

# ¿Qué es una onda?

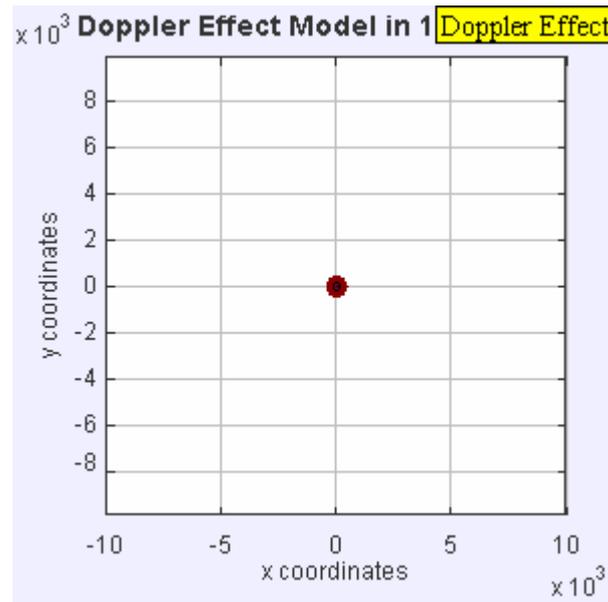
Pensamos usualmente en una mano ondulando.

Es una *perturbación* que viaja, generalmente a través de un medio.



Las “olas” que se forman en el agua son un ejemplo de onda.

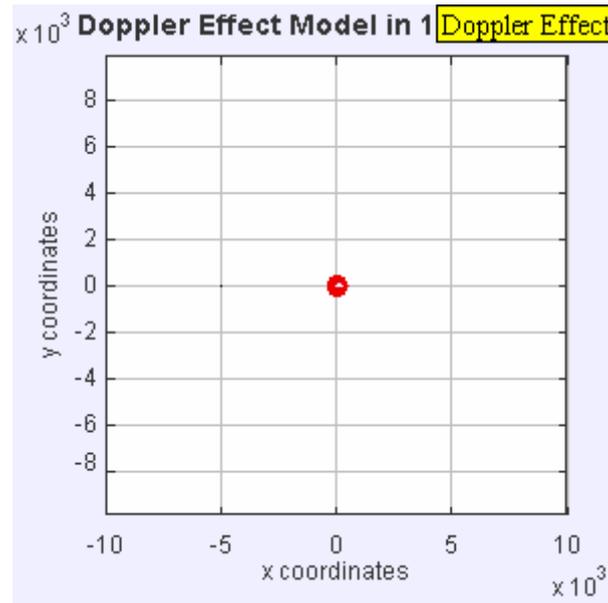
# El efecto Doppler



Ondas emitidas por una fuente estacionaria

Cada línea azul muestra la posición del máximo de la onda de sonido

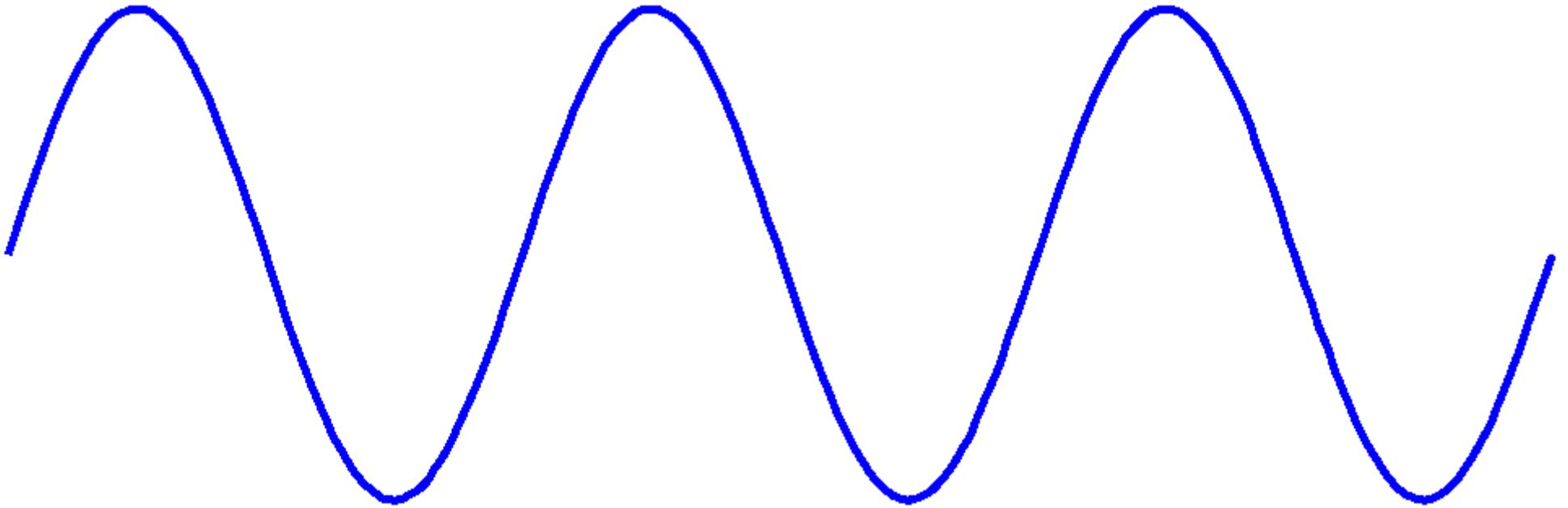
# El efecto Doppler



Ondas emitidas por una fuente *en movimiento*

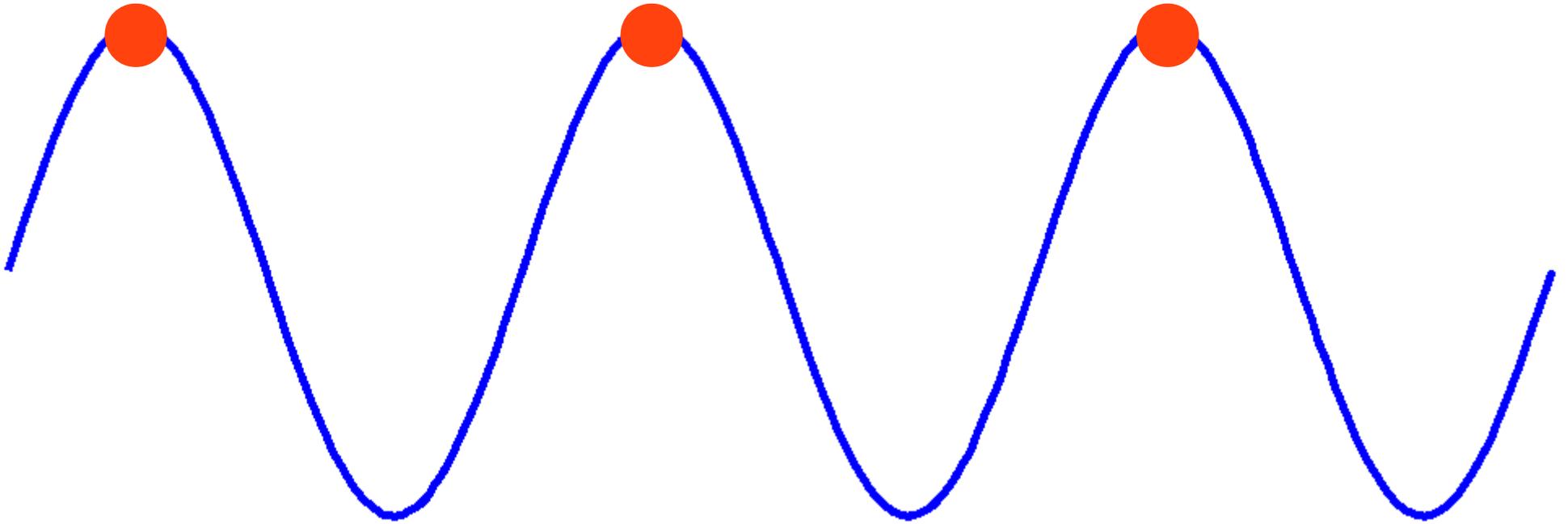
Cada línea azul muestra la posición del máximo de la onda de sonido

# La analogía mecánica



El concepto más sencillo de onda que viaja es un seno o un coseno.

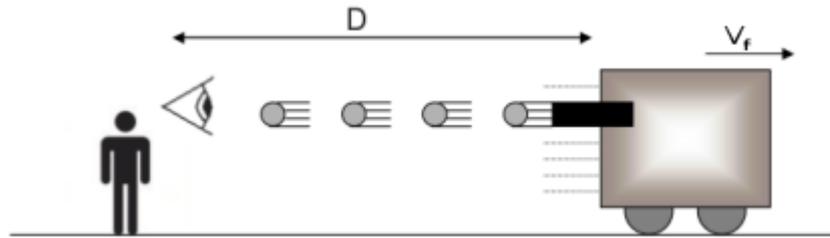
# La analogía mecánica



En la analogía mecánica, pensamos que en cada máximo de la onda hay una pelotita que “viaja” con la onda.

# Estudiando el efecto Doppler *mecánico*

En vez de salir una onda, estudiamos cada uno de los máximos de ella como una pelotita que viaja a velocidad  $c$ .



Para estudiar entonces el efecto Doppler con esta analogía, vamos a suponer un caso en el que el auto se aleja a una velocidad constante de un observador que está parado, en reposo. Consideramos que a tiempo 0, el observador y el auto están a una distancia  $D$ , como en la figura.

# Estudiando el efecto Doppler *mecánico*

En un caso que se asemeja al del video, la velocidad del auto (la fuente) es  $v = 60 \text{ km/h}$  y la bocina tiene una frecuencia de  $f = 200 \text{ Hz}$ . La velocidad del sonido en el aire es  $c = 330 \text{ m/s}$ .

**Pregunta 1:** ¿Cuánto vale el período de esta bocina?

**Respuesta:** El período de una onda es siempre  $T = 1/f$ . En este caso,

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{200 \text{ Hz}} = 0.005 \text{ s}$$

# Estudiando el efecto Doppler *mecánico*

**Pregunta 2:** Una pelotita que sale del auto a tiempo  $t_0 = 0$ , ¿a qué tiempo  $t_1$  llega al observador?

**Respuesta:** Como está a una distancia  $D$  y la velocidad de las pelotitas es  $c$ , el tiempo que tarda en viajar esa distancia es

$$t_1 = \frac{D}{c}$$

# Estudiando el efecto Doppler *mecánico*

**Pregunta 3:** ¿A qué tiempo sale la siguiente pelotita? En ese momento, ¿a qué distancia se encuentra el auto del observador?

**Respuesta:** Al ser el período  $T$ , y el tiempo en el que salió la primera pelotita  $0$ , la segunda pelotita sale a tiempo  $T$ . En ese tiempo, el auto se desplazó, de acuerdo a la ecuación de MRU, a una distancia

$$D_2 = D + v_{\text{fuente}} T$$

# Estudiando el efecto Doppler *mecánico*

**Pregunta 4:** ¿A qué tiempo  $t_2$  llega esa pelotita al observador?

**Respuesta:** De acuerdo a la distancia calculada en el punto anterior, y recordando que *el tiempo inicial en el que parte la pelotita es  $T$* , la pelotita llega entonces en:

$$t_2 = \frac{D_2}{c} + T = \frac{D + v_{\text{fuente}} T}{c} + T$$

# Estudiando el efecto Doppler *mecánico*

**Pregunta 5:** ¿Cuál es el período  $T_{\text{obs}} = t_2 - t_1$  ? ¿Con qué frecuencia  $f_{\text{obs}}$  llega el sonido, de acuerdo a nuestra analogía mecánica? ¿Cómo se compara con la frecuencia de la fuente  $f_{\text{fuente}}$ ?

**Respuesta:** Para encontrar el período, simplemente tenemos que restar los dos resultados anteriores:

$$T_{\text{obs}} = t_2 - t_1 = \frac{D + v_{\text{fuente}} T}{c} + T - \frac{D}{c}$$

# Estudiando el efecto Doppler *mecánico*

**Pregunta 5:** ¿Cuál es el período  $T_{\text{obs}} = t_2 - t_1$  ? ¿Con qué frecuencia  $f_{\text{obs}}$  llega el sonido, de acuerdo a nuestra analogía mecánica? ¿Cómo se compara con la frecuencia de la fuente  $f_{\text{fuente}}$ ?

**Respuesta:** Para encontrar el período, simplemente tenemos que restar los dos resultados anteriores:

$$T_{\text{obs}} = t_2 - t_1 = \frac{D + v_{\text{fuente}} T}{c} + T - \frac{D}{c}$$

$$T_{\text{obs}} = T \frac{c + v_{\text{fuente}}}{c}$$

# Estudiando el efecto Doppler *mecánico*

**Pregunta 5:** ¿Cuál es el período  $T_{\text{obs}} = t_2 - t_1$  ? ¿Con qué frecuencia  $f_{\text{obs}}$  llega el sonido, de acuerdo a nuestra analogía mecánica? ¿Cómo se compara con la frecuencia de la fuente  $f_{\text{fuente}}$ ?

**Respuesta (sigue):** Como el período es la inversa de la frecuencia, sólo hay que invertir la relación anterior y obtenemos

$$f_{\text{obs}} = f \frac{c}{c + v_{\text{fuente}}}$$

Todos los números son positivos y, en conclusión, la frecuencia que oye el observador es *menor* que la frecuencia en la que se emitió.

# Estudiando el efecto Doppler *mecánico*

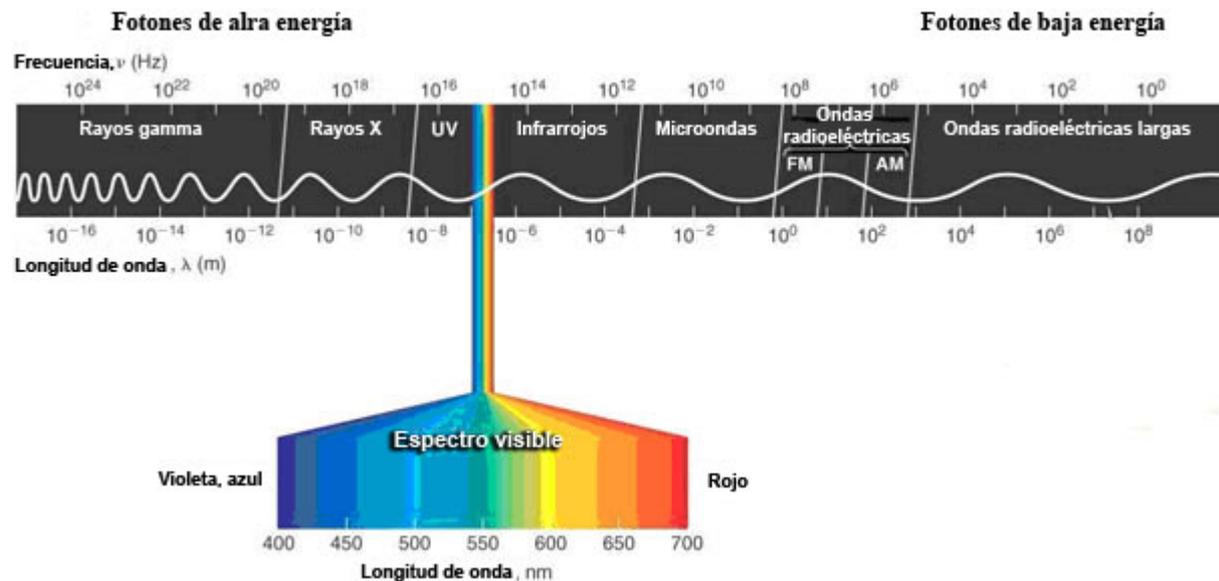
**Pregunta 6:** ¿Cómo explican el sonido que escuchamos, en el video, cuando se acercaba y se alejaba? *Extra:* ¿Por qué el sonido del auto no cambia abruptamente?

**Respuesta:** Podemos concluir, del mismo modo, que cuando el auto se acerca al observador, la frecuencia *aumenta*. Así, cuando el auto se acerca, la frecuencia es mayor (se oye más agudo) y cuando se aleja es menor (más grave).

Sin embargo, el sonido no cambia abruptamente porque el auto está a cierta distancia del observador. Entonces, la velocidad del auto *no está en la misma dirección* que la propagación de la onda que escuchamos

# ¿El efecto Doppler sólo se ve en el sonido?

Además del sonido y los ejemplos que vimos antes, otra onda muy usual es la luz (*las ondas electromagnéticas*).



Estas ondas, en ciertos valores de frecuencias, son visibles. De acuerdo a la frecuencia que tomen en este espectro, vemos colores distintos.

# ¿El efecto Doppler sólo se ve en el sonido?

Con la luz hay muchas cosas diferentes respecto del problema anterior, pero las más importantes son:

- No hay *un medio* en el que se propague (como el *aire* para el sonido, o el *agua* para la ola). La luz se puede propagar en el total *vacío*.
- A esas velocidades, ¿no podemos evitar los efectos de la relatividad!

# ¿El efecto Doppler sólo se ve en el sonido?

Sin embargo, la general de la ley se cumple como en el caso anterior: cuando el emisor de luz se aleja de nosotros, la frecuencia baja; cuando se acerca, sube. (La expresión es un poco distinta)

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fuente}} \sqrt{\frac{c - v}{c + v}}$$

Esto se llama *efecto Doppler relativista*.

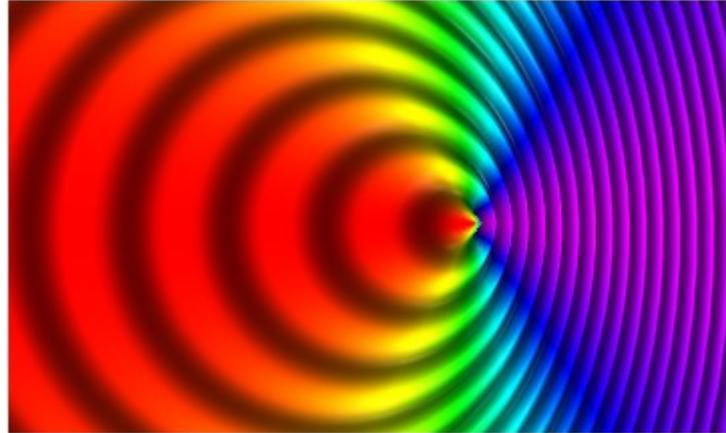
# Efecto Doppler relativista

Sin embargo, la general de la ley se cumple como en el caso anterior: cuando el emisor de luz se aleja de nosotros, la frecuencia baja; cuando se acerca, sube. (La expresión es un poco distinta)

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fuente}} \sqrt{\frac{c - v}{c + v}}$$

Esto se llama *efecto Doppler relativista*.

# Efecto Doppler relativista



En este ejemplo, la fuente se está moviendo hacia la derecha. Los puntos que están *detrás* de la fuente, tienen color más rojo (menor frecuencia), mientras que los que están delante van hacia el violeta (mayor frecuencia)