para tiempos iguales, este recorrerá distancias cada vez mayores.

Matemáticamente, la **aceleración media** se modela como la razón entre la variación de la velocidad y el tiempo que transcurre en dicha variación. En el Sistema Internacional se mide en  $\text{m/s}^2$ .

Aceleración media

Variación de velocidad:  $\vec{v}_f - \vec{v}_i$

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

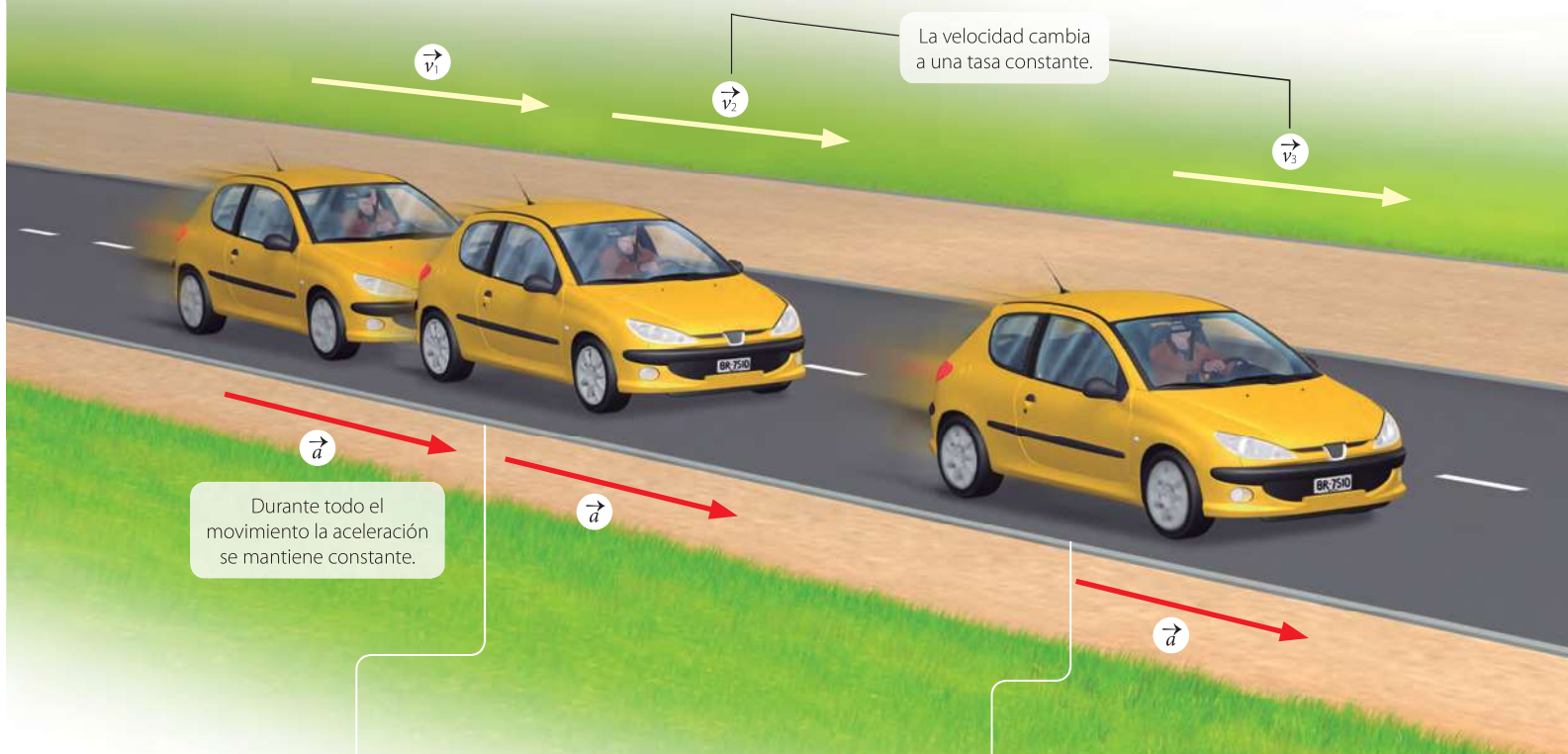
Intervalo de tiempo

Es común pensar que la aceleración se asocia a un aumento en el valor de la velocidad de un cuerpo. Pero en realidad, guarda relación con cualquier tipo de cambio que esta experimente, ya sea la disminución de su valor o el cambio en la dirección del movimiento.



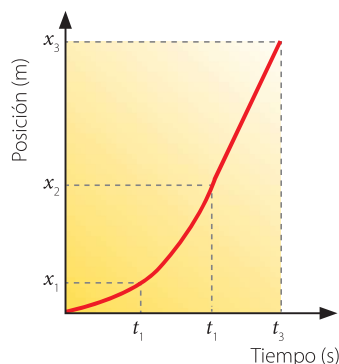
## ¿Qué es el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)?

Si un automóvil que se desplaza en línea recta presenta una aceleración constante (aumenta el valor de su velocidad a un mismo ritmo), entonces, podemos afirmar que posee un **movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)**. Analicemos este tipo de movimiento.

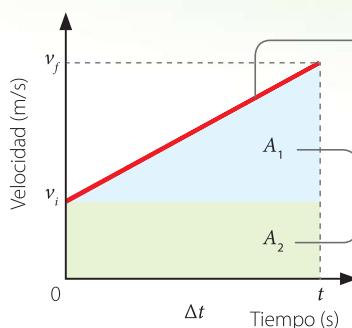


¿Cómo es el gráfico del cambio de posición del automóvil en función del tiempo?

El gráfico de la posición en función del tiempo resulta ser una curva similar a la siguiente:



¿Cómo se representa la velocidad en función del tiempo en un MRUA?



En el gráfico, la pendiente de la recta corresponde a la aceleración media.

Al igual que en el MRU, el área delimitada entre la recta y el eje horizontal corresponde al desplazamiento.

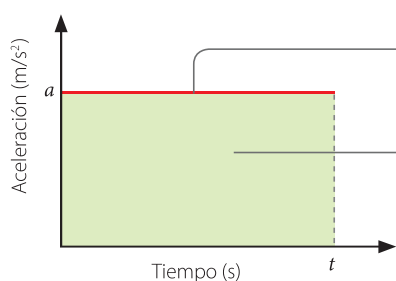
Para la distancia recorrida se puede obtener la siguiente expresión:

$$d = A_1 + A_2 = v_i \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot (v_f - v_i) \cdot \Delta t$$

Si la magnitud de la aceleración es  $a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$ , entonces la expresión resulta:

$$d = v_i \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2$$

¿Cómo se representa la aceleración en función del tiempo en un MRUA?



Como la aceleración es constante, su gráfico es una línea recta paralela al eje del tiempo.

El área limitada entre la recta y el eje horizontal corresponde al cambio de velocidad  $\Delta v$ .



F2P143



¿Qué movimiento que conozcas se puede asemejar a un MRUA?



### Algunos modelos matemáticos asociados al MRUA

A continuación, se presentan los modelos matemáticos más característicos del MRUA.

$$v_f = v_i + a \cdot \Delta t$$

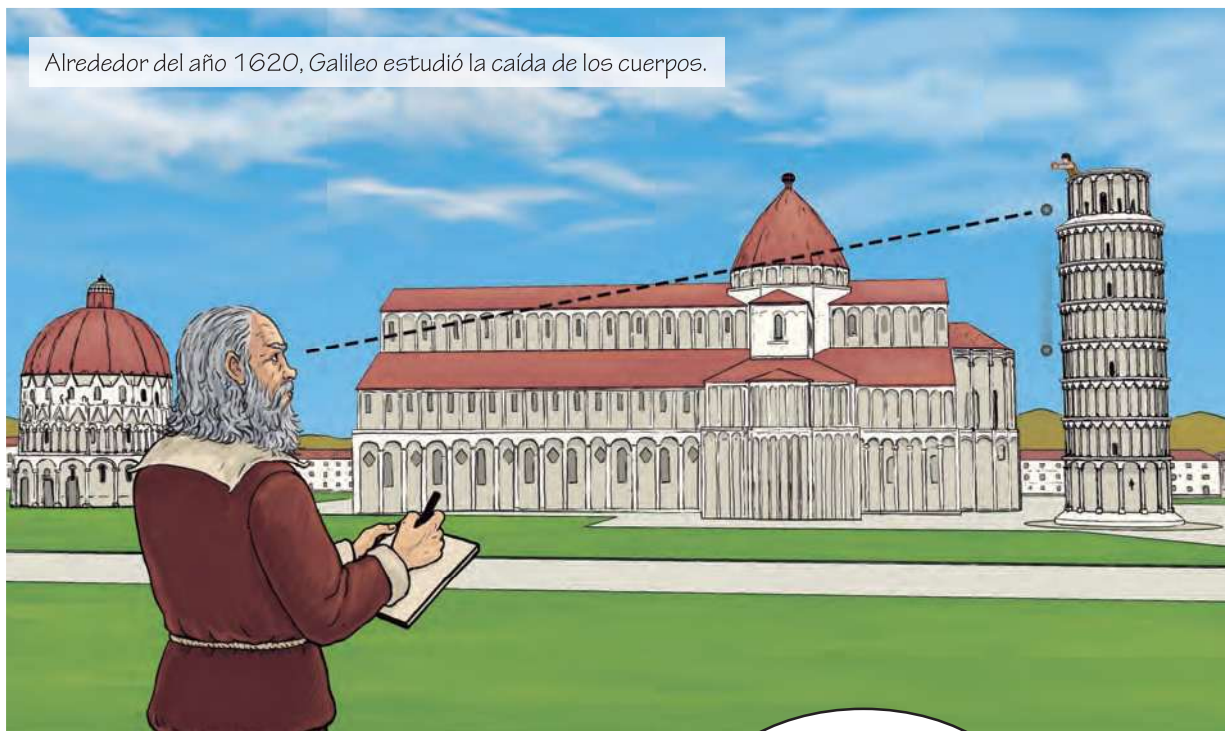
$$v_f^2 = v_i^2 + 2a \cdot \Delta x$$

$$x_f = x_i + v_i \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a \cdot \Delta t^2$$

Donde:  $v_f$  = magnitud de la velocidad final;  $v_i$  = magnitud de la velocidad inicial;  $a$  = magnitud de la aceleración;  $x_f$  = magnitud de la posición final;  $x_i$  = magnitud de la posición inicial y  $\Delta t$  = tiempo.

## La caída libre y el lanzamiento vertical

Alrededor del año 1620, Galileo estudió la caída de los cuerpos.

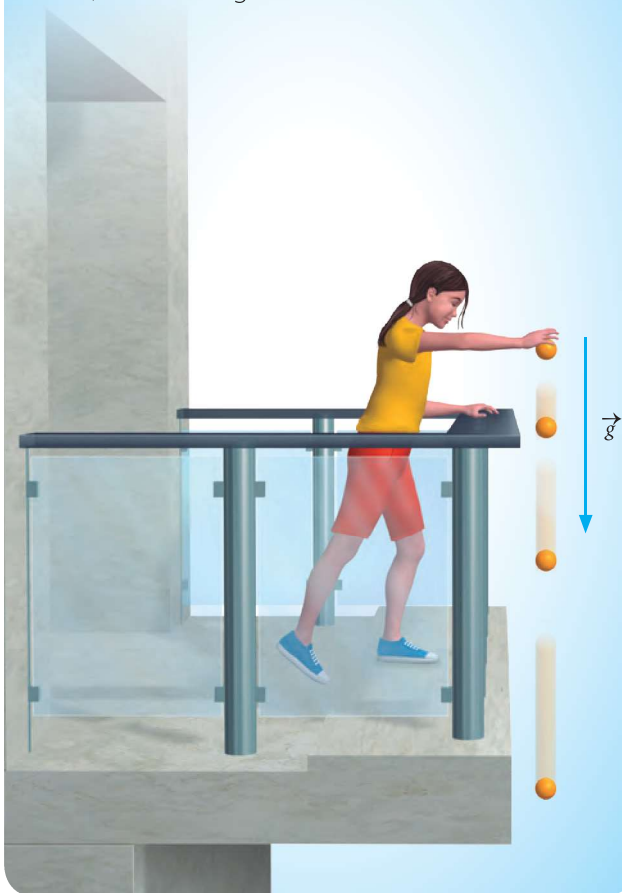


Para estudiar la caída libre de un cuerpo, Galileo tuvo que recurrir a planos inclinados. Él dedujo que en este fenómeno la posición ( $y$ ) cambiaba de forma proporcional al cuadrado del tiempo ( $t^2$ ).

La caída de los cuerpos se debe a la fuerza de atracción gravitacional que ejerce la Tierra sobre aquellos que se encuentran en la cercanía de su superficie, y es un movimiento con aceleración constante (aceleración de gravedad  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ), por lo que es un ejemplo de MRUA.

## Caída libre

Cada vez que un cuerpo es dejado caer de cierta altura, su velocidad inicial es cero. Por cada segundo de caída, el cuerpo incrementa en 9,8 m/s la magnitud de su velocidad.



## Lanzamiento vertical

Al lanzar verticalmente un cuerpo, la velocidad máxima de este se produce justo en el instante del lanzamiento. Al alcanzar la altura máxima, el movimiento cambia de sentido y se convierte en caída libre.



## Ecuaciones de caída libre y lanzamiento vertical

$$\vec{v}_f = \vec{v}_i + \vec{g} \cdot \Delta t$$

$$\vec{y}_f = \vec{y}_i + \vec{v}_i \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot \vec{g} \cdot \Delta t^2$$

## ¡Importante!

En la caída libre de un cuerpo se debe considerar que velocidad inicial es cero, además de despreciar el roce con el aire y el del empuje.

## ACTIVIDAD

Los datos de un cuerpo que cae se muestran en la tabla.

| Posición (m) | Tiempo (s) |
|--------------|------------|
| 10,0         | 0,00       |
| 9,69         | 0,25       |
| 8,78         | 0,50       |
| 7,24         | 0,75       |
| 5,1          | 1,00       |

- ¿De qué altura fue dejado caer el cuerpo?
- Construyan un gráfico de la posición en función del tiempo.

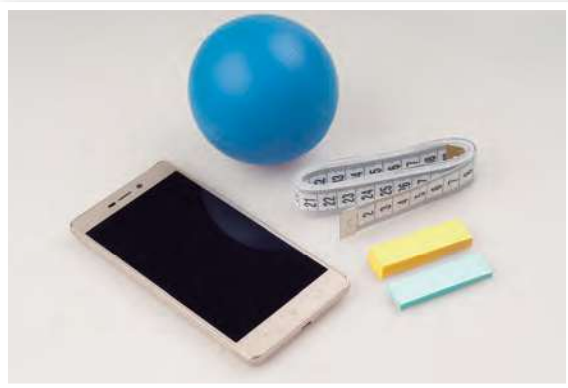


F2P145

# INVESTIGACIÓN PASO A PASO

## ¿De qué forma se puede analizar la caída de un cuerpo?

### Paso 1 Planifico y ejecuto una investigación



Materiales: un teléfono celular, una pelota, papeles adhesivos de colores y cinta métrica.



Descarguen en su celular una aplicación gratuita que les permita reproducir videos en cámara lenta.

Desde una altura de 2,1 m peguen marcas en el muro, espaciadas 70 cm una de otra. Luego, suelten la pelota y graben simultáneamente un video.

### Paso 2 Organizo y analizo los resultados

- a. Reproduzcan el video en cámara lenta, pausándolo para saber en qué tiempo la pelota pasó por cada marca. Completen la siguiente tabla.

| Altura de la marca (m) | Tiempo (s) |
|------------------------|------------|
| 2,1                    | 0          |
| 1,4                    |            |
| 0,7                    |            |
| 0                      |            |

- b. ¿Cómo varió el tiempo que tardó la pelota en recorrer tramos iguales?



### Paso 3 Concluyo y comunico

- a. ¿Qué aspectos mejorarían de la actividad realizada?
- b. Para comunicar su experimento, elaboren un afiche.

## EL IMPACTO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD

### Aplicando la propagación rectilínea de la luz

La luz es un ejemplo de un movimiento rectilíneo con velocidad constante. Sin embargo, debemos considerar que la luz no es un objeto como aquellos que vemos habitualmente. El hecho de que la luz se propague en línea recta tiene múltiples aplicaciones, ya que los láseres permiten realizar medidas muy precisas en áreas como la geología y astronomía.

¿Qué otras aplicaciones tiene la propagación rectilínea de la luz?

↑ El telescopio VLT, situado en el norte de Chile, emplea un potente láser, cuyo propósito es informar al observatorio de las condiciones atmosféricas y, usando la óptica adaptativa, deformar la curvatura del espejo objetivo, con el fin de reducir las titilaciones o refracción variable que produce el aire atmosférico.

Fuente: Archivo editorial/ESO

### Proyecto Andes: un laboratorio subterráneo entre Chile y Argentina

El proyecto, impulsado por Argentina, Chile, Brasil y México, busca instalar un laboratorio a 1750 m bajo la cordillera de los Andes para estudiar el movimiento de neutrinos. En Chile, el proyecto es liderado por el investigador Claudio Dib.

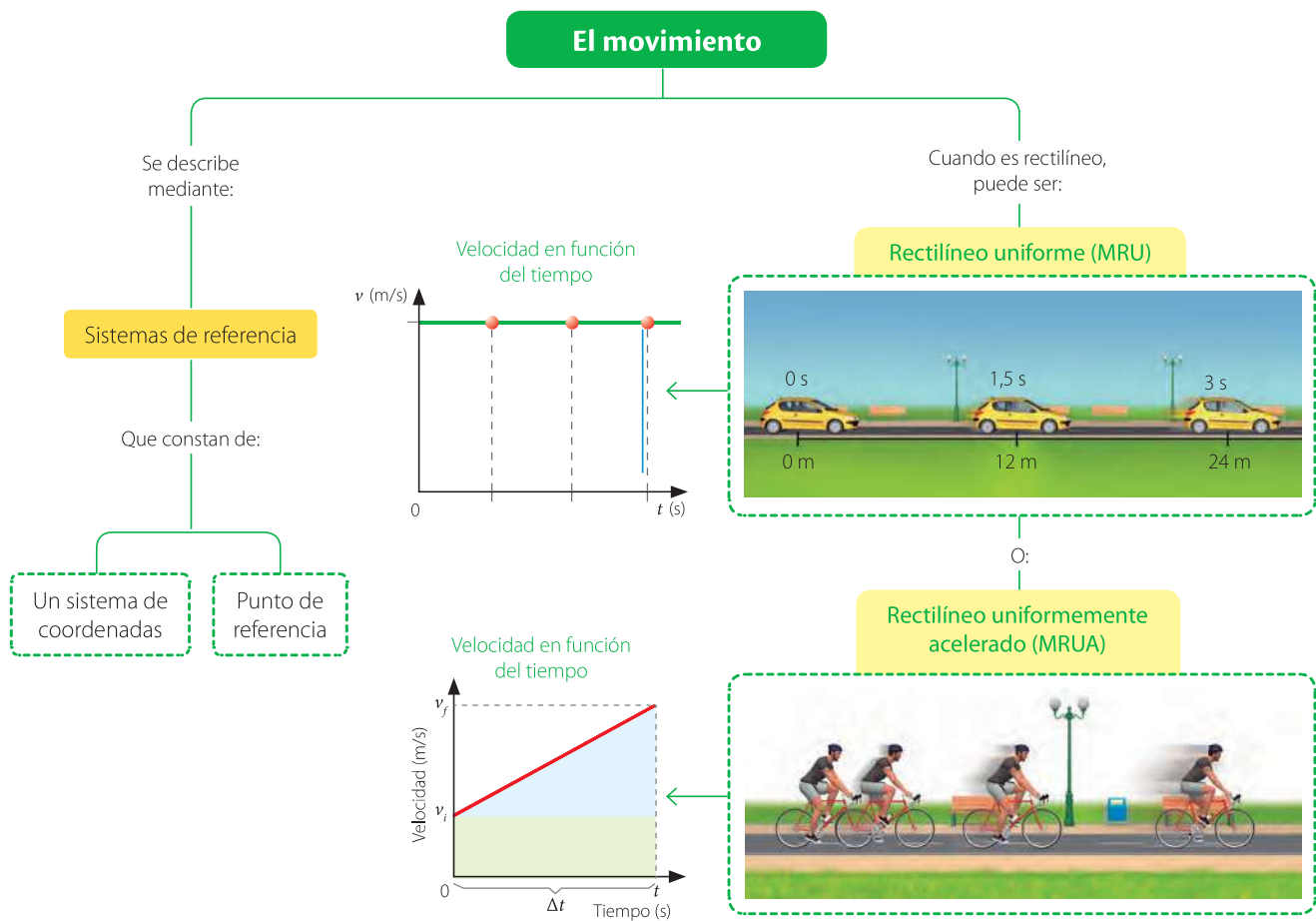


↑ Esquema del laboratorio que se pretende construir.

Fuente: <http://andeslab.org/>

# SÍNTESIS Y EVALUACIÓN

## Para sintetizar



## Para saber cómo voy

Identifica y explica

1. Carolina lanza un balón hacia arriba.



¿Qué tipo de movimiento es? ¿Cómo varía dicho movimiento en el tiempo?

Predice

2. Una camioneta lanza pelotas desde su parte posterior y en sentido contrario a su movimiento.



¿Cómo serán las trayectorias de las pelotas vistas desde la orilla del camino?