Ondas: ecuación, magnitudes y fenómenos ondulatorios

Test de 10 preguntas y flashcards de este tema en **farmeandopau.com** ›

Última revisión: 1 de noviembre de 2026.

Escanea y haz el test del tema

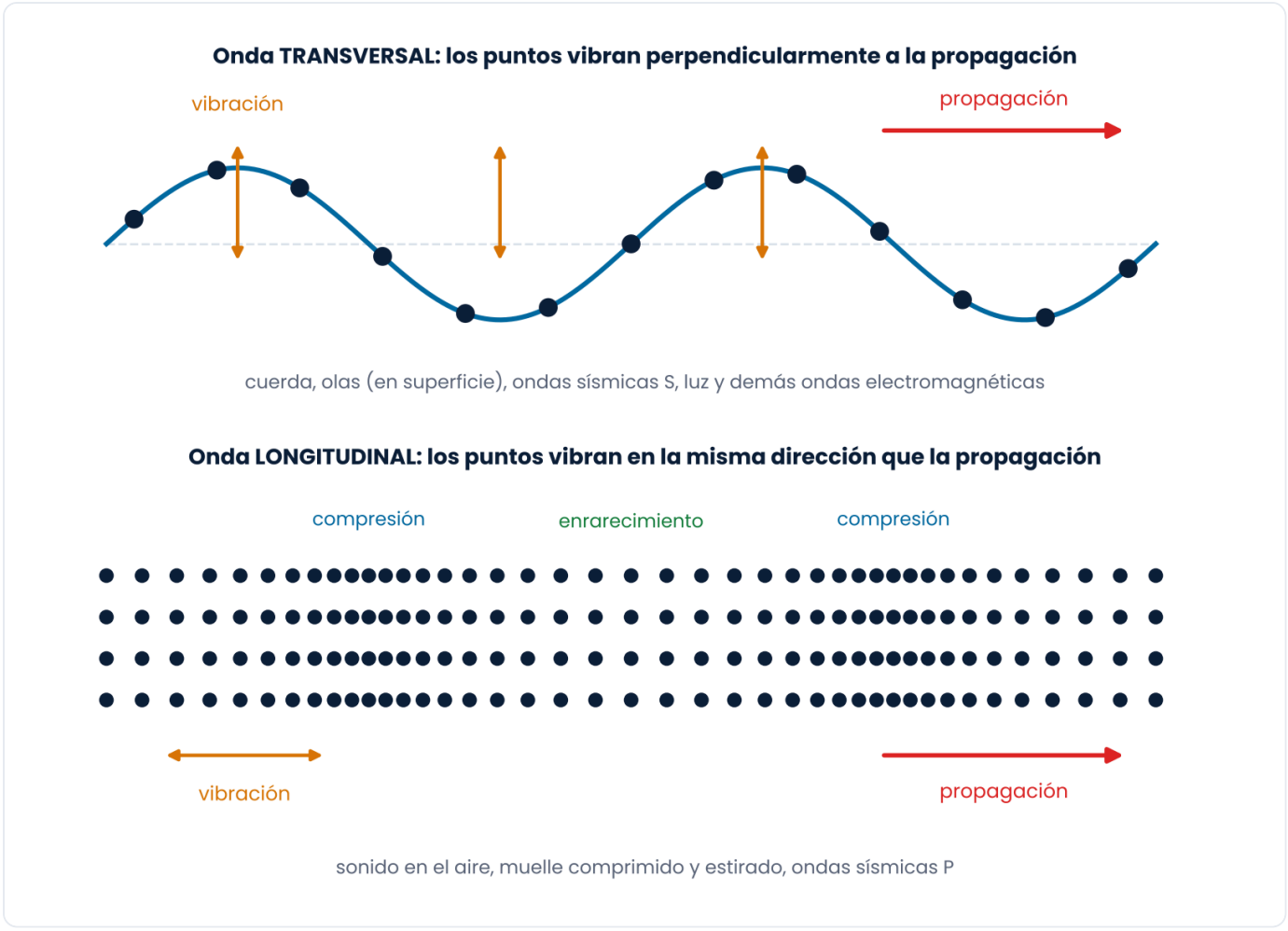
LA IDEA EN 30 SEGUNDOS

Una onda propaga **energía sin transportar materia**. Lo que más cae es la **ecuación de la onda armónica** $y(x,t) = A\,\mathrm{sen}(\omega t \mp kx + \varphi_0)$: leer A, λ, T, f, v y el **sentido**, escribirla con sus condiciones iniciales o a partir de **gráficas**, calcular la **velocidad de vibración** (no es la de propagación) y el **desfase**. Eso sale en 41 de las 68 convocatorias de 2025 y 2026, en las 17 comunidades. Los **fenómenos** (ondas **estacionarias** en cuerdas y tubos, interferencia) salen en 9, en 5 comunidades. El tema entero cae en 46 de 68.

1 Qué es una onda y cómo se clasifica

Una **onda** es la propagación de una **perturbación** (un cambio de posición, de presión, de campo eléctrico…) de un punto a otro del espacio. Lo que viaja es la perturbación y su **energía**: las partículas del medio solo vibran alrededor de su posición de equilibrio y **no avanzan con la onda**. Un corcho en un estanque sube y baja cuando pasa la ola, pero no se va con ella.

- **Mecánicas y electromagnéticas.** Las mecánicas (sonido, olas, ondas en una cuerda, ondas sísmicas) necesitan un **medio material** que vibre. Las electromagnéticas (luz, radio, rayos X) son campos $\vec{E}$ y $\vec{B}$ que oscilan y se propagan **también en el vacío**, a $c \approx 3{,}00 \cdot 10^8$ m/s (lo ves en el Tema 15).
- **Transversales y longitudinales.** En una onda **transversal** los puntos vibran **perpendicularmente** a la dirección de propagación (cuerda, ondas sísmicas S, luz). En una **longitudinal** vibran **en la misma dirección** en que avanza la onda y forman compresiones y enrarecimientos (sonido en el aire, ondas sísmicas P). Las olas del mar no son del todo ni una cosa ni otra (el agua describe trayectorias casi circulares), pero en los exámenes se tratan como transversales.
- **Según las dimensiones** en que se propagan: unidimensionales (cuerda), bidimensionales (superficie del agua) y tridimensionales (sonido, luz). En la PAU casi siempre trabajas con ondas **unidimensionales** que viajan por el eje X; Andalucía lo fija así: «Las cuestiones y problemas sobre ondas armónicas se limitarán al caso de ondas unidimensionales» (Directrices 2026-27).
- **Pulso y onda armónica.** Un pulso es una perturbación aislada. Una **onda armónica** se produce cuando el foco vibra con un **MAS** (Tema 12): todos los puntos del medio repiten ese MAS, con retraso. Es la que se describe con senos y cosenos y la que cae en los problemas.
- **Qué transporta:** energía (y cantidad de movimiento), nunca materia. Por eso un terremoto puede dañar un edificio a cientos de kilómetros del epicentro sin que la roca del epicentro llegue hasta allí.
- **Ondas sísmicas** (contexto que cayó en Andalucía en 2026): las P (primarias) son longitudinales, más rápidas y atraviesan sólidos y líquidos; las S (secundarias) son transversales, más lentas y **no se propagan por los líquidos**. Por eso un sismógrafo registra antes las P que las S.



Onda transversal y onda longitudinal. Arriba, una cuerda: cada punto sube y baja (flechas naranjas) mientras la onda avanza hacia la derecha. Abajo, capas de aire: cada capa va y viene en la dirección de propagación y se forman compresiones y enrarecimientos. Posiciones calculadas con $y = A\,\mathrm{sen}(kx)$ y $s = s_0\,\mathrm{sen}(kx_0)$.

2 Las magnitudes de una onda armónica

Una onda armónica es periódica **en el espacio** y **en el tiempo** (doble periodicidad). Estas son las magnitudes que te piden en casi todos los problemas; apréndete de memoria cómo se relacionan.

- $v = \lambda f$ **es la ecuación clave.** Sale de que la onda avanza una longitud de onda en un periodo: $v = \lambda/T$.
- **La velocidad de propagación depende del medio, no del foco.** En una cuerda depende de su tensión F y de su masa por unidad de longitud μ ($v = \sqrt{F/\mu}$); en el aire, de la temperatura (unos 340 m/s, el valor que suelen dar los exámenes). Si el foco vibra más deprisa, la onda no va más rápida: se acorta λ.
- **La frecuencia la fija el foco** y no cambia cuando la onda pasa a otro medio. Al cambiar de medio cambian v y, con ella, λ: $\lambda_2/\lambda_1 = v_2/v_1$.
- **La amplitud no influye en** v**,** λ **ni** f, pero sí en la energía que transporta la onda (lo ves más abajo, en «Energía e intensidad»).

Magnitud	Qué es	Unidad SI	Relación
Amplitud A	Elongación máxima de un punto del medio	m	—
Longitud de onda λ	Distancia mínima entre dos puntos que vibran **en fase** (dos crestas seguidas)	m	$\lambda = vT$
Periodo T	Tiempo de una oscilación completa de un punto (y lo que tarda la onda en avanzar λ)	s	$T = 1/f$
Frecuencia f	Oscilaciones por segundo	Hz = s^{-1}	$f = 1/T$

Magnitud	Qué es	Unidad SI	Relación
Frecuencia angular ω	Rapidez con que cambia la fase en el tiempo	rad/s	$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$
Número de onda k	Rapidez con que cambia la fase en el espacio	rad/m	$k = 2\pi/\lambda$
Velocidad de propagación v	Rapidez con que avanza la perturbación	m/s	$v = \lambda f = \lambda/T = \omega/k$

Las fases son ángulos en radianes: π rad = 180°.

UNA ONDA QUE CAMBIA DE MEDIO

PAU Andalucía 2026 (ordinaria), Bloque C, a2 (1 punto). Una onda armónica pasa de un medio a otro. La longitud de onda en el segundo medio es la mitad del primero. Obtenga de forma justificada la relación entre: i) (0,5 puntos) las velocidades de propagación de la onda en ambos medios; ii) (0,5 puntos) la velocidad máxima de oscilación en ambos medios si no cambia la amplitud.

Respuesta modelo

i) La frecuencia la impone el foco y **no cambia** al pasar de un medio a otro: $f_1 = f_2 = f$. Como $v = \lambda f$: $\dfrac{v_2}{v_1} = \dfrac{\lambda_2 f}{\lambda_1 f} = \dfrac{\lambda_1/2}{\lambda_1} = \dfrac{1}{2}$. La onda va a **la mitad de velocidad** en el segundo medio. ii) Cada punto hace un MAS de amplitud A y frecuencia angular $\omega = 2\pi f$; derivando $y = A\,\mathrm{sen}(\omega t - kx)$ respecto al tiempo, $v_y = A\omega\cos(\omega t - kx)$, cuyo máximo es $A\omega$. Como A y f no cambian, $\dfrac{v_{\max,2}}{v_{\max,1}} = \dfrac{A \cdot 2\pi f}{A \cdot 2\pi f} = 1$: la velocidad máxima de oscilación es **la misma**.

Por qué puntúa. Es la trampa típica: la velocidad de **propagación** cambia; la de **vibración**, no. Andalucía exige deducir la velocidad máxima de vibración antes de usarla (lista de «Expresiones que siempre se deben deducir» de sus Directrices 2026-27).

Al cambiar de medio

Cambian v y λ; **f, T y ω se conservan**. Si te dicen que la onda «va más despacio», su longitud de onda se acorta en la misma proporción.

3 La ecuación de la onda armónica

Si el foco ($x = 0$) vibra con $y(0,t) = A\,\mathrm{sen}(\omega t + \varphi_0)$ y la onda avanza hacia $+X$ con velocidad v, un punto situado en x repite ese movimiento con un retraso x/v: $y(x,t) = A\,\mathrm{sen}[\omega(t - x/v) + \varphi_0]$. Como $\omega/v = k$, queda la ecuación de la onda.

$$y(x,t) = A\,\mathrm{sen}(\omega t - kx + \varphi_0)\ \ (\text{hacia } +X) \qquad y(x,t) = A\,\mathrm{sen}(\omega t + kx + \varphi_0)\ \ (\text{hacia } -X)$$

- **Sentido de propagación:** si ωt y kx tienen **signos distintos**, la onda va hacia **+X**; si tienen el **mismo signo**, hacia **−X**. El orden da igual: $A\,\mathrm{sen}(kx - \omega t)$ también va hacia +X. Justifícalo así: una cresta tiene fase constante; si $\omega t - kx = \text{cte}$, al crecer t tiene que crecer x.
- **Formas equivalentes** que verás en los enunciados: $A\,\mathrm{sen}\,2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{x}{\lambda}\right)$ (Galicia), $A\cos 2\pi\left(\dfrac{x}{\lambda} - \dfrac{t}{T}\right)$ (Cantabria 2025), $A\,\mathrm{sen}(kx - \omega t)$ (Extremadura), $A\cos(\omega t - kx + \varphi_0)$. Seno y coseno valen igual: $\cos\theta = \mathrm{sen}(\theta + \pi/2)$, así que pasar de una a otra solo cambia la fase inicial en $\pi/2$.
- **Ojo con $A\,\mathrm{sen}(kx - \omega t)$:** es lo mismo que $A\,\mathrm{sen}(\omega t - kx + \pi)$. Las dos formas describen la misma onda con fases iniciales que difieren en π: elige una y no las mezcles al calcular φ_0.
- **Fase y fase inicial.** El argumento $\varphi = \omega t - kx + \varphi_0$ es la **fase** (en radianes). φ_0 es la fase del punto $x = 0$ en $t = 0$ y se saca de las **condiciones iniciales**: con $y(0,0)$ obtienes dos ángulos posibles y con el sentido

de la velocidad de vibración en ese instante eliges uno.

- **Relación con el MAS:** fijado un punto x_1, $y(x_1, t)$ es un MAS de amplitud A y pulsación ω (Tema 12). Fijado un instante t_1, $y(x, t_1)$ es la «foto» de la onda: una sinusoide de periodo espacial λ.
- **Radianes siempre.** kx y ωt son ángulos en radianes: pon la calculadora en modo RAD. En Cantabria, si el resultado está mal porque has evaluado con el argumento en grados, el subapartado vale 0,25 (criterios de 2026).

Saca A, λ (o k) y T (o ω) de los datos: «de cresta a valle» en vertical es $2A$; «entre dos crestas» es λ; «del punto más alto al más bajo» se tarda $T/2$.

↓

Calcula $k = 2\pi/\lambda$ y $\omega = 2\pi/T$ (o $\omega = kv$).

↓

Elige el signo por el sentido de propagación: $\omega t - kx$ hacia +X; $\omega t + kx$ hacia -X. Si no te lo dicen, elige uno y **dilo**.

↓

Impón $y(0, 0)$: tendrás dos valores posibles de φ_0.

↓

Decide con el signo de $v_y = \partial y/\partial t$ en $(0, 0)$ (o con la gráfica) cuál de los dos es.

↓

Escribe la ecuación con números y unidades: «y en m, x en m, t en s» o «(SI)».

LEER LAS MAGNITUDES DE LA ECUACIÓN

PAU Galicia 2025 (ordinaria), Pregunta 3.2.1 (1,5 puntos). La función de onda de una onda armónica que se mueve en una cuerda es y (t, x) = 4 sen [2π (50t − 0,20x)], donde las longitudes se expresan en metros y el tiempo en segundos. Determine: a) la longitud de onda y el período de esta onda; b) la velocidad de propagación y la velocidad máxima de cualquier segmento de la onda.

Respuesta modelo

Comparas con $y = A\,\text{sen}\,2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$. a) $\frac{1}{\lambda} = 0{,}20\ \text{m}^{-1} \Rightarrow \lambda = 5$ m; $\frac{1}{T} = 50\ \text{s}^{-1} \Rightarrow T = 0{,}02$ s. b) $v = \lambda/T = 5/0{,}02 = 250$ m/s, hacia +X (signos distintos). La velocidad de un punto es $v_y = \partial y/\partial t = 4 \cdot 2\pi \cdot 50\cos[2\pi(50t - 0{,}20x)]$; su máximo es $v_{\max} = A\omega = 4 \cdot 100\pi = 400\pi \approx 1{,}26 \cdot 10^3$ m/s.

Por qué puntúa. Son los resultados de la solución oficial de la CiUG ($\lambda = 5$ m; $T = 0{,}02$ s; $v = 250$ m/s; $v_{\max} = 400\pi$ m/s). La amplitud de 4 m es irreal para una cuerda, pero es el dato del enunciado: úsalo tal cual. La misma onda volvió a caer en Galicia en 2026 (ordinaria, 3.2.2).

Lo que dicen las comisiones

Andalucía (Directrices 2026-27): «No se exigirá la demostración matemática de la expresión general de la onda armónica». **La Rioja**: «En los problemas de la prueba no se pedirán demostraciones» (guía 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). **Asturias** da en su solución de 2026 la ecuación con seno y con coseno, y **Madrid** usa las dos formas en sus soluciones de 2026: vale cualquiera si la fase inicial es coherente con ella.

4 Velocidad de vibración, aceleración y desfase

Hay dos velocidades que no debes confundir nunca: la **velocidad de propagación** v (lo rápido que avanza la onda; constante en un medio) y la **velocidad de vibración** v_y (lo rápido que sube y baja un punto; cambia con el tiempo).

$$v_y(x,t) = \frac{\partial y}{\partial t} = A\omega\cos(\omega t - kx + \varphi_0) \qquad a_y(x,t) = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -A\omega^2\,\text{sen}(\omega t - kx + \varphi_0) = -\omega^2 y$$

- **Máximos (dedúcelos así):** como el coseno vale como mucho 1 en valor absoluto, $v_{y,\max} = A\omega$ (al pasar por $y = 0$); como el seno también, $a_{y,\max} = A\omega^2$ (en los extremos, $y = \pm A$). Andalucía las incluye en sus «Expresiones que siempre se deben deducir antes de su aplicación».
- **Si la onda viene con $\operatorname{sen}(kx - \omega t)$,** la derivada respecto a t trae un **signo menos**: $v_y = -A\omega\cos(kx - \omega t)$. Extremadura (criterios de 2025, extraordinaria): «Si olvida el signo negativo de la derivada, pero hace bien el resto, se descuenta un 50% del valor máximo de la cuestión».
- **Desfase entre dos puntos en el mismo instante:** $\Delta\varphi = k\,\Delta x = 2\pi\dfrac{\Delta x}{\lambda}$. **En fase** si $\Delta x = n\lambda$ ($\Delta\varphi = 2n\pi$); en **oposición de fase** si $\Delta x = (2n+1)\lambda/2$ ($\Delta\varphi = (2n+1)\pi$). La distancia mínima entre dos puntos en oposición es $\lambda/2$; entre dos desfasados $\pi/2$, $\lambda/4$.
- **Desfase de un mismo punto entre dos instantes:** $\Delta\varphi = \omega\,\Delta t = 2\pi\dfrac{\Delta t}{T}$. Si $\Delta t = T$, el punto está igual que antes.
- **Si el desfase pasa de 2π,** da el valor que sale ($k\Delta x$) y, si quieres decir en qué estado están los puntos, réstale 2π las veces que haga falta: 10 rad equivalen a $10 - 2\pi \approx 3{,}72$ rad. Andalucía también exige deducir la diferencia de fase entre dos puntos alcanzados por una onda progresiva.

ELONGACIÓN Y VELOCIDAD DE UN PUNTO

PAU Extremadura 2025 (extraordinaria), Pregunta 4 (2,5 puntos). En una cuerda tensa se propaga una onda armónica en la dirección del eje X. La ecuación de la onda viene dada por: y = 0,05 sin(2πx - 4πt), donde y está en metros, x en metros y t en segundos. a) (0,5 puntos) Determina la amplitud, el número de onda y la frecuencia angular de la onda. b) (0,5 puntos) Calcula la frecuencia y la longitud de onda. c) (0,5 puntos) Halla la velocidad de propagación de la onda y especifica su sentido de propagación. d) (0,5 puntos) Calcula la elongación de un punto de la cuerda que se encuentra en el punto x = 2 m en el instante t = 1 s. e) (0,5 puntos) Halla la velocidad de oscilación transversal de dicho punto x = 2 m en el instante t = 1 s.

Respuesta modelo

a) $A = 0{,}05$ m, $k = 2\pi$ rad/m, $\omega = 4\pi$ rad/s. b) $f = \omega/2\pi = 2$ Hz; $\lambda = 2\pi/k = 1$ m. c) $v = \omega/k = 4\pi/2\pi = 2$ m/s, hacia **+X** (kx y ωt con signos distintos). d) $y(2,1) = 0{,}05\,\operatorname{sen}(4\pi - 4\pi) = 0{,}05\,\operatorname{sen} 0 = 0$ m: el punto pasa por la posición de equilibrio. e) $v_y = \dfrac{\partial y}{\partial t} = 0{,}05\cdot(-4\pi)\cos(2\pi x - 4\pi t) = -0{,}2\pi\cos(2\pi x - 4\pi t)$; en $(2,1)$, $v_y = -0{,}2\pi\cos 0 = -0{,}628$ m/s. Está en el equilibrio y baja con la velocidad máxima ($A\omega = 0{,}628$ m/s).

Por qué puntúa. El enunciado escribe «sin» (seno). En e) está el error que el criterio de Extremadura castiga con la mitad del apartado: olvidar el signo menos que sale al derivar $\operatorname{sen}(2\pi x - 4\pi t)$ respecto a t.

FRECUENCIA, LONGITUD DE ONDA Y DESFASE DE UN CABLE

PAU Navarra 2026 (ordinaria), Pregunta 3.A (1,5 puntos). Durante una revisión técnica, se induce una vibración en un extremo de un cable de acero de 30 metros de longitud. El extremo se desplaza verticalmente desde su posición de equilibrio con un movimiento armónico simple de 15 cm de amplitud. Se observa que la onda tarda exactamente 1,2 segundos en recorrer la longitud completa del cable y que la velocidad máxima de vibración de cualquier punto del cable es de 4,5 m/s. a) (1 punto) Calcular la frecuencia y la longitud de onda. b) (0,5 puntos) Determinar la diferencia de fase entre dos puntos del cable situados a una distancia de 1,8 metros entre sí.

Respuesta modelo

a) Velocidad de propagación: $v = 30/1{,}2 = 25$ m/s. De la velocidad máxima de vibración, $v_{\max} = A\omega \Rightarrow \omega = 4{,}5/0{,}15 = 30$ rad/s, así que $f = \omega/2\pi = 4{,}77$ Hz y $\lambda = v/f = 2\pi v/\omega = 2\pi \cdot 25/30 = 5{,}24$ m. b) $k = \omega/v = 30/25 = 1{,}2$ rad/m y $\Delta\varphi = k\,\Delta x = 1{,}2 \cdot 1{,}8 = 2{,}16$ rad (unos $0{,}69\pi$ rad: ni en fase ni en oposición).

Por qué puntúa. Fíjate en cómo se combinan las dos velocidades: la de propagación sale de la distancia y el tiempo; la de vibración te da ω. Navarra no publica solución oficial de este ejercicio.

5 Gráficas y(x) e y(t): la doble periodicidad

Muchos problemas (Madrid, Canarias, la Comunitat Valenciana, Murcia, La Rioja) dan la onda en **gráficas**. Hay dos tipos y tienes que saber cuál es cuál mirando el **eje horizontal**.

- $y(x)$ **en un instante fijo** (eje horizontal: x en m): es una **foto** de la cuerda. La distancia entre dos crestas seguidas (o entre dos cortes con el eje que van en el mismo sentido) es λ. La altura de una cresta es A.
- $y(t)$ **en un punto fijo** (eje horizontal: t en s): es la **vibración** de ese punto. La distancia entre dos máximos seguidos es T.
- **Con las dos gráficas lo tienes todo:** A, λ y T, y de ahí k, ω y $v = \lambda/T$. La fase inicial sale del valor de y en $x = 0$, $t = 0$ y del sentido en que se mueve ese punto.
- **Hacia dónde se mueve un punto en la foto:** dibuja la onda desplazada un poco en el sentido de propagación. Si en ese punto la curva desplazada queda por encima, el punto **sube**; si queda por debajo, **baja**. En la figura, la onda va hacia +X: el punto $x = 0$ sube y el punto $x = 2$ m baja.
- **Si la gráfica es de la velocidad de vibración** $v_y(t)$ o $v_y(x)$ (Madrid 2026, Murcia 2026), su máximo es $A\omega$, no A. Un máximo positivo de v_y es un punto que pasa por $y = 0$ subiendo.
- **Unidades de los ejes:** lo normal es y en cm y x en m. Pásalo todo al SI antes de escribir la ecuación final y comprueba que los números de los ejes cuadran entre sí.

ESCRIBIR LA ECUACIÓN A PARTIR DE LA FIGURA

Con las dos gráficas de la figura, escribe la ecuación de la onda, que viaja hacia +X.

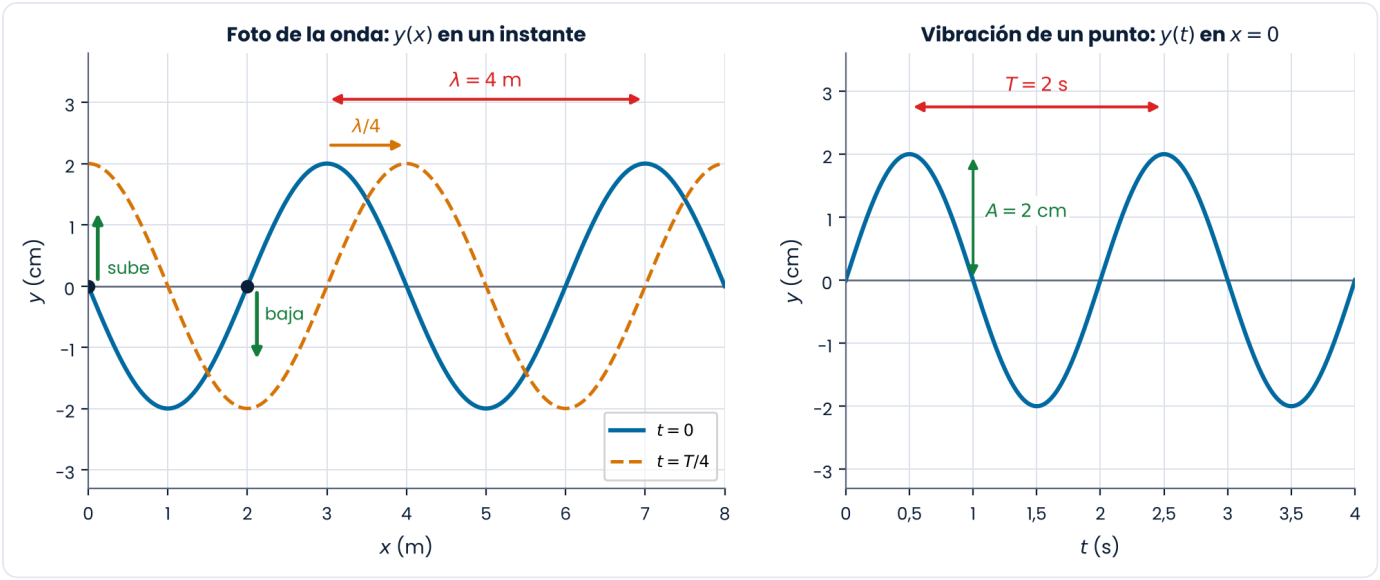
Respuesta modelo

De la foto, $\lambda = 4$ m y $A = 2$ cm $= 0{,}02$ m; de $y(t)$, $T = 2$ s. Entonces $k = 2\pi/4 = \pi/2$ rad/m, $\omega = 2\pi/2 = \pi$ rad/s y $v = \lambda/T = 2$ m/s. Hacia +X: $y = A\,\mathrm{sen}(\omega t - kx + \varphi_0)$. En $(0, 0)$, $y = 0 \Rightarrow \varphi_0 = 0$ o π; en $y(t)$ el punto $x = 0$ empieza **subiendo** ($v_y = A\omega\cos\varphi_0 > 0$), luego $\varphi_0 = 0$:

$$y(x,t) = 0{,}02\,\mathrm{sen}\left(\pi t - \frac{\pi}{2}x\right)\ \text{(SI)}$$

Comprobación con la foto: $y(x, 0) = -0{,}02\,\mathrm{sen}(\pi x/2)$, que en $x = 1$ m vale $-0{,}02$ m, como en la gráfica.

Por qué puntúa. Comprueba siempre la ecuación con un punto de cada gráfica: si no cuadra, la fase inicial está mal.



Las dos gráficas de una onda. Onda $y = 0{,}02\,\mathrm{sen}(\pi t - \pi x/2)$ (SI), que avanza hacia +X a 2 m/s. A la izquierda, la foto en $t = 0$ (azul) y en $t = T/4$ (naranja): la cresta ha avanzado $\lambda/4$; de cresta a cresta hay $\lambda = 4$ m. A la derecha, la vibración del punto $x = 0$: de máximo a máximo hay $T = 2$ s.

6 Energía e intensidad de una onda

Una onda transporta energía: la que el foco comunica a las partículas del medio, que la pasan a las siguientes.

- **Energía de un punto del medio:** cada partícula de masa m hace un MAS, así que su energía es $E = \frac{1}{2}m\omega^2A^2 = 2\pi^2mf^2A^2$ (Tema 12). La energía que transporta una onda es **proporcional al cuadrado de la amplitud y al cuadrado de la frecuencia**.
- **Intensidad:** energía que atraviesa por unidad de tiempo la unidad de superficie perpendicular a la propagación: $I = \frac{P}{S}$, en W/m². Para una onda mecánica armónica, $I \propto A^2f^2$.
- **Onda esférica** (foco puntual que emite igual en todas direcciones, sin absorción): la potencia P se reparte en esferas cada vez mayores, $I = \frac{P}{4\pi r^2}$. Por eso $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ y, como $I \propto A^2$, $\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_2}{r_1}$: la amplitud disminuye como $1/r$. Esta disminución por reparto en más superficie es la **atenuación**.
- **Onda plana** (y onda ideal en una cuerda): el frente no se agranda y, si no hay absorción, I y A no cambian con la distancia.
- **Absorción:** el medio convierte parte de la energía en calor y la intensidad disminuye además exponencialmente con el espesor. Madrid lo deja fuera de los cálculos («No absorción (No en Bachillerato)», presentación de la Comisión; en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027) y Extremadura dice «No se incluye: atenuación, absorción» (Aspectos curriculares del Bloque C; en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027), aunque su modelo de 2027 pide la intensidad a otra distancia «suponiendo propagación esférica y sin pérdidas adicionales»: la disminución con $1/r^2$ sí entra y lo que queda fuera es la absorción por el medio. Castilla y León cita en su currículo (Decreto 40/2022) la «Intensidad de una onda y fenómenos de atenuación y absorción».
- **El nivel de intensidad en decibelios** y los problemas de sonido con varias fuentes los tienes en el Tema 14.

TRIPLICAR LA DISTANCIA

Un foco puntual emite ondas esféricas. A 2 m la amplitud es de 6 mm. ¿Cuánto cambia la intensidad a 6 m? ¿Y la amplitud?

Respuesta modelo

$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} = \left(\frac{2}{6}\right)^2 = \frac{1}{9}$: la intensidad se divide entre 9. $A_2 = A_1 \frac{r_1}{r_2} = 6 \cdot \frac{2}{6} = 2$ mm: la amplitud solo se divide entre 3.

Por qué puntúa. Triplicar la distancia divide la intensidad entre 9 y la amplitud entre 3: no las confundas.

Canarias y Madrid lo piden expresamente

Canarias (matriz de especificaciones PAU 2027, saber III.3): «Calcula la energía y la intensidad de una onda mecánica plana y esférica a cierta distancia del foco emisor a partir de la amplitud de dichas ondas». **Madrid** (presentación de la Comisión 2025-26): «Incluir los conceptos de energía, potencia e intensidad en las ondas (planas y esféricas), con especial atención a las ondas sonoras».

7 Huygens, reflexión, refracción, difracción y polarización

Estos fenómenos los tienen todas las ondas, mecánicas y electromagnéticas. En casi todas las comunidades se preguntan de forma **cualitativa**: qué es, cuándo pasa y un ejemplo.

- **Principio de Huygens** (Christiaan Huygens, *Traité de la lumière*, 1690): **cada punto de un frente de onda se comporta como un foco de ondas secundarias**, y el nuevo frente es la envolvente de esas ondas secundarias. Explica la propagación, la reflexión, la refracción y la difracción. Lo citan expresamente Canarias, Cantabria, Castilla y León, la Comunitat Valenciana, Extremadura, Murcia y La Rioja.
- **Reflexión:** la onda choca con un obstáculo y vuelve al mismo medio. El ángulo de reflexión es igual al de incidencia; v, f y λ no cambian. Ejemplos: eco, sónar, ecografía.
- **Refracción:** la onda pasa a otro medio y **cambia de velocidad**, así que cambia de dirección si llega oblicua: $\frac{\operatorname{sen}\theta_1}{v_1} = \frac{\operatorname{sen}\theta_2}{v_2}$ (ley de Snell; para la luz, con índices de refracción, en el Tema 15). La frecuencia no cambia; λ cambia en la misma proporción que v.
- **Difracción:** la onda **rodea obstáculos** o se abre al pasar por una rendija. Es apreciable cuando el tamaño de la abertura o del obstáculo es **del orden de λ o menor**. Por eso oyes a alguien detrás de una puerta (el sonido audible, de 20 Hz a 20 kHz, tiene en el aire λ entre unos 17 m y 1,7 cm) pero no lo ves (la luz visible tiene λ de unos 400–700 nm).
- **Polarización:** solo la tienen las ondas **transversales**: la vibración queda limitada a un plano. La luz se puede polarizar (gafas de sol polarizadas, pantallas LCD); el sonido en el aire, que es longitudinal, **no**. Es una prueba de que la luz es una onda transversal. **Ley de Malus:** si luz ya polarizada de intensidad I_0 atraviesa un segundo polarizador (analizador) cuyo eje forma un ángulo φ con la dirección de polarización, sale $I = I_0 \cos^2 \varphi$; con los ejes cruzados ($\varphi = 90^\circ$) no pasa luz. Con luz natural, el primer polarizador deja pasar la mitad de la intensidad.
- **Interferencia y ondas estacionarias** tienen secciones propias (las dos siguientes).

Fenómeno	Qué pasa	Qué cambia	Ejemplo
Reflexión	Vuelve al mismo medio	Solo la dirección	Eco, sónar
Refracción	Pasa a otro medio	v, λ y dirección; f **no**	Olas que llegan casi paralelas a la playa
Difracción	Rodea obstáculos y rendijas	La forma del frente	Oír tras una esquina

Fenómeno	Qué pasa	Qué cambia	Ejemplo
Polarización	La vibración se limita a un plano	Solo en transversales	Gafas polarizadas
Interferencia	Se superponen dos ondas	La amplitud resultante	Zonas de silencio entre dos altavoces

Qué limita cada comunidad

Extremadura (Aspectos curriculares del Bloque C; en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027), sobre las propiedades de las ondas: «No se incluye: reflexión, refracción, polarización, difracción». **Andalucía** (Directrices 2026-27): reflexión y refracción de ondas, «comprensión y descripción genérica y cualitativa»; interferencia y difracción, «su descripción cualitativa y en qué situaciones los efectos de difracción son significativos». **Cataluña** (Orientacions PAU 2027): no se pedirá «El tractament quantitatiu del fenomen de la difracció» (el tratamiento cuantitativo de la difracción; traducido del catalán). **Madrid** (presentación de la Comisión; en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027): «No habrá ejercicios de difracción, de interferencias ni de ondas estacionarias». **Galicia** lleva la difracción y la polarización al laboratorio: sus *Prácticas de Física* PAU 2027 incluyen medir λ de un láser con una red de difracción, el grosor de un cabello y la ley de Malus ($I = I_0 \cos^2 \varphi$).

8 Interferencia

Cuando dos ondas coinciden en un punto, la perturbación resultante es la **suma** de las dos (**principio de superposición**); después, cada onda sigue su camino como si nada. Si las fuentes son **coherentes** (misma frecuencia y desfase constante), aparece un dibujo estable de zonas que vibran mucho y zonas que casi no vibran: eso es la **interferencia**.

- Dos focos S_1 y S_2 **en fase** emiten con la misma λ. En un punto P a distancias r_1 y r_2, las dos ondas llegan con un desfase $\Delta\varphi = k\,(r_2 - r_1) = 2\pi\dfrac{r_2 - r_1}{\lambda}$.
- **Interferencia constructiva** (máximo): $|r_2 - r_1| = n\lambda$, con $n = 0, 1, 2\ldots$ Las ondas llegan en fase y la amplitud es la suma, $A_1 + A_2$ ($2A$ si son iguales).
- **Interferencia destructiva** (mínimo): $|r_2 - r_1| = (2n+1)\dfrac{\lambda}{2}$. Llegan en oposición de fase y la amplitud es $|A_1 - A_2|$ (**cero** si son iguales: silencio u oscuridad).
- Los puntos con la misma diferencia de caminos forman **hipérbolas** con focos en S_1 y S_2 (las líneas de la figura).
- **Si los focos vibran en oposición de fase**, las condiciones se intercambian: $n\lambda$ da mínimos y $(2n+1)\lambda/2$, máximos.
- **Doble rendija de Young** (comienzos del siglo XIX): la luz que pasa por dos rendijas muy próximas da franjas brillantes y oscuras en una pantalla, algo que solo se explica si la luz es una **onda**. Con rendijas separadas d y la pantalla a una distancia $D \gg d$, hay máximos donde $d\,\mathrm{sen}\,\theta = n\lambda$, es decir, a $y_n \approx n\lambda D/d$ del centro.

DOS ALTAVOCES

Dos altavoces emiten en fase un sonido de 680 Hz. Un oyente está a 3,00 m de uno y a 3,75 m del otro. ¿Está en un máximo o en un mínimo? (Velocidad del sonido: 340 m/s.)

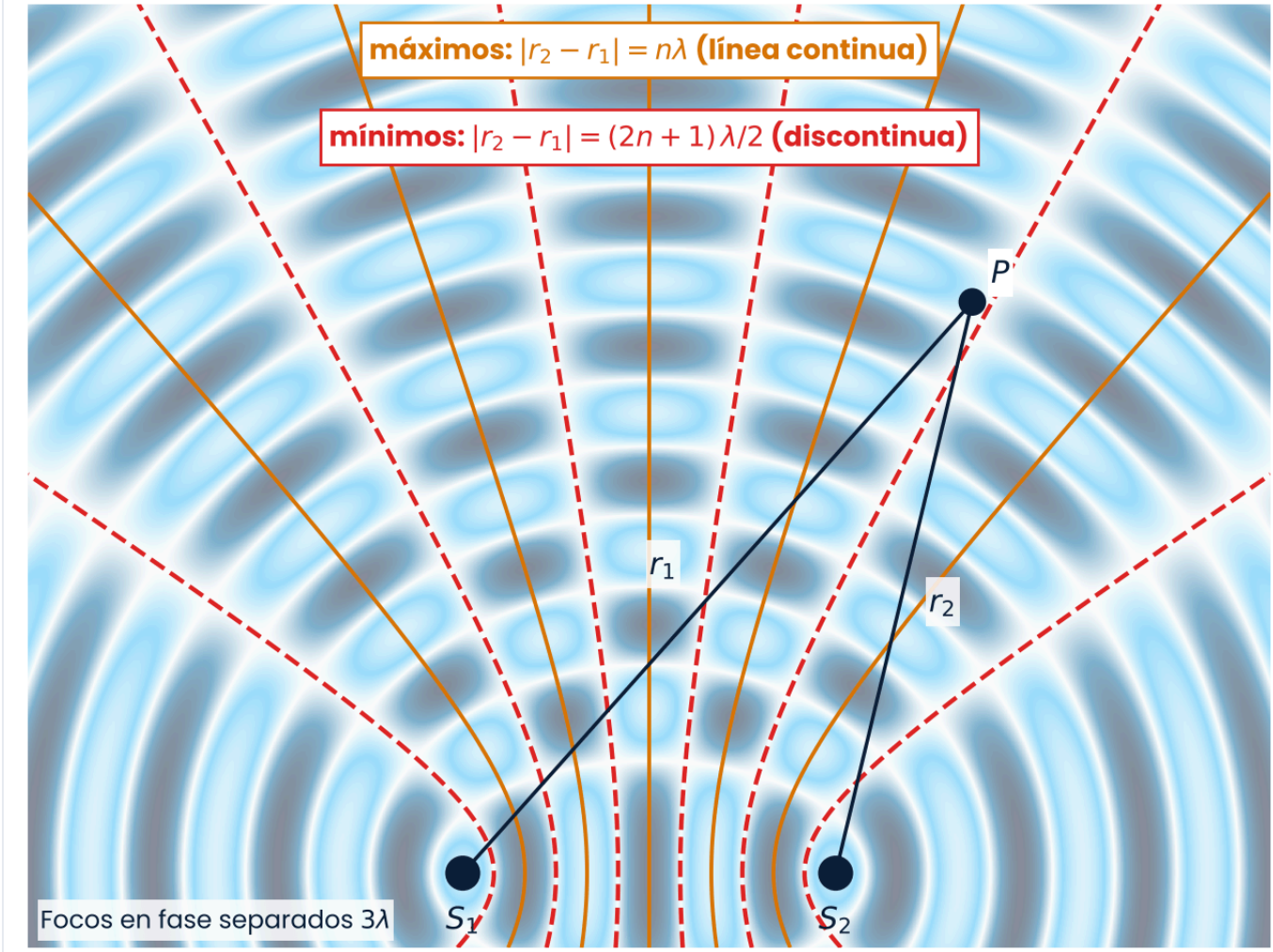
Respuesta modelo

$\lambda = v/f = 340/680 = 0{,}5$ m. Diferencia de caminos: $|r_2 - r_1| = 3{,}75 - 3{,}00 = 0{,}75$ m $= 1{,}5\,\lambda = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$, un múltiplo **impar** de $\lambda/2$. Las ondas llegan en oposición de fase: **interferencia destructiva**. El oyente apenas oye ese tono (sería silencio total si las dos ondas le llegaran con la misma amplitud).

Por qué puntúa. Cataluña pide justo esto: «La condició que compleixen els punts corresponents als màxims i els mínims d'interferència de dues ones de la mateixa freqüència» (la condición de los máximos y mínimos de interferencia de dos ondas de la misma frecuencia; Orientacions PAU 2027, traducido del catalán), pero no «El tractament matemàtic per obtenir l'ona resultant en les interferències». Canarias (matriz 2027) dice: «Basta con explicarlo a partir del experimento de la doble rendija de Young».

Interferencias: cualitativas en varias comunidades

Asturias (ficha 2025-26, indicador 51; pendiente de confirmar para 2027): «Interpretar cualitativamente los fenómenos de interferencias entre movimientos ondulatorios». **Extremadura** (Aspectos curriculares del Bloque C; en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027): «No se incluye nada de interferencias, aparte de lo que hay de ondas estacionarias». **Madrid**: no hay ejercicios de interferencias (presentación de la Comisión; en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). En las convocatorias de 2025–2026 solo ha caído un problema de interferencia de dos focos: Cataluña 2026 (extraordinaria), Ejercicio 3, opción A, apartado 3.2: dos elefantes separados 10,0 m emiten en fase a 80,0 Hz y se pide en qué puntos de la recta que los une no se oye nada. Con $\lambda = 340/80{,}0 = 4{,}25$ m y $r_1 + r_2 = 10{,}0$ m, hay silencio donde $|r_2 - r_1| = \lambda/2 = 2{,}125$ m o $3\lambda/2 = 6{,}375$ m: a 1,81 m, 3,94 m, 6,06 m y 8,19 m de uno de ellos, como en la solución oficial.



Interferencia de dos focos en fase separados 3λ. Fondo: instantánea de la suma de las dos ondas. Líneas continuas: máximos ($|r_2 - r_1| = 0,\ \lambda,\ 2\lambda$). Líneas discontinuas: mínimos ($|r_2 - r_1| = \lambda/2,\ 3\lambda/2,\ 5\lambda/2$), donde casi no hay vibración. Calculado con $\cos(kr_1) + \cos(kr_2)$.

9 Ondas estacionarias: cuerdas y tubos

Una **onda estacionaria** es la interferencia de dos ondas **iguales** (misma A, f y λ) que viajan en **sentidos opuestos**, por ejemplo una onda y su reflejada en el extremo fijo de una cuerda. El resultado no avanza: hay puntos que no vibran nunca (**nodos**) y puntos que vibran con amplitud máxima (**vientres**).

- Sumando $y_1 = A\,\mathrm{sen}(kx - \omega t)$ e $y_2 = A\,\mathrm{sen}(kx + \omega t)$ con $\mathrm{sen}\,a + \mathrm{sen}\,b = 2\,\mathrm{sen}\frac{a+b}{2}\cos\frac{a-b}{2}$:

  $$y(x,t) = 2A\,\mathrm{sen}(kx)\cos(\omega t)$$

  Cada punto hace un MAS de frecuencia angular ω y **amplitud $A_R(x) = |2A\,\mathrm{sen}(kx)|$, que depende de dónde esté**. Ya no aparece $\omega t - kx$: la onda no se propaga ni lleva energía de un extremo a otro.
- **Nodos** ($A_R = 0$): $\mathrm{sen}(kx) = 0 \Rightarrow kx = n\pi \Rightarrow x = n\dfrac{\lambda}{2}$. **Vientres** ($A_R = 2A$): $\mathrm{sen}(kx) = \pm 1 \Rightarrow x = (2n+1)\dfrac{\lambda}{4}$. Entre dos nodos seguidos hay $\lambda/2$; entre un nodo y el vientre siguiente, $\lambda/4$. Si la ecuación viene con $\cos(kx)$, se intercambian: los nodos están en $(2n+1)\lambda/4$.
- **Ondas que la forman:** de $y = 2A\,\mathrm{sen}(kx)\cos(\omega t)$ lees $2A$ (la amplitud de cada viajera es **la mitad**), k y ω; su velocidad es $v = \omega/k$.
- **Cuerda fija por los dos extremos** (guitarra, violín, piano): los extremos son nodos, así que en la cuerda cabe un número entero de medias longitudes de onda: $L = n\dfrac{\lambda_n}{2}$ y $f_n = n\dfrac{v}{2L}$, con $n = 1, 2, 3\ldots$ El modo

$n = 1$ es el **fundamental**; los demás son **armónicos**, múltiplos enteros de f_1. El armónico n tiene $n + 1$ nodos y n vientres.

- **Pisar la cuerda** acorta la parte que vibra; con la misma tensión (v igual), $f_1 = v/2L$ es inversamente proporcional a L: $f\,L = \text{cte}$. Por eso las notas agudas se dan con la cuerda más corta.
- **Tubo abierto por los dos extremos** (flauta travesera): en los extremos abiertos hay **vientres** de desplazamiento del aire; como en la cuerda, $L = n\lambda_n/2$ y $f_n = n\,v/2L$ (todos los armónicos).
- **Tubo cerrado por un extremo** (clarinete, botella): **nodo** en el extremo cerrado y **vientre** en el abierto: $L = (2n-1)\dfrac{\lambda}{4}$ y $f = (2n-1)\dfrac{v}{4L}$: **solo armónicos impares** (1, 3, 5…). Su fundamental es la mitad que la de un tubo abierto de la misma longitud.

LA CUERDA DE UNA GUITARRA

PAU Andalucía 2026 (ordinaria), Bloque C, b2 (1,5 puntos). La cuerda de una guitarra vibra de acuerdo con la ecuación: y(x,t) = 0,01 sen(10πx) cos(200πt) (S.I.). i) (0,25 puntos) Indique qué tipo de onda es. ii) (0,75 puntos) Calcule la amplitud y la velocidad de propagación de las ondas cuya superposición da lugar a dicha onda. iii) (0,5 puntos) Determine la velocidad de oscilación de un punto de la cuerda situada en el punto x = 10 cm. Razone su respuesta.

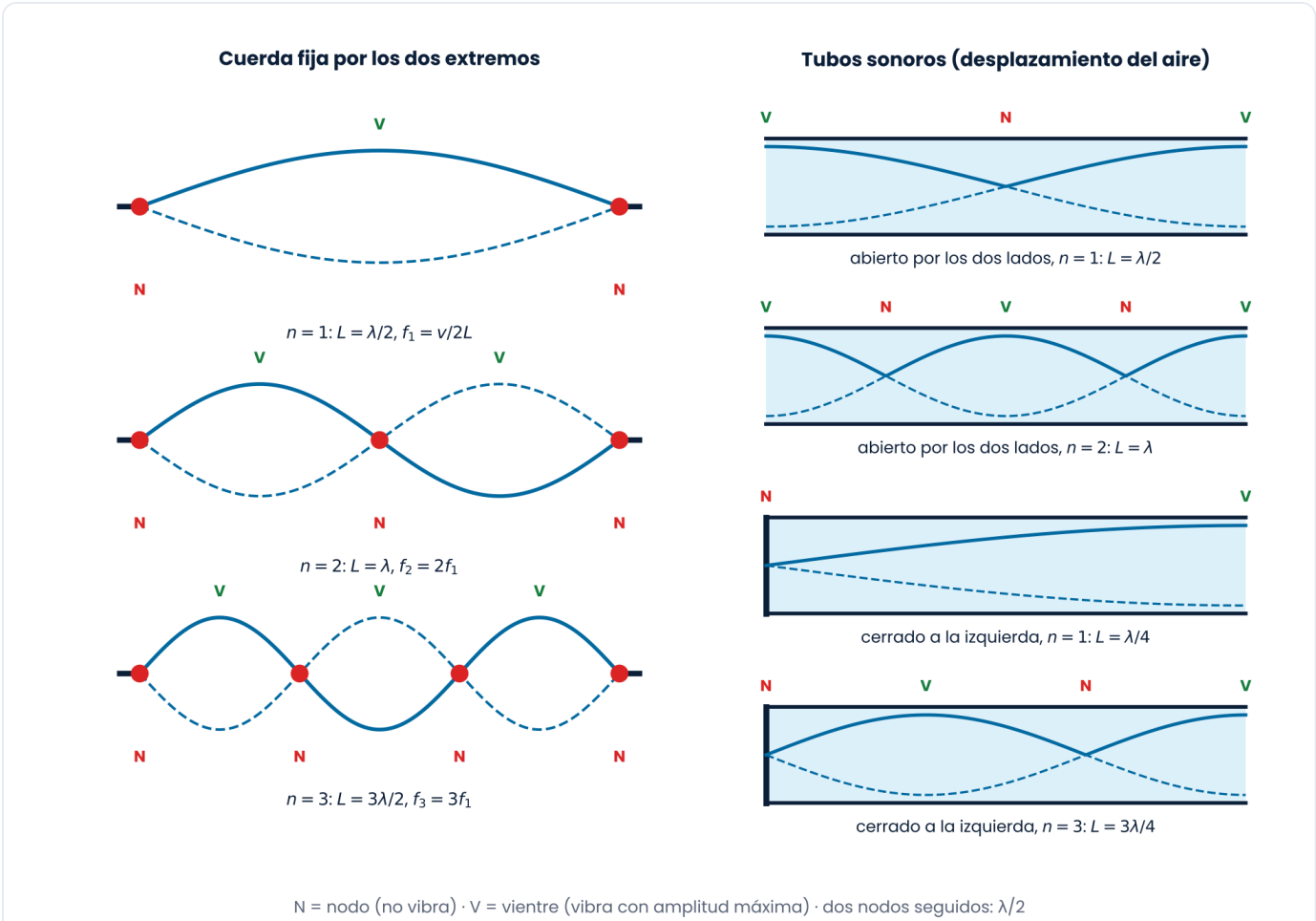
Respuesta modelo

i) Es una **onda estacionaria**: el producto de una función de x por una de t, $\text{sen}(kx)\cos(\omega t)$, indica que no hay propagación; es la superposición de dos ondas iguales que viajan en sentidos opuestos. ii) Comparando con $y = 2A\,\text{sen}(kx)\cos(\omega t)$: $2A = 0{,}01$ m $\Rightarrow A = 5\cdot 10^{-3}$ m; $k = 10\pi$ rad/m ($\lambda = 0{,}2$ m) y $\omega = 200\pi$ rad/s ($f = 100$ Hz), así que $v = \omega/k = 200\pi/10\pi = 20$ m/s. iii) En $x = 0{,}10$ m, $\text{sen}(10\pi\cdot 0{,}10) = \text{sen}\,\pi = 0$: ese punto es un **nodo** ($x = \lambda/2$). Su velocidad de oscilación, $v_y = -0{,}01\cdot 200\pi\,\text{sen}(10\pi x)\,\text{sen}(200\pi t)$, vale **0 en todo instante**.

Por qué puntúa. Andalucía exige deducir la localización de nodos y vientres (Directrices 2026-27), pero no la ecuación de la estacionaria por superposición: «No se exigirá la deducción matemática de la ecuación de una onda estacionaria a partir de la superposición de dos ondas armónicas, pero sí su expresión a partir de los parámetros característicos de las ondas viajeras que la forman».

Estacionarias: qué entra en cada sitio

Madrid (presentación de la Comisión; en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027): no hay ejercicios de ondas estacionarias. **Extremadura** (Aspectos curriculares del Bloque C; en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027): solo dos ondas en seno, iguales y en sentidos opuestos, con «un nodo en el origen», y «No incluimos ni cuerdas fijas por ambos extremos ni tubos». **Murcia** (Especificaciones 2027, C3 b): «situaciones de nodos fijos en los extremos de un segmento, como en instrumentos de cuerda». **Asturias** (ficha 2025-26, indicador 51; pendiente de confirmar para 2027): «Interpretar cualitativamente los fenómenos de interferencias entre movimientos ondulatorios (interferencia constructiva o destructiva, formación de nodos…). Generación de ondas estacionarias y sus características. Formación de armónicos en instrumentos». **Aragón** las pregunta en todas sus convocatorias de 2025–2026, con cuerdas y tubos y dibujando los armónicos a mano: «No se podrá usar regla».



Ondas estacionarias. A la izquierda, los tres primeros modos de una cuerda fija por los dos extremos: nodos (N) en los extremos y $L = n\lambda/2$. A la derecha, la amplitud de desplazamiento del aire en tubos: abiertos por los dos lados (vientres V en los extremos, $L = n\lambda/2$) y cerrados por un lado (nodo en el extremo cerrado, $L = (2n-1)\lambda/4$, solo armónicos impares).

10 Qué te piden en tu comunidad

Este tema cae en las 17 comunidades: en 46 de las 68 convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026. Lo que cambia es qué fenómenos entran y cómo se corrige.

Comunidad	Qué ha caído (2025–2026)	Lo que dicen sus documentos
Andalucía	Ecuación y desfase (2025); estacionaria de una guitarra (2026 ord.); ondas sísmicas S en el ejercicio obligatorio (2026 extra.)	Directrices 2026-27: ondas unidimensionales; interferencia, difracción, reflexión y refracción, cualitativas; deducir nodos y vientres, desfase, $v_{\max}$ y $a_{\max}$
Aragón	Estacionarias en cuerdas y tubos en todas las convocatorias; ecuación de una onda (2026 extra., obligatoria)	Sin exclusiones; dibujos a mano, sin regla
Asturias	Olas en Cudillero (2026 ord.) y ecuación con fase inicial (2026 extra.); en 2025 no cayó	Ficha 2025-26 (pendiente de confirmar para 2027): interferencias, «cualitativamente»; cita también la generación de estacionarias y los armónicos de instrumentos; unidades también al sustituir
Canarias	Onda a partir de dos gráficas (2025 extra.); olas en una estación marina (2026 extra.)	Matriz 2027: energía e intensidad a partir de la amplitud, Huygens; interferencia con la doble rendija de Young; tres cifras significativas
Cantabria	Problema de ondas en las cuatro convocatorias: magnitudes, sentido, elongación, velocidad transversal, desfase	Radianes (en grados, 0,25 del subapartado); 80 % planteamiento y 20 % resultado

Comunidad	Qué ha caído (2025–2026)	Lo que dicen sus documentos
Castilla-La Mancha	Ecuación de una onda electromagnética (2026 ord. y extra.); onda en una cuerda (2025 extra.)	Orientación Crue: experiencia de Young para calcular λ
Castilla y León	Ecuación y desfase entre puntos e instantes (2025 ord.); λ de la voz de una soprano (2026 ord.)	Decreto 40/2022: potencia, intensidad, atenuación, absorción y Huygens
Cataluña	Ecuación de onda (2026 ord.), estacionarias en tubos (2025 ord.), interferencia de dos focos (2026 extra.)	Orientacions 2027: sí máximos y mínimos, nodos y vientres; no la onda resultante ni la difracción cuantitativa
Comunitat Valenciana	Función de onda a partir de gráficas (2025 y 2026)	Orientación 2026-27: Huygens y doble rendija
Extremadura	Ecuación de onda (2025 extra.); estacionaria (2026 extra.)	Aspectos curriculares del Bloque C (en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027): sin reflexión, refracción, difracción, polarización ni interferencias (salvo estacionarias con nodo en el origen, sin cuerdas fijas ni tubos). Unidades: un fallo quita el 50 % del apartado (criterios específicos de 2025-2026), con un tope de 1 punto en el examen (Criterios 2026-27)
Galicia	Función de onda en la pregunta 3 a elegir (2025 ord. y extra., 2026 ord.)	Prácticas 2027: red de difracción, grosor de un cabello, ley de Malus
Illes Balears	Función de onda del campo eléctrico de la luz (2026 extra., opcional)	Sin limitaciones propias en este tema
La Rioja	λ de la voz de una soprano (2025 extra.); onda electromagnética a partir de la gráfica $E(0,t)$ (2026 extra.)	Matriz 2025-26: Huygens, interferencia y difracción; «no se pedirán demostraciones» (guía 2025-26; pendiente de confirmar para 2027)
Madrid	Ecuación a partir de gráficas (2026 ord. y extra.)	Presentación de la Comisión (en 2025-26; pendiente de confirmar para 2027): sin ejercicios de difracción, interferencias ni estacionarias; sin absorción
Murcia	Velocidad de propagación frente a vibración (2025 ord.); desfase entre dos sensores (2025 extra.); gráfica $v_y(x)$ y desfase (2026 extra.)	Especificaciones 2027: estacionarias en cuerdas con nodos en los extremos; Huygens y Young; no dan la velocidad del sonido
Navarra	Ecuación y magnitudes en las cuatro convocatorias (olas, cable de acero, móvil)	Sin exclusiones
País Vasco	k y fase inicial (2025 ord.); estacionaria de un violín (2026 ord.)	Cálculo simbólico antes que numérico; -0,1 por unidades

«Ha caído» se refiere a las convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026. Que algo no haya caído no significa que no entre: solo queda fuera si un documento oficial lo excluye.

11 Ejercicio resuelto: onda a partir de dos gráficas (Madrid 2026)

PAU COMUNIDAD DE MADRID 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PREGUNTA 3.A (BLOQUE VIBRACIONES Y ONDAS; A ELEGIR ENTRE 3.A Y 3.B; 2,5 PUNTOS)

La ecuación de una onda transversal que se propaga a lo largo de la dirección positiva del eje x viene dada por la expresión y(x, t) = A sen (ωt - kx + ϕ). En la figura (a) se representa el desplazamiento de los diferentes puntos del medio en el instante t = 0. En la figura (b) se representa la velocidad de oscilación del punto x = 0 del medio en función del tiempo. Determine: [Figura (a), «t = 0»: y(x,0) en cm frente a x en m, de 0 a 12 m. Sinusoide de amplitud 4 cm que vale 0 en x = 0, baja a -4 cm en x = 1,5 m, vuelve a 0 en x

= 3 m, sube a 4 cm en x = 4,5 m y se repite (máximos en 4,5 m y 10,5 m). Figura (b), «x = 0»: velocidad de oscilación v(0,t), con el eje rotulado en «cm s^{-1}», frente a t en s, de 0 a 9 s. Cosenoide con su máximo, algo por encima de 0,05 (≈ 0,063), en t = 0, 4 y 8 s, mínimos en t = 2 y 6 s y ceros en t = 1, 3, 5 y 7 s.]

a) La amplitud de la onda A y el número de ondas k. (1 punto)

b) La fase de la onda ϕ y el valor máximo de la velocidad de oscilación. (1 punto)

c) La velocidad de propagación de la onda. (0,5 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** la figura (a) es una foto de la onda (y frente a x en $t = 0$): de ella salen A y λ. La figura (b) es la velocidad del punto $x = 0$ frente al tiempo: de ella saldrán T y el sentido en que se mueve ese punto.
2. Amplitud: el desplazamiento máximo en la figura (a) es de 4 cm, así que $A = 4$ cm $= 0{,}04$ m.
3. Longitud de onda: dos máximos consecutivos de la figura (a) están en $x = 4{,}5$ m y $x = 10{,}5$ m, luego $\lambda = 6$ m (también de un cero a otro que va en el mismo sentido: de 3 m a 9 m).
4. $$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{6\ \text{m}} = \frac{\pi}{3}\ \text{rad/m} \approx 1{,}05\ \text{rad/m}$$

SOLUCIÓN $A = 0{,}04$ m (4 cm) y $k = \pi/3$ rad/m $\approx 1{,}05$ rad/m.

Apartado b)

1. Escribe la ecuación y su derivada respecto al tiempo: $y = A\,\text{sen}(\omega t - kx + \phi) \Rightarrow v_y = \dfrac{\partial y}{\partial t} = A\omega\cos(\omega t - kx + \phi)$.
2. En $x = 0, t = 0$ la figura (a) da $y(0,0) = 0$: $A\,\text{sen}\,\phi = 0 \Rightarrow \phi = 0$ o $\phi = \pi$. Una sola condición no basta.
3. La figura (b) dice que en $t = 0$ la velocidad del punto $x = 0$ es **máxima y positiva**: $v_y(0,0) = A\omega\cos\phi > 0 \Rightarrow \cos\phi = 1 \Rightarrow \phi = 0$. Comprobación con la figura (a): con $\phi = 0$, $y(x,0) = -A\,\text{sen}(kx)$, que en $x = 1{,}5$ m vale -4 cm, como en la gráfica.
4. Periodo: en la figura (b) hay máximos en $t = 0$, 4 y 8 s, así que $T = 4$ s y $\omega = 2\pi/T = \pi/2$ rad/s.
5. $$v_{y,\text{max}} = A\omega = \frac{2\pi A}{T} = \frac{2\pi \cdot 0{,}04\ \text{m}}{4\ \text{s}} = 6{,}28 \cdot 10^{-2}\ \text{m/s}$$
6. **Ojo con la figura (b):** su eje vertical está rotulado en «cm s^{-1}», pero el máximo que se lee (≈ 0,063) solo cuadra con $A = 4$ cm y $T = 4$ s si está en **m/s** (6,28 cm/s $= 0{,}0628$ m/s). La solución oficial calcula v_{max} con A y T y da $6{,}28 \cdot 10^{-2}$ m s^{-1}: haz lo mismo y no te fíes del rótulo.

SOLUCIÓN $\phi = 0$ y $v_{y,\text{max}} = 6{,}28 \cdot 10^{-2}$ m/s (6,28 cm/s). La ecuación completa es $y(x,t) = 0{,}04\,\text{sen}\left(\dfrac{\pi}{2}t - \dfrac{\pi}{3}x\right)$ (SI).

Apartado c)

1. La onda avanza una longitud de onda en un periodo:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{6\ \text{m}}{4\ \text{s}} = 1{,}5\ \text{m/s}$$

o bien $v = \omega/k = (\pi/2)/(\pi/3) = 1{,}5$ m/s.

SOLUCIÓN $v = 1{,}5$ m/s, hacia $+X$. Es unas 24 veces mayor que la velocidad máxima de vibración (0,0628 m/s): son magnitudes distintas.

Lo que puntúa. Criterios específicos de Madrid (2026): «Se valorará positivamente la inclusión de pasos detallados, así como la realización de diagramas, dibujos y esquemas» y «Se valorará la destreza en la obtención de resultados numéricos y el uso correcto de las unidades en el Sistema Internacional»; cada apartado se puntúa «desglosada en múltiplos de 0,1 puntos». La solución oficial («Documento de trabajo orientativo») da $A = 4$ cm, $k = \pi/3$ rad m^{-1}, $\phi = 0$, $v_{\max} = 6{,}28 \cdot 10^{-2}$ m s^{-1} y $v = 1{,}5$ m s^{-1}, y decide ϕ con las **dos** condiciones: $y(0,0) = 0$ y el signo de la velocidad.

Error típico que te quita puntos. Quedarse con «$\phi = 0$ o π» sin usar la velocidad para decidir; tomar como λ la distancia entre un máximo y un mínimo (3 m, que es $\lambda/2$); sacar T de la figura (a), cuyo eje es x y no t; o dar como $v_{\max}$ el valor del eje en cm/s.

12 Ejercicio resuelto: ecuación de las olas con sus condiciones iniciales (Asturias 2026)

PAU PRINCIPADO DE ASTURIAS 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PREGUNTA 5 (SE RESPONDEN 5 PREGUNTAS CUALESQUIERA DE LAS 8; 2 PUNTOS)

Me encuentro practicando piragüismo cerca de la playa de Cudillero y percibo que la piragua se mueve periódicamente arriba y abajo impulsada por las olas en la superficie del mar. El desplazamiento de la piragua entre el punto más alto y el más bajo es de 80 cm, con una duración de 4 s. La distancia entre dos crestas de ola consecutivas es de 12 m.

a) ¿Cuál es la velocidad a la que se desplazan las olas? (0,5 puntos)

b) Si consideramos que la piragua tiene desplazamiento nulo respecto al mar en calma y velocidad ascendente en el instante inicial en el que se producen las olas, escriba la ecuación de la onda asociada a las olas en la superficie del mar. (1,5 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** la piragua flota y hace lo mismo que el agua: un MAS. Traduce cada frase del texto a una magnitud de la onda.
2. «Entre el punto más alto y el más bajo» la piragua recorre $2A$ y tarda **medio periodo**: $T/2 = 4$ s $\Rightarrow$ $T = 8$ s.
3. «Distancia entre dos crestas de ola consecutivas»: $\lambda = 12$ m.
4. $$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{12\ \text{m}}{8\ \text{s}} = 1{,}5\ \text{m/s}$$

SOLUCIÓN Las olas avanzan a $v = 1{,}5$ m/s.

Apartado b)

1. Amplitud: $2A = 80$ cm $\Rightarrow$ $A = 0{,}40$ m. Número de onda: $k = 2\pi/\lambda = 2\pi/12 = \pi/6$ rad/m. Frecuencia angular: $\omega = 2\pi/T = 2\pi/8 = \pi/4$ rad/s.
2. El enunciado no dice hacia dónde van las olas. Toma el eje X en el sentido en que avanzan, con la piragua en $x = 0$, y **dilo**: $y(x,t) = A\,\text{sen}(\omega t - kx + \varphi_0)$.
3. Desplazamiento nulo en $t = 0$: $0{,}40 \,\text{sen}\,\varphi_0 = 0 \Rightarrow \varphi_0 = 0$ o π.
4. Velocidad ascendente en $t = 0$: $v_y(0,0) = A\omega\cos\varphi_0 > 0 \Rightarrow \cos\varphi_0 > 0 \Rightarrow \varphi_0 = 0$.

5. Con coseno sale lo mismo si se deriva bien: $y = A\cos(\omega t - kx + \varphi_0)$; $y(0,0) = 0 \Rightarrow \varphi_0 = \pi/2$ o $3\pi/2$; $v_y(0,0) = -A\omega \operatorname{sen}\varphi_0 > 0 \Rightarrow \operatorname{sen}\varphi_0 < 0 \Rightarrow \varphi_0 = 3\pi/2$ (o $-\pi/2$). Queda $y = 0{,}40\cos\left(\frac{\pi}{4}t - \frac{\pi}{6}x - \frac{\pi}{2}\right)$, idéntica a la de seno.
6. **Errata en la solución oficial:** en su «2.ª opción de respuesta» (coseno) escribe «$v(x,t) > 0 \Rightarrow \operatorname{sen}\phi_0 > 0 \Rightarrow \phi_0 = \pi/2$» y da $y = 0{,}4\cos\left(\frac{\pi}{4}t - \frac{\pi}{6}x + \frac{\pi}{2}\right)$. Al derivar el coseno sale un signo menos, así que la condición correcta es $\operatorname{sen}\phi_0 < 0$. Con $+\pi/2$, en $x = 0$ queda $y = -0{,}4\operatorname{sen}(\pi t/4)$: la piragua empezaría **bajando**. La opción con seno de la solución oficial sí está bien.

SOLUCIÓN $y(x,t) = 0{,}40\operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{4}t - \frac{\pi}{6}x\right)$, con y y x en m y t en s, tomando el eje X en el sentido de avance de las olas.

Lo que puntúa. La solución oficial de la Universidad de Oviedo no reparte los puntos por pasos. Su ficha de Física 2025-26 dice: «Se valorará primordialmente la construcción correcta frente a la solución correcta aportada» y «Se penalizará con un descuento de 0.25 puntos por error grave o acumulativo de varios errores leves». Desde 2025-26 hay que sustituir con unidades: «En el desarrollo de las soluciones de los ejercicios deben emplearse las magnitudes consideradas, no sólo expresando sus valores numéricos, sino también sus unidades de medida».

Error típico que te quita puntos. Tomar $T = 4$ s (del punto más alto al más bajo es **medio** periodo) o $A = 80$ cm (eso es $2A$); y, con coseno, olvidar el signo menos de la derivada al imponer «velocidad ascendente», que es justo lo que le pasa a la solución oficial.

13 Ejercicio resuelto: armónicos de un violín y decibelios (País Vasco 2026)

PAU PAÍS VASCO 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PROBLEMA 3, OPCIÓN C1 (BLOQUE C; A ELEGIR ENTRE C1 Y C2; 2,5 PUNTOS)

Las cuerdas de un violín miden L=32.8 cm. Se estudia la primera cuerda, que emite la nota Mi con una frecuencia fMi=659.3 Hz cuando vibra en su modo fundamental. [Datos de la tabla del examen que hacen falta: vsonido=340 ms^{-1}; I0=10^{-12} Wm^{-2}.]

a) Obtén la longitud de onda de la onda estacionaria en la cuerda para el modo fundamental, y la longitud de onda del sonido en el aire correspondiente a esa nota. (0,50 puntos)

b) ¿En qué punto (referido a cualquiera de los dos extremos) se debe pisar la cuerda para producir la nota La de frecuencia fLa=880.0 Hz? (1,00 puntos)

c) En un concierto, el violinista solista toca una melodía emitiendo un sonido de potencia P=10^{-6} W. Te unes a su lado con un violín que emite exactamente la misma nota y potencia. ¿Cuántos decibelios se medirían a una distancia de 10m de vuestra posición, si: • sólo toca el violinista solista; • tocáis ambos a la vez? (1,00 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** en la cuerda hay una onda **estacionaria** con nodos en los dos extremos; en el aire, una onda sonora **viajera** con la misma frecuencia pero otra velocidad.
2. Modo fundamental de una cuerda fija por los dos extremos: un solo vientre, $L = \lambda/2$:

$$\lambda_{\text{cuerda}} = 2L = 2 \cdot 0{,}328\ \text{m} = 0{,}656\ \text{m}$$

3. En el aire la frecuencia es la misma (659,3 Hz) y la velocidad es la del sonido:

$$\lambda_{\text{aire}} = \frac{v_s}{f} = \frac{340\ \text{m/s}}{659{,}3\ \text{Hz}} = 0{,}516\ \text{m}$$

4. Son distintas porque la onda en la cuerda no va a 340 m/s, sino a $v = \lambda f = 0{,}656 \cdot 659{,}3 \approx 433$ m/s.

SOLUCIÓN $\lambda_{\text{cuerda}} = 0{,}656$ m y $\lambda_{\text{aire}} = 0{,}516$ m.

Apartado b)

1. Pisar la cuerda acorta la parte que vibra a L'. La tensión y la densidad lineal no cambian, así que v es la misma: $v = \lambda f = 2Lf \Rightarrow f \propto 1/L$.

2. $$f_{\text{Mi}}\, L = f_{\text{La}}\, L' \Rightarrow L' = L\,\frac{f_{\text{Mi}}}{f_{\text{La}}} = 32{,}8\ \text{cm} \cdot \frac{659{,}3}{880{,}0} = 24{,}6\ \text{cm}$$

3. La parte que vibra va del dedo al puente. El punto donde pisar está a 24,6 cm del puente, es decir, a $32{,}8 - 24{,}6 = 8{,}2$ cm del otro extremo (la cejuela, junto al clavijero).

SOLUCIÓN Hay que pisar a 24,6 cm del puente (8,2 cm del otro extremo). La nota más aguda necesita una cuerda más corta.

Apartado c)

1. Esta parte es de sonido (Tema 14). El violín se trata como un foco puntual que emite por igual en todas direcciones: la potencia se reparte en una esfera de radio r.

$$I_1 = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{10^{-6}\ \text{W}}{4\pi \cdot (10\ \text{m})^2} = 7{,}96 \cdot 10^{-10}\ \text{W/m}^2$$

2. $$\beta_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log \frac{7{,}96 \cdot 10^{-10}}{10^{-12}} = 10 \log 796 \approx 29\ \text{dB}$$

3. Con dos violines iguales (fuentes que no interfieren de forma estable) **se suman las intensidades**, no los decibelios: $I_2 = 2I_1$ y

$$\beta_2 = 10 \log \frac{2I_1}{I_0} = \beta_1 + 10 \log 2 \approx 29 + 3 = 32\ \text{dB}$$

SOLUCIÓN Unos 29 dB con un violín y unos 32 dB con dos: duplicar la intensidad sube el nivel solo 3 dB.

Lo que puntúa. El solucionario oficial reparte la pregunta en pasos de 0,25: en a), 0,25 por cada longitud de onda; en b), 0,25 por la relación $f \propto 1/L$, 0,25 por el planteamiento $f_{\text{Mi}}L = f_{\text{La}}L'$, 0,25 por el cálculo de L' y 0,25 por el punto donde pisar («Se acepta referenciar la distancia a cualquier extremo si está bien especificado»); en c), 0,25 por cada intensidad y por cada nivel. Criterios generales de 2026: «Cálculo simbólico antes que numérico», «Unidades ausentes o incorrectas: -0.1 puntos» y «Errores de redondeo y cifras significativas: -0.1 puntos».

Error típico que te quita puntos. Usar 340 m/s para la longitud de onda en la cuerda (la velocidad del sonido en el aire no es la de la onda en la cuerda); dar 24,6 cm sin decir desde qué extremo; y sumar decibelios (29 + 29 = 58 dB) en vez de intensidades.

Conceptos clave

Onda
Propagación de una perturbación de un punto a otro del espacio que transporta energía y cantidad de movimiento, pero no materia.

Onda mecánica
Onda que necesita un medio material para propagarse (sonido, olas, ondas en cuerdas, ondas sísmicas).

Onda electromagnética
Oscilación de los campos $\vec{E}$ y $\vec{B}$ que se propaga también en el vacío, a c (luz, radio, rayos X).

Onda transversal
Aquella en la que los puntos del medio vibran perpendicularmente a la dirección de propagación.

Onda longitudinal
Aquella en la que los puntos del medio vibran en la misma dirección en que se propaga la onda (sonido en el aire).

Onda armónica
Onda producida por un foco que vibra con MAS; cada punto del medio repite ese MAS con retraso.

Longitud de onda
Distancia mínima entre dos puntos que vibran en fase: $\lambda = vT$.

Número de onda
$k = 2\pi/\lambda$, en rad/m: cuánto cambia la fase por unidad de longitud.

Frecuencia angular
$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$, en rad/s: cuánto cambia la fase por unidad de tiempo.

Velocidad de propagación
Rapidez con que avanza la perturbación: $v = \lambda f = \omega/k$. Depende del medio.

Velocidad de vibración
Velocidad de un punto del medio, $v_y = \partial y/\partial t$; varía con el tiempo y su máximo es $A\omega$.

Fase inicial
Valor φ_0 de la fase en $x = 0$, $t = 0$; se obtiene de la elongación y del sentido de la velocidad en ese instante.

Diferencia de fase
$\Delta\varphi = k\Delta x$ entre dos puntos en el mismo instante, o $\Delta\varphi = \omega\Delta t$ de un punto entre dos instantes.

Intensidad de una onda
Energía que atraviesa por unidad de tiempo la unidad de superficie perpendicular a la propagación: $I = P/S$, en W/m².

Principio de Huygens
Cada punto de un frente de onda actúa como foco de ondas secundarias; el nuevo frente es su envolvente.

Difracción
Capacidad de una onda para rodear obstáculos y abrirse tras una rendija; es apreciable si su tamaño es del orden de λ o menor.

Polarización
Limitación de la vibración de una onda transversal a un solo plano. Las ondas longitudinales no se polarizan.

Interferencia
Superposición de dos ondas coherentes que da zonas de vibración máxima (constructiva) y mínima (destructiva).

Onda estacionaria
Superposición de dos ondas iguales que viajan en sentidos opuestos: $y = 2A\,\mathrm{sen}(kx)\cos(\omega t)$. No se propaga.

Nodo
Punto de una onda estacionaria que no vibra; dos nodos seguidos están a $\lambda/2$.

Vientre
Punto de una onda estacionaria que vibra con la amplitud máxima, $2A$; está a $\lambda/4$ de los nodos vecinos.

Armónico
Cada modo de vibración de una cuerda o un tubo; en una cuerda fija, $f_n = nv/2L$, múltiplos enteros del fundamental.

MODO PAU

Siete claves que valen puntos

Sentido

Signos distintos de ωt y kx: hacia **+X**; iguales: hacia **−X**. **Justifícalo** con la fase constante.

Dos velocidades

$v = \lambda f = \omega/k$ (propagación, constante) frente a $v_y = \partial y/\partial t$ (vibración, máximo $A\omega$). **Nunca** las confundas.

Deduce los máximos

Deriva la ecuación y explica que $|\cos| \leq 1$: $v_{\max} = A\omega$, $a_{\max} = A\omega^2$. Andalucía lo exige.

Fase inicial

$y(0, 0)$ da **dos** ángulos; el signo de la velocidad elige uno. Comprueba con un punto de la gráfica.

Radianes

Fases y senos en **radianes**, calculadora en RAD (Cantabria: en grados, 0,25 del subapartado).

Desfase

$\Delta\varphi = k\Delta x$ entre puntos y $\omega\Delta t$ entre instantes; en fase cada λ, en oposición cada $\lambda/2$.

Estacionarias

Nodos cada $\lambda/2$; cuerda y tubo abierto, $L = n\lambda/2$; tubo cerrado, $L = (2n-1)\lambda/4$, **solo impares**. Cada viajera tiene **la mitad** de la amplitud.

Cómo te lo pueden preguntar

- Ecuación de la onda armónica: sacar A, λ, T, f, v y el sentido de la ecuación; escribirla con las condiciones iniciales o a partir de gráficas; velocidad y aceleración de vibración; desfase entre puntos o instantes: sale en 41 de las 68 convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en las 17 comunidades.
- Onda a partir de **gráficas** $y(x)$, $y(t)$ o v_y: en 2025–2026 ha caído en Madrid (2026 ordinaria y extraordinaria), Canarias (2025 extraordinaria), la Comunitat Valenciana (2025 y 2026), Murcia (2026 extraordinaria) y La Rioja (2026 extraordinaria, con una onda electromagnética).
- **Diferencia de fase** entre dos puntos o dos instantes: Andalucía (2025), Castilla y León (2025), Murcia (2025 y 2026), Navarra (2026), Cantabria (2026) y la Comunitat Valenciana (2026).
- **Fenómenos ondulatorios** (ondas estacionarias en cuerdas y tubos, interferencia de dos focos): salen en 9 de las 68 convocatorias, en 5 comunidades (Andalucía, Aragón, Cataluña, Extremadura y País Vasco). Aragón los ha preguntado en todas sus convocatorias de 2025 y 2026.
- Con **contexto real**: olas (Asturias y Canarias 2026, Navarra 2025), ondas sísmicas (Andalucía 2026), un cable de acero (Navarra 2026) e instrumentos musicales (Aragón, Cataluña y País Vasco).
- Ecuación de una **onda electromagnética** $E(x, t)$ (frecuencia, λ, sentido, velocidad e índice de refracción del medio): Castilla-La Mancha (2026 ordinaria y extraordinaria), Illes Balears y La Rioja (2026 extraordinaria). El índice de refracción lo ves en el Tema 15.

No lo confundas

- **Velocidad de propagación con velocidad de vibración:** la primera es constante y la fija el medio ($v = \lambda f$); la segunda es la de un punto que sube y baja, cambia con el tiempo y vale como mucho $A\omega$.
- **Longitud de onda con la distancia de cresta a valle:** de una cresta al valle siguiente hay $\lambda/2$ en horizontal y $2A$ en vertical.
- **Periodo con el tiempo de subir a bajar:** del punto más alto al más bajo se tarda $T/2$.
- **Gráfica $y(x)$ con gráfica $y(t)$:** mira el eje horizontal; en una lees λ y en la otra T.
- **Amplitud de la estacionaria con la de las viajeras:** en $y = 2A\,\mathrm{sen}(kx)\cos(\omega t)$, cada viajera tiene amplitud A, la mitad del coeficiente.
- **Tubo abierto con tubo cerrado:** abierto por los dos extremos, $L = n\lambda/2$ y todos los armónicos; cerrado por uno, $L = (2n-1)\lambda/4$ y solo los impares.

- **Frecuencia con velocidad al cambiar de medio:** la frecuencia la fija el foco y no cambia; cambian v y λ.
- **Atenuación con absorción:** la atenuación de una onda esférica es el reparto de la energía en más superficie ($I \propto 1/r^2$); la absorción es energía que el medio convierte en calor.
- **Sumar decibelios con sumar intensidades:** dos fuentes iguales duplican la intensidad y suben el nivel 3 dB, no lo duplican.

Ponte a prueba

PAU Andalucía 2026 (extraordinaria), Bloque C, apartado b (ejercicio obligatorio; 1,5 puntos). Las ondas sísmicas S, que viajan a través de la Tierra generando oscilaciones durante los terremotos, producen daños sobre edificios y estructuras. Una onda armónica S, que se propaga por el interior de la corteza terrestre, obedece a la ecuación: y(x,t) = 0,6 sen(3,125·10⁻⁷ x – 1,25·10⁻³ t) (S.I.) i) (0,75 puntos) Calcule la longitud de onda, frecuencia y velocidad de propagación de la onda. ii) (0,75 puntos) Si se produce un seísmo a una distancia de 400 km de una ciudad, ¿cuánto tiempo transcurre hasta que se perciben los efectos del seísmo en la población? ¿Con qué velocidad máxima oscilarán las partículas del medio?

Solución: Forma $A\,\mathrm{sen}(kx-\omega t)$: $A = 0{,}6$ m, $k = 3{,}125\cdot10^{-7}$ rad/m y $\omega = 1{,}25\cdot10^{-3}$ rad/s; va hacia $+X$ (kx y ωt con signos distintos). i) $\lambda = 2\pi/k = 2{,}01\cdot10^{7}$ m; $f = \omega/2\pi = 1{,}99\cdot10^{-4}$ Hz; $v = \omega/k = 4{,}00\cdot10^{3}$ m/s. ii) $t = d/v = 4{,}00\cdot10^{5}/4{,}00\cdot10^{3} = 100$ s. Deduce la velocidad de vibración: $v_y = \partial y/\partial t = -0{,}6\cdot1{,}25\cdot10^{-3}\cos(3{,}125\cdot10^{-7}x - 1{,}25\cdot10^{-3}t)$, cuyo valor máximo es $A\omega = 0{,}6\cdot1{,}25\cdot10^{-3} = 7{,}5\cdot10^{-4}$ m/s. La velocidad de 4 km/s es realista para una onda S en la corteza; la longitud de onda (más de 20 000 km) no lo es, pero en el examen se usan los datos tal cual.

PAU Cantabria 2026 (extraordinaria), Pregunta 5 (Apartado 3, a elegir entre las preguntas 5 y 6; 2,5 puntos). La ecuación de una onda viajera que se propaga por una cuerda tensa, en unidades SI, viene dada por: y(x, t) = 0.01 sen(100t - 10x). a) [1.5 PUNTOS] Determinar el sentido de propagación, la amplitud, la longitud de onda, la frecuencia, el periodo y la velocidad de propagación de la onda. b) [0.5 PUNTOS] Calcular la velocidad de oscilación de la cuerda en el punto x = 0 m en el instante t = 1 s. c) [0.5 PUNTOS] Calcular la diferencia de fase entre dos puntos que, en el mismo instante, están separados 1 m.

Solución: a) ωt y kx con signos distintos: va hacia **+X**. $A = 0{,}01$ m; $k = 10$ rad/m $\Rightarrow \lambda = 2\pi/10 = 0{,}628$ m; $\omega = 100$ rad/s $\Rightarrow f = 100/2\pi = 15{,}9$ Hz y $T = 1/f = 0{,}0628$ s; $v = \omega/k = 10$ m/s. b) $v_y = \partial y/\partial t = 0{,}01\cdot100\cos(100t - 10x) = \cos(100t - 10x)$ m/s; en $x = 0$, $t = 1$ s: $v_y = \cos(100\ \mathrm{rad}) = 0{,}862$ m/s. Con la calculadora en grados saldría $-0{,}174$ m/s, y Cantabria puntúa ese error con 0,25 de los 0,5 del subapartado. c) $\Delta\varphi = k\,\Delta x = 10\cdot1 = 10$ rad (equivale a $10 - 2\pi \approx 3{,}72$ rad).

PAU Aragón 2025 (extraordinaria), Bloque 3, pregunta 3c) (a elegir dos entre 3b, 3c y 3d; 1 punto). Se desea fabricar un instrumento musical de viento con una tubería de PVC. Para ello se corta la tubería en trozos de distintos tamaños con los dos extremos abiertos. Si el primer trozo tiene una longitud de 25 cm, calcule la frecuencia del armónico fundamental que producirá (0,5 puntos). ¿De qué tamaño habrá que cortar el siguiente trozo para que produzca una onda estacionaria cuya frecuencia del armónico fundamental sea 2/3 de la frecuencia del armónico fundamental del primer tubo? (0,25 puntos). Dé la longitud de onda de ambos sonidos (0,25 puntos). Datos: Velocidad del sonido en el aire: 346 m/s.

Solución: Tubo abierto por los dos extremos: vientres en los extremos y, en el fundamental, $L = \lambda/2$. Primer tubo: $\lambda_1 = 2 \cdot 0{,}25 = 0{,}50$ m y $f_1 = v/\lambda_1 = 346/0{,}50 = 692$ Hz. Segundo: $f_2 = \frac{2}{3} \cdot 692 = 461{,}3$ Hz, $\lambda_2 = v/f_2 = 0{,}75$ m y $L_2 = \lambda_2/2 = 0{,}375$ m $= 37{,}5$ cm (más rápido: como $f \propto 1/L$, $L_2 = \frac{3}{2}L_1$). Longitudes de onda: 0,50 m y 0,75 m. Coincide con la solución oficial (692 Hz; 37,5 cm; 0,5 m y 0,75 m), que escribe la frecuencia intermedia como 461,34 Hz (es 461,33 Hz; no cambia nada).

Fuentes

1. Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato (Física, bloque C «Vibraciones y ondas»)
2. PAU Comunidad de Madrid 2026, ordinaria: examen de Física, criterios y soluciones
3. PAU Asturias 2026, ordinaria: examen de Física
4. PAU Asturias 2026, ordinaria: examen de Física con soluciones
5. PAU País Vasco 2026, ordinaria: examen de Física
6. PAU País Vasco 2026, ordinaria: solucionario y criterios de Física
7. PAU Andalucía 2026, extraordinaria: examen de Física
8. PAU Andalucía 2026, ordinaria: examen de Física
9. PAU Cantabria 2026, extraordinaria: examen de Física
10. PAU Cantabria 2026, extraordinaria: criterios de corrección de Física
11. PAU Aragón 2025, extraordinaria: examen y criterios de Física
12. PAU Galicia 2025, ordinaria: examen de Física
13. PAU Galicia 2025, ordinaria: criterios y soluciones de Física
14. PAU Extremadura 2025, extraordinaria: examen de Física
15. PAU Extremadura 2025, extraordinaria: criterios de corrección de Física
16. PAU Navarra 2026, ordinaria: examen de Física
17. Distrito Único Andaluz: Directrices y orientaciones generales PAU, Física, curso 2026-27
18. Generalitat de Catalunya: Orientacions per a l'examen de Física, PAU 2027
19. Universidad de Extremadura: Aspectos curriculares orientativos, Bloque C (acuerdos de 12-03-2026)
20. Universidad de Extremadura: Física, Criterios Generales de Evaluación PAU 2026-2027 (octubre de 2026)
21. Universidad de Extremadura: Física, Modelo de examen PAU 2026-2027 (octubre de 2026)
22. Comisión de Materia de Física de las universidades públicas de Madrid: presentación PAU 2025-2026
23. Gobierno de Canarias: Matriz de especificaciones de Física, PAU 2027
24. CiUG: PAU 2027, Prácticas de Física de 2.º de Bachillerato
25. Universidad de Murcia: Especificaciones para el ejercicio de Física, PAU 2027
26. Universidad de Oviedo: Información sobre la PAU, curso 2025/2026, Física
27. Comunitat Valenciana: Documento de orientación de Física (PAU), curso 2026-27
28. PAU Cataluña 2026, extraordinaria: examen de Física (versión en castellano)
29. PAU Cataluña 2026, extraordinaria: criterios de corrección de Física (en catalán)
30. Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, currículo del Bachillerato en Castilla y León (BOCYL n.º 190, 30-sep-2022)
31. Universidad de La Rioja: Guía de calificación de la materia Física, PAU curso 2025-2026

Imágenes: Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib). · Farmeando PAU: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia (Python y matplotlib).

Apuntes de Farmeando PAU · farmeandopau.com · Revisados frente a fuentes. Última revisión: 1 de noviembre de 2026. Licencia CC BY-NC-ND 4.0: puedes copiarlo y compartirlo citándonos, sin uso comercial ni cambios (las imágenes, con su propia licencia). ¿Un error? Avísanos desde la página del tema. Cómo los hacemos: farmeandopau.com/metodologia.