Sonido y efecto Doppler

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

El sonido es una **onda mecánica longitudinal de presión**: necesita un medio y va a unos 340 m/s en el aire. Una fuente puntual reparte su potencia sobre esferas, así que la **intensidad** cae con el cuadrado de la distancia, $I = P/4\pi r^2$, y el oído la mide en **decibelios**, $\beta = 10\log(I/I_0)$. Con varias fuentes se suman intensidades, no decibelios. El **efecto Doppler** sube la frecuencia percibida si fuente y observador se acercan y la baja si se alejan. Sale en **25 de las 68 convocatorias**, en 13 comunidades: casi siempre problemas de **decibelios** (24 de 68) y a veces **Doppler** (5 de 68).

1 El sonido: una onda longitudinal de presión

El sonido es una **onda mecánica longitudinal**: necesita un medio material (aire, agua, un sólido) y las moléculas del medio vibran **en la misma dirección en que avanza la onda**. Lo que viaja no es el aire, sino una sucesión de **compresiones** (zonas con algo más de presión y densidad) y **enrarecimientos** (zonas con algo menos). La ecuación de la onda armónica y sus magnitudes (λ, T, f, k, ω, $v = \lambda f$) las tienes en el Tema 13; aquí se aplican al sonido.

- **Longitudinal:** cada capa de aire oscila adelante y atrás alrededor de su posición de equilibrio, paralela a la propagación. En los gases y los líquidos el sonido solo puede ser longitudinal; en los sólidos hay también ondas transversales (las ondas S de un terremoto).
- **Onda de presión:** se describe con la sobrepresión $\Delta p(x,t) = \Delta p_{\max}\,\mathrm{sen}(\omega t - kx)$, que se suma a la presión atmosférica. Un micrófono y el tímpano detectan esas variaciones de presión.
- **No se propaga en el vacío:** sin partículas que se empujen unas a otras no hay sonido. Por eso en el espacio no se oye una explosión, aunque su luz (onda electromagnética) sí llegue.
- **La velocidad la fija el medio**, no la fuente: depende de lo «rígido» que sea el medio (su módulo de elasticidad) y de su densidad. Por eso es mayor en los sólidos y en los líquidos que en los gases.
- **En el aire depende de la temperatura**: de unos 331 m/s a 0 °C a unos 343 m/s a 20 °C. Los exámenes usan **340 m/s** (aire a unos 15 °C); Cataluña da a veces 343 m/s y Aragón ha dado 346 m/s (unos 25 °C). Usa siempre el valor del enunciado.
- **Al cambiar de medio**, la frecuencia **no cambia** (la impone la fuente); cambian la velocidad y la longitud de onda, que crece en la misma proporción que la velocidad ($\lambda = v/f$).

Medio	Velocidad del sonido (aprox.)
Aire seco a 0 °C	331 m/s
Aire seco a 20 °C	343 m/s
Agua dulce (25 °C)	1497 m/s
Agua de mar (25 °C, salinidad 35)	1534 m/s (Murcia 2026 da 1500 m/s; en Madrid 2025 sale 1500 m/s de $v = \lambda f$)
Plomo	2160 m/s

Medio	Velocidad del sonido (aprox.)
Cobre	4660 m/s
Acero al carbono	5890 m/s
Aluminio	6320 m/s

Aire: $v = \sqrt{\gamma RT/M}$ con $\gamma = 1{,}40$ y $M = 28{,}96$ g/mol. Agua dulce: NIST Chemistry WebBook (formulación IAPWS-95, 1 atm). Agua de mar: TEOS-10, la ecuación internacional del agua de mar (IOC-UNESCO). Metales: ondas longitudinales, valores típicos de la tabla de velocidades ultrasónicas de Evident (Olympus); en un metal concreto cambian con la aleación y el tratamiento, así que tómalos como orientativos.

CUESTIÓN RAZONADA TÍPICA (CANTABRIA 2025, EXTRAORDINARIA)

Las ondas sonoras, ¿son longitudinales o transversales? ¿Cuál es la principal diferencia entre ambos tipos de onda?

Respuesta modelo

En el aire, el sonido es una onda **longitudinal**: las moléculas oscilan en la **misma dirección** en que se propaga la onda, formando compresiones y enrarecimientos. En una onda **transversal** (una cuerda, la luz) la vibración es **perpendicular** a la dirección de propagación. Los gases y los líquidos no transmiten esfuerzos de cizalla, así que en ellos el sonido solo puede ser longitudinal.

Por qué puntúa. Sin la definición de las dos clases y un ejemplo, la respuesta queda a medias.

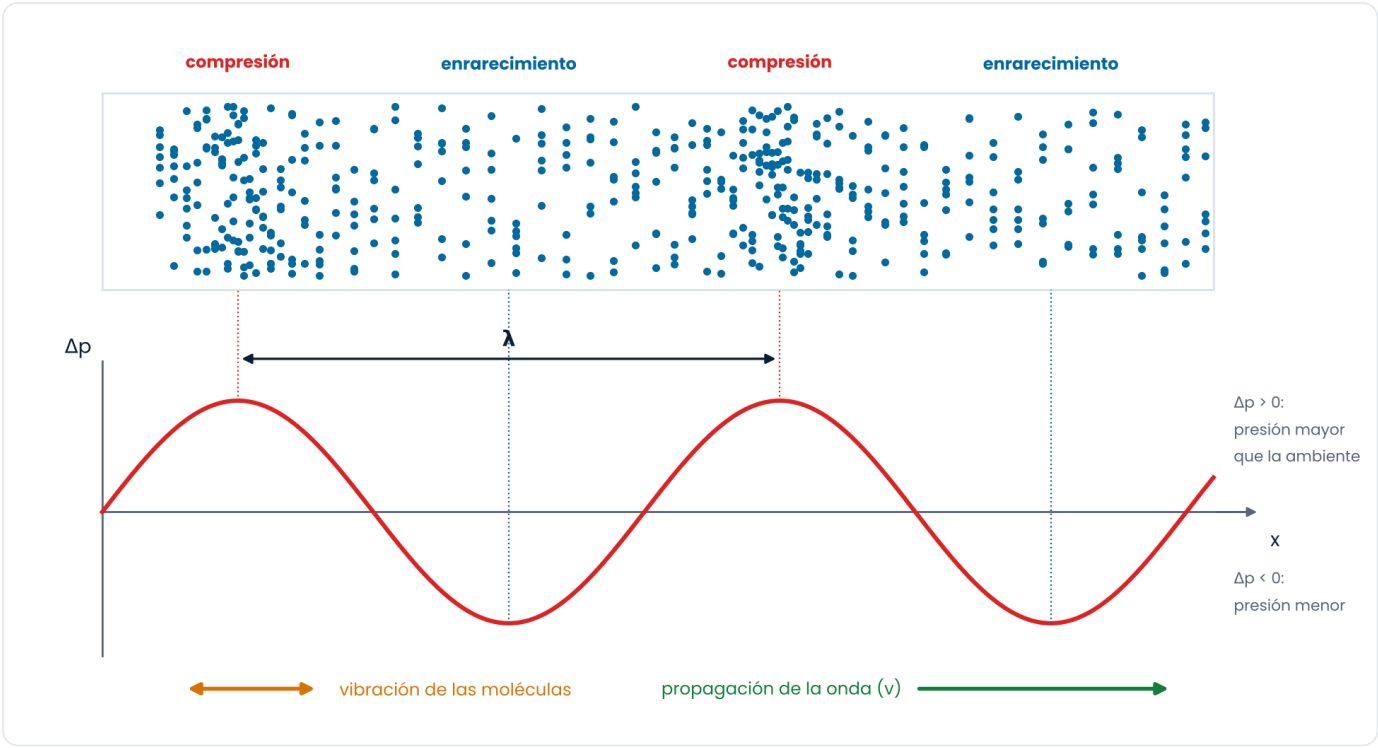
QUÉ CAMBIA AL PASAR DEL AIRE AL AGUA

Un sonido de 500 Hz pasa del aire (340 m/s) al agua (1500 m/s). ¿Cómo cambian su frecuencia y su longitud de onda?

Respuesta modelo

La frecuencia sigue siendo **500 Hz**: la marca la fuente. La longitud de onda pasa de $\lambda_{\text{aire}} = 340/500 = 0{,}68$ m a $\lambda_{\text{agua}} = 1500/500 = 3{,}0$ m: se multiplica por $1500/340 = 4{,}4$, lo mismo que la velocidad.

Por qué puntúa. Es el mismo razonamiento que harás con la luz en el Tema 15: al cambiar de medio, f se conserva.



El sonido, onda longitudinal. Arriba, las moléculas de aire se juntan (compresión) y se separan (enrarecimiento); abajo, la sobrepresión Δp en cada punto. La distancia entre dos compresiones consecutivas es la longitud de onda λ. Las moléculas vibran en la misma dirección en que se propaga la onda.

2 Cualidades del sonido y lo que oímos

Distinguimos un sonido de otro por tres **cualidades**, y cada una corresponde a una propiedad física de la onda. Castilla-La Mancha pide expresamente las dos primeras: «Reconocer la relación de dos cualidades del sonido (intensidad y tono) con sus propiedades físicas (amplitud y frecuencia)» (orientación Crue 2025-26).

- **Intervalo audible:** el oído humano joven percibe entre unos **20 Hz y 20 000 Hz**. Con $v = 340$ m/s, eso son longitudes de onda de **17 m a 1,7 cm**.
- **Infrasonidos** ($f < 20$ Hz): terremotos, volcanes, algunas llamadas de elefantes y ballenas. **Ultrasonidos** ($f > 20$ kHz): murciélagos, delfines, ecografía y sónar (lo ves más abajo).
- Una misma nota (misma frecuencia fundamental) tocada con la misma intensidad por un violín y por una flauta suena distinta por el **timbre**.
- El oído no es igual de sensible a todas las frecuencias: oye mejor entre unos 2000 y 5000 Hz. Por eso las medidas de ruido ambiental usan una ponderación que imita al oído, el **dB(A)** (la que usa la normativa española que verás después).
- El **tono** no tiene nada que ver con lo fuerte que suena: «subir el volumen» aumenta la intensidad, no la frecuencia.

Cualidad	Qué percibimos	De qué depende
Tono (altura)	Agudo o grave	De la **frecuencia**: más frecuencia, más agudo
Intensidad (sonoridad)	Fuerte o débil	De la **amplitud** (y de la distancia a la fuente): la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud
Timbre	Qué instrumento o qué voz es	De la **forma de la onda**: los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental y su intensidad relativa

ORDENAR FRECUENCIAS (EXTREMADURA LO PIDIÓ EN 2025)

Un tren pita a 800 Hz. Para un viajero del tren, para alguien a quien el tren se acerca y para alguien de quien se aleja, ¿quién oye el sonido más agudo y quién el más grave?

Respuesta modelo

El tono lo da la frecuencia percibida. El viajero se mueve con la fuente: oye **800 Hz**. Si el tren se acerca, el efecto Doppler (más abajo) da una frecuencia **mayor**: es el más **agudo**. Si se aleja, la frecuencia es **menor**: es el más **grave**. Orden de agudo a grave: se acerca > viajero > se aleja.

Por qué puntúa. Di siempre «más agudo porque su frecuencia es mayor»: la relación tono-frecuencia es lo que puntúa.

3 Intensidad de una onda sonora y su atenuación con la distancia

La **intensidad** I de una onda es la energía que atraviesa cada segundo una superficie de 1 m² perpendicular a la dirección de propagación: es la **potencia por unidad de área**, en **W/m²**. Una fuente puntual que emite con potencia P igual en todas direcciones reparte esa potencia sobre esferas cada vez mayores.

- **Definición:** $I = \frac{P}{S}$. Para una **fuente puntual que emite en todas direcciones** (onda esférica), la superficie es la de una esfera:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

- **La potencia de la fuente no cambia con la distancia** (si el medio no absorbe): lo que cambia es el área sobre la que se reparte. Por eso $P = 4\pi r_1^2 I_1 = 4\pi r_2^2 I_2$ y

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

- **Ley del inverso del cuadrado:** a doble distancia, la cuarta parte de intensidad; a triple, la novena parte. Esta disminución por el reparto geométrico se llama **atenuación** (no hay pérdida de energía).
- **Lee la geometría del enunciado.** Si la fuente emite solo **en una semiesfera** (una sirena sobre el suelo o en un barco), el área es $2\pi r^2$ y $I = P/(2\pi r^2)$. Aragón 2025 (extraordinaria) lo preguntó así y su solución avisa: «si se responde considerando emisión esférica y el resultado es correcto, se puntuará con 0,4 puntos» (de 0,5).
- Una **onda plana** ideal (frentes paralelos) no se atenúa con la distancia: su área no crece.
- Además, los medios reales **absorben** parte de la energía (la convierten en calor): la intensidad baja más de lo que dice el inverso del cuadrado. En los problemas de la PAU de 2025–2026 se ha supuesto siempre que no hay absorción. Madrid la excluye por escrito: «No absorción (No en Bachillerato): es decir, no habrá cálculos en los que se pida determinar el coeficiente de absorción.(ley exponencial)» (presentación de la Comisión 2025-26; pendiente de confirmar para 2027).
- La intensidad es proporcional al **cuadrado de la amplitud** y al **cuadrado de la frecuencia** (Tema 13). Por eso, como $I \propto 1/r^2$, la amplitud de una onda esférica disminuye como $1/r$.

INTENSIDAD A DOS DISTANCIAS

Un altavoz emite 0,10 W de potencia sonora en todas direcciones. Calcula la intensidad a 10 m y a 20 m.

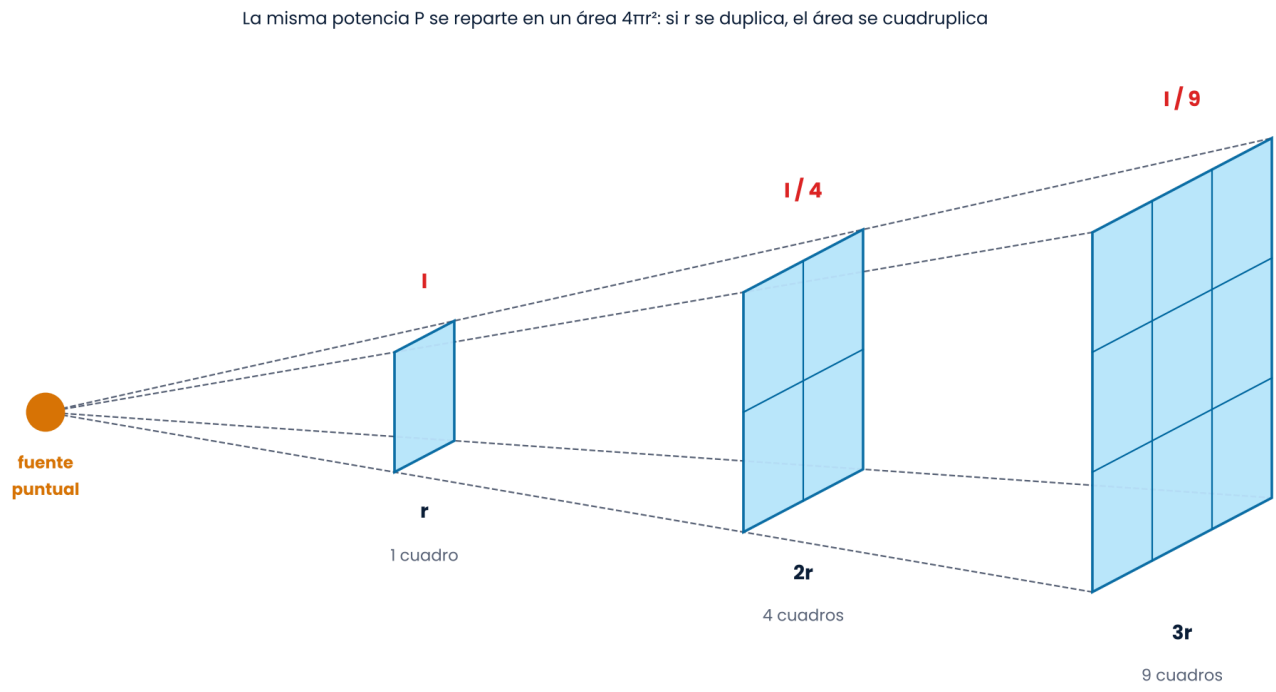
Respuesta modelo

$I_{10} = \dfrac{P}{4\pi r^2} = \dfrac{0{,}10}{4\pi \cdot 10^2} = 7{,}96 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{W/m^2}$. A doble distancia, la cuarta parte: $I_{20} = \dfrac{7{,}96 \cdot 10^{-5}}{4} = 1{,}99 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{W/m^2}$.

Por qué puntúa. Con el cociente $(r_1/r_2)^2$ no hace falta volver a calcular $4\pi r^2$.

Atenuación y absorción: qué dicen las comisiones

Extremadura: sus Aspectos curriculares del Bloque C (acuerdos de 12-03-2026) dicen «No se incluye: atenuación, absorción» y «No se incluye: expresiones de la velocidad de propagación del sonido en diferentes medios» (2025-26; pendiente de confirmar para 2027); aun así, su modelo de 2027 pide la intensidad a doble distancia «suponiendo propagación esférica y sin pérdidas adicionales», así que el inverso del cuadrado sí entra. **Madrid** excluye solo la absorción (2025-26; pendiente de confirmar para 2027) e incluye «los conceptos de energía, potencia e intensidad en las ondas (planas y esféricas), con especial atención a las ondas sonoras». **La Rioja** y la **Comunitat Valenciana** citan en su currículo la atenuación y el umbral de audición, y **Castilla y León** (Decreto 40/2022), la «Intensidad de una onda y fenómenos de atenuación y absorción».



Ley del inverso del cuadrado. La potencia que atraviesa un cuadro a la distancia r se reparte en 4 cuadros a $2r$ y en 9 a $3r$: la intensidad pasa a ser $I/4$ y $I/9$.

4 Nivel de intensidad sonora: la escala de decibelios

El oído responde a intensidades enormemente distintas: desde 10^{-12} W/m² (lo más débil que se oye) hasta más de 1 W/m² (dolor). Para manejar esos números y porque la sensación de sonoridad crece de forma aproximadamente logarítmica, se usa el **nivel de intensidad sonora** β, en **decibelios (dB)**.

- **Definición:**

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \qquad I_0 = 10^{-12}\ \mathrm{W/m^2}$$

donde $\log$ es el logaritmo decimal e I_0 es la **intensidad umbral de audición** (a 1000 Hz).

- **Para despejar la intensidad:**

$$I = I_0 \cdot 10^{\beta/10}$$

Ejemplo: 60 dB son $I = 10^{-12} \cdot 10^{6} = 10^{-6}$ W/m².

- **El decibelio no es una unidad del SI**, pero las comisiones lo admiten: Andalucía y Murcia lo citan entre las unidades que se pueden usar («día, hora y minuto, unidad astronómica, grado sexagesimal, decibelio, electronvoltio…»). Pon «dB» siempre detrás del número.
- **0 dB no es silencio absoluto**: es $I = I_0$, el umbral de audición. Un sonido con $I < I_0$ tiene nivel negativo.
- **Tres atajos que salen de la definición:** multiplicar la intensidad por 10 suma **10 dB**; multiplicarla por 2 suma $10 \log 2 =$ **3,01 dB**; **duplicar la distancia** a una fuente puntual resta $10 \log 4 = 20 \log 2 =$ **6,02 dB**.
- **Diferencia de niveles entre dos puntos:** $\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \dfrac{I_2}{I_1} = 20 \log \dfrac{r_1}{r_2}$. Sirve para sacar una distancia sin conocer la potencia.
- **Problema tipo**, en cualquier sentido de esta cadena: $P \leftrightarrow I = \dfrac{P}{4\pi r^2} \leftrightarrow \beta = 10 \log \dfrac{I}{I_0}$. Si te dan β y piden P o r, primero $I = I_0\, 10^{\beta/10}$ y después la ley del inverso del cuadrado.

DE LA POTENCIA AL NIVEL Y DEL NIVEL A LA INTENSIDAD

a) Calcula el nivel de intensidad a 10 m del altavoz de 0,10 W del apartado anterior. b) ¿Qué intensidad corresponde a 85 dB?

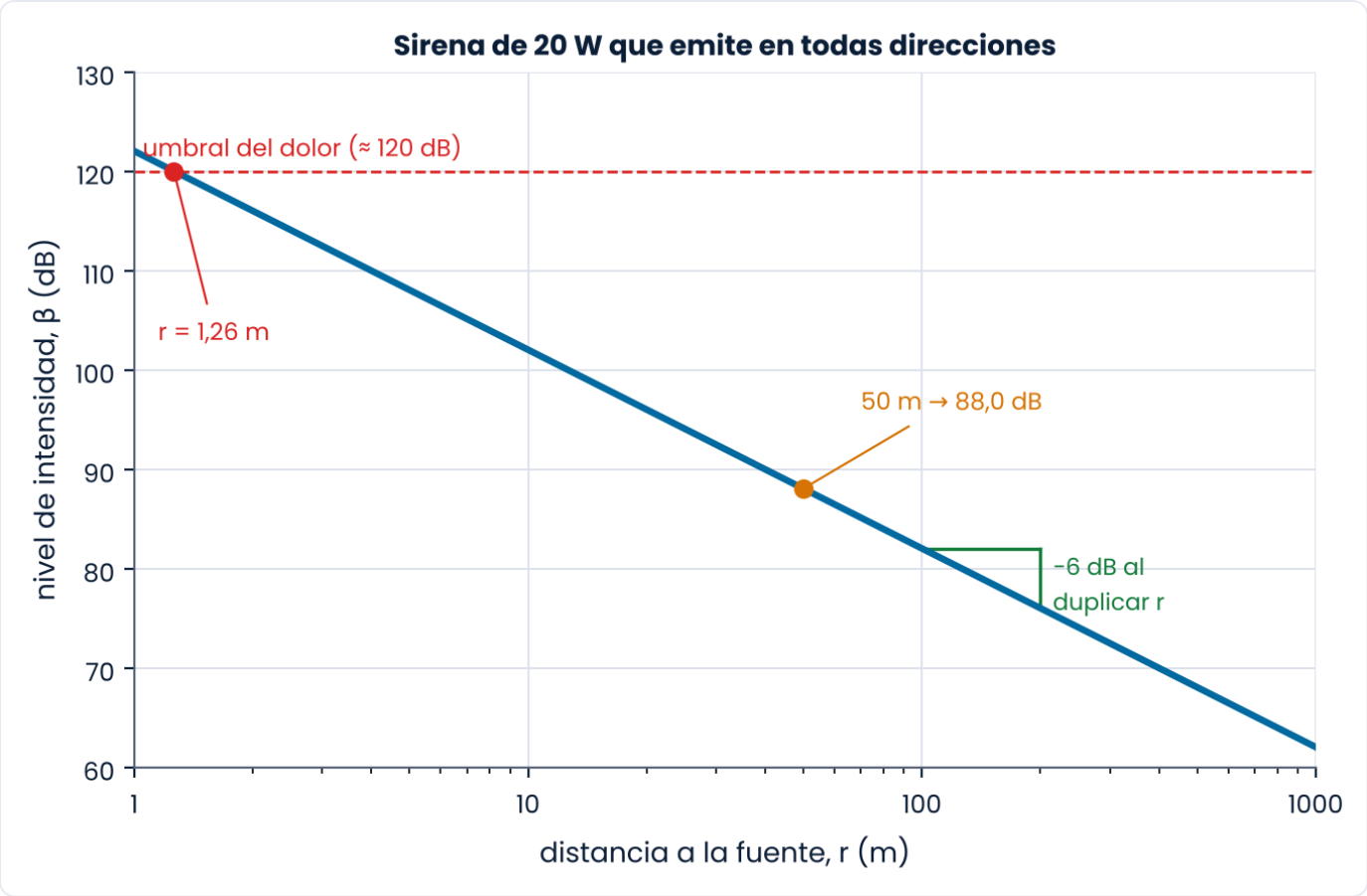
Respuesta modelo

a) $I = 7{,}96 \cdot 10^{-5}$ W/m², así que $\beta = 10 \log \dfrac{7{,}96 \cdot 10^{-5}}{10^{-12}} = 10 \log(7{,}96 \cdot 10^{7}) = 79{,}0$ dB. A 20 m: $79{,}0 - 6{,}0 = 73{,}0$ dB. b) $I = 10^{-12} \cdot 10^{8{,}5} = 3{,}16 \cdot 10^{-4}$ W/m².

Por qué puntúa. Comprueba el orden de magnitud: entre 70 y 80 dB, la intensidad está entre 10^{-5} y 10^{-4} W/m².

Erratas oficiales con el I_0: usa siempre 10^{-12} W/m²

Navarra 2026 (extraordinaria, 3.B) imprimió «I0 = 10¹² Wm⁻²»: es 10^{-12} W/m². La solución oficial de Aragón 2026 (ordinaria, 3d) escribe $I = 5{,}97 \times 10^{3}$ «V/m²»: es $5{,}97 \cdot 10^{-3}$ W/m², aunque el nivel que da después es correcto. Si un dato es físicamente absurdo (una intensidad umbral de un billón de W/m²), escribe el valor correcto y dilo en una línea: te lo valoran.



Nivel de intensidad frente a la distancia (eje horizontal logarítmico) para una sirena de 20 W que emite en todas direcciones, la del ejercicio resuelto de Canarias. Es una recta que baja 6 dB cada vez que la distancia se duplica: a 50 m se miden 88,0 dB y los 120 dB del umbral del dolor se alcanzan a 1,26 m.

5 Varias fuentes: se suman intensidades, nunca decibelios

Si suenan a la vez varias fuentes **incoherentes** (altavoces, violines, personas, máquinas: no mantienen una diferencia de fase fija), en un punto se **suman sus intensidades**, no sus niveles. Es una pregunta frecuente y el error clásico es sumar decibelios. (Las fuentes coherentes que interfieren, como dos altavoces con la misma señal, son del Tema 13.)

- **N fuentes iguales** a la misma distancia: $I_{\text{total}} = N\, I_1$, así que

$$\beta_N = \beta_1 + 10 \log N$$

  Dos fuentes iguales: **+3 dB**; diez: **+10 dB**; cien: **+20 dB**.
- **Para despejar N:** $N = 10^{(\beta_N - \beta_1)/10}$. Si sale decimal y piden «el número máximo» sin superar un límite, **redondea hacia abajo**.
- **Fuentes distintas**: si una es mucho más intensa, manda ella. 60 dB y 63 dB juntos dan 64,8 dB, no 123 dB.
- **Fuentes en puntos distintos**: calcula la distancia de cada fuente al punto (con Pitágoras si hace falta) y suma las intensidades. Galicia lo incluye por escrito: «A determinación da intensidade acústica en decibelios producida por unha ou varias fontes sonoras» [la determinación de la intensidad acústica en decibelios producida por una o varias fuentes sonoras] (orientaciones de Física 2025-26, vigentes en 2026-27).

Pasa cada nivel a intensidad: $I_i = I_0\, 10^{\beta_i/10}$ (o calcula cada $I_i = P_i/4\pi r_i^2$).

↓

Suma las intensidades: $I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots$

Vuelve a decibelios: $\beta_{\text{total}} = 10\log(I_{\text{total}}/I_0)$.

DOS FUENTES DISTINTAS

En un punto llegan dos sonidos de 60 dB y 63 dB de fuentes independientes. ¿Qué nivel se mide?

Respuesta modelo

$I_1 = 10^{-12} \cdot 10^6 = 1{,}00 \cdot 10^{-6}$ W/m²; $I_2 = 10^{-12} \cdot 10^{6{,}3} = 2{,}00 \cdot 10^{-6}$ W/m². Suma: $3{,}00 \cdot 10^{-6}$ W/m². $\beta = 10\log(3{,}00 \cdot 10^6) = 64{,}8$ dB.

Por qué puntúa. 63 dB es el doble de intensidad que 60 dB (3 dB más): por eso la suma es el triple de I_1.

¿CUÁNTAS FUENTES HACEN FALTA?

Cada máquina de un taller produce 70 dB en el puesto de un trabajador. ¿Cuántas máquinas iguales hacen falta para llegar a 80 dB?

Respuesta modelo

$80 = 70 + 10\log N \Rightarrow \log N = 1 \Rightarrow N = 10$ máquinas.

Por qué puntúa. Diez veces más intensidad son solo 10 dB más: la escala comprime mucho.

6 Umbrales, ruido y contaminación acústica

El **umbral de audición** es la intensidad mínima que se percibe ($I_0 = 10^{-12}$ W/m², 0 dB, a 1000 Hz). El **umbral del dolor** está en torno a **1 W/m² (120 dB)**; algunos libros lo ponen en 130 dB, pero los exámenes de la PAU que lo han preguntado usan 120 dB (Aragón y Murcia 2024, Canarias 2026). Por encima de unos 80–85 dB mantenidos durante horas, el oído se daña.

- La **Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido** define la **contaminación acústica** como la «presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente».
- El **Real Decreto 1367/2007**, que la desarrolla, fija los **objetivos de calidad acústica** de las zonas urbanizadas existentes con tres índices: L_d (día), L_e (tarde) y L_n (noche).
- En el trabajo manda el **Real Decreto 286/2006**: si la exposición diaria supera **80 dB(A)**, la empresa tiene que actuar (evaluar, informar y poner protectores a disposición); a partir de **85 dB(A)**, los protectores son obligatorios; el **valor límite** es **87 dB(A)**, contando la atenuación de los protectores.
- Medidas contra el ruido: actuar en la **fuente** (motores más silenciosos, asfalto fonoabsorbente), en el **camino** (pantallas acústicas, distancia: -6 dB cada vez que se duplica) y en el **receptor** (aislamiento de fachadas, protectores auditivos).
- Cantabria pide que el alumno «Analiza la intensidad de las fuentes del sonido de la vida cotidiana y las clasifica como contaminantes y no contaminantes» (concreción 38 de su matriz); La Rioja tiene la misma concreción (11) y Asturias pide «Asumir las actuaciones a llevar a cabo para minimizar la contaminación acústica en pro de la consecución de los objetivos ODS de la Agenda 2030» (indicador 49).

Tipo de área acústica (RD 1367/2007, anexo II, tabla A)	Ld (día)	Le (tarde)	Ln (noche)
Sanitario, docente y cultural (protección especial)	60	60	50
Residencial	65	65	55
Terciario (salvo recreativo)	70	70	65

Tipo de área acústica (RD 1367/2007, anexo II, tabla A)	Ld (día)	Le (tarde)	Ln (noche)
Recreativo y de espectáculos	73	73	63
Industrial	75	75	65

Valores en dB(A) para áreas urbanizadas existentes. Son niveles medios a lo largo del periodo, no de un instante.

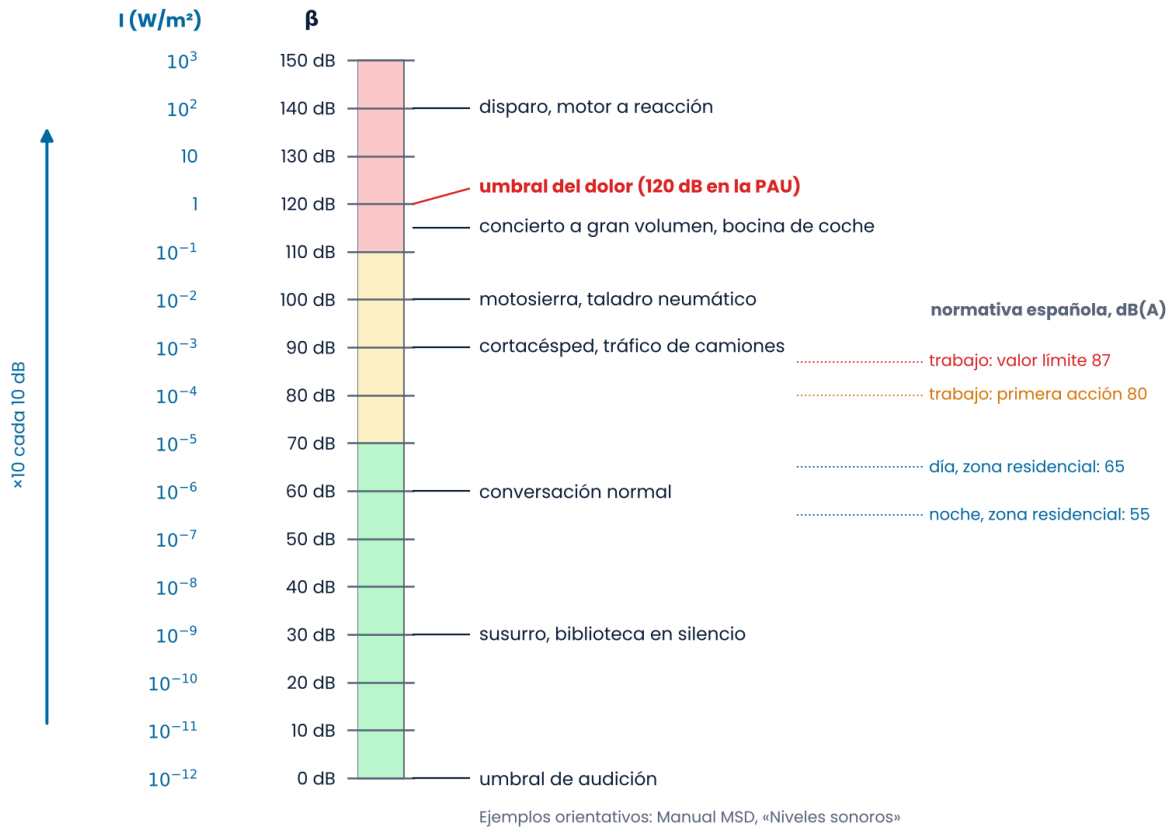
CUÁNTAS VECES MÁS INTENSIDAD

En una calle se miden 85 dB y el objetivo de calidad de una zona residencial de día es 65 dB. ¿Cuántas veces mayor es la intensidad medida?

Respuesta modelo

$\frac{I_{85}}{I_{65}} = 10^{(85-65)/10} = 10^2 = 100$. La intensidad es **100 veces** la permitida, aunque los números en dB solo difieran en 20.

Por qué puntúa. Simplificamos: la normativa usa dB(A) y niveles promediados, pero la relación logarítmica es la misma.



La escala de decibelios. Cada 10 dB, la intensidad se multiplica por 10: de 0 dB (10^{-12} W/m²) a 120 dB (1 W/m²) hay un factor de un billón. A la izquierda de la escala, ejemplos orientativos del Manual MSD; a la derecha, valores de la normativa española (en dB(A), con la ponderación que imita al oído).

7 Ultrasonidos y sus aplicaciones: eco, sónar y ecografía

Un **eco** es el sonido reflejado que vuelve al emisor. Midiendo el tiempo de ida y vuelta se calculan distancias: es la base del **sónar**, de la **ecolocalización** de murciélagos y delfines y de la **ecografía**. Se usan **ultrasonidos** porque su longitud de onda es pequeña y permiten ver detalles pequeños.

- **Distancia por eco:** si el sonido tarda t en ir y volver, $d = \frac{v\,t}{2}$. **Divide entre 2 solo si es un eco**: si el sonido va directo de la fuente al receptor (la ballena y el barco de Madrid 2025), $d = v\,t$.

- **Sónar:** un barco emite un pulso de ultrasonidos y mide el tiempo del eco en el fondo o en un banco de peces. Ejemplo: eco a los 0,80 s en el mar (1500 m/s): $d = 1500 \cdot 0{,}80/2 = 600$ m.
- **Ecografía:** una sonda emite pulsos de ultrasonidos de unos pocos megahercios y recoge los ecos en las superficies entre tejidos. En los tejidos blandos el sonido va a unos **1540 m/s**: a 5 MHz, $\lambda = 1540/(5 \cdot 10^6) = 0{,}31$ mm, y no se pueden distinguir detalles mucho menores que λ. Se considera muy segura porque no usa radiación ionizante.
- **Ecografía Doppler:** los ecos en los glóbulos rojos en movimiento vuelven con la frecuencia cambiada (efecto Doppler, siguiente apartado); de ese cambio se saca la velocidad de la sangre.
- **Otras aplicaciones:** limpieza por ultrasonidos y detección de grietas en piezas (ensayos no destructivos). La litotricia, que rompe cálculos renales, usa ondas de choque acústicas, que no son exactamente ultrasonidos.
- **Ecolocalización:** los murciélagos emiten ultrasonidos de decenas de kilohercios (en el modelo de 2026 de Castilla-La Mancha, uno caza un insecto y recibe su eco a 80 kHz) y localizan insectos por el eco.

8 El efecto Doppler: fuente y observador en movimiento

El **efecto Doppler** es el cambio de la **frecuencia percibida** cuando la fuente, el observador o ambos se mueven respecto al medio. Si **se acercan**, se percibe una frecuencia **mayor** (más aguda); si **se alejan**, **menor** (más grave). Es la sirena de una ambulancia que «baja de tono» justo al pasar a tu lado. El RD 243/2022 lo recoge como «Cambios en las propiedades de las ondas en función del desplazamiento del emisor y receptor».

- **Fuente en movimiento** (velocidad v_F): emite un frente cada periodo T, pero entre frente y frente se ha desplazado $v_F T$. **Delante** los frentes se juntan: $\lambda' = (v - v_F)/f$; **detrás** se separan: $\lambda' = (v + v_F)/f$. Como la onda sigue yendo a v, el observador quieto percibe $f' = v/\lambda'$.
- **Observador en movimiento** (velocidad v_O): la longitud de onda del aire no cambia, pero si va hacia la fuente se encuentra con los frentes a ritmo $(v + v_O)/\lambda$; si se aleja, a $(v - v_O)/\lambda$.
- **Fórmula general en una dimensión** (todas las velocidades respecto al aire, a lo largo de la recta que une fuente y observador):

$$f' = f\,\frac{v \pm v_O}{v \mp v_F}$$

  Signos de arriba cuando se acercan (numerador más grande, denominador más pequeño: $f' > f$) y **de abajo cuando se alejan**.
- **La regla que evita errores:** antes de sustituir, decide si la frecuencia percibida debe subir o bajar y elige los signos para que salga así. Lo que importa es el movimiento de cada uno **hacia el otro o en sentido contrario**, no si va «a la derecha».
- **No es simétrico:** con la misma velocidad, mover la fuente cambia más la frecuencia que mover al observador. Con $f = 500$ Hz y $v = 340$ m/s: fuente que se acerca a 30 m/s → 548 Hz; observador que se acerca a 30 m/s → $500 \cdot 370/340 = 544$ Hz.
- **Mientras la velocidad es constante y la fuente va por la recta que la une contigo, la frecuencia percibida es constante**: no va subiendo poco a poco al acercarse la ambulancia. Lo que cambia bruscamente es el salto de la frecuencia alta a la baja cuando pasa a tu lado (y la intensidad, que crece al acercarse). Si pasa a cierta distancia de ti (tú en la acera), solo cuenta la componente de su velocidad en la dirección que os une: la frecuencia baja de forma continua y más deprisa al cruzaros. En la PAU, Doppler en una dimensión.
- **Pasa siempre las velocidades a m/s**: 72 km/h = 20 m/s; 70 km/h = 19,4 m/s.

Dibuja la recta con la fuente, el observador y el sentido de cada velocidad; pasa todo a m/s.

↓

Decide para cada uno si se mueve **hacia** el otro o **alejándose**.

↓

Escribe $f' = f\,(v \pm v_O)/(v \mp v_F)$ con los signos que correspondan y comprueba que f' sube si se acercan y baja si se alejan.

↓

Si te dan f' y piden una velocidad, despeja: es una ecuación de primer grado.

↓

Interpreta: «más agudo» (frecuencia mayor) o «más grave» (menor).

Situación (v = velocidad del sonido)	Frecuencia percibida	Resultado
Fuente se acerca, observador quieto	$f' = f\,\frac{v}{v - v_F}$	$f' > f$
Fuente se aleja, observador quieto	$f' = f\,\frac{v}{v + v_F}$	$f' < f$
Observador se acerca, fuente quieta	$f' = f\,\frac{v + v_O}{v}$	$f' > f$
Observador se aleja, fuente quieta	$f' = f\,\frac{v - v_O}{v}$	$f' < f$
Se acercan los dos	$f' = f\,\frac{v + v_O}{v - v_F}$	$f' > f$
Se alejan los dos	$f' = f\,\frac{v - v_O}{v + v_F}$	$f' < f$

Asturias escribe la misma ley con un convenio de signos: $f_R = f_E\,\frac{v_s + v_R}{v_s + v_E}$, con $v_R > 0$ si el receptor se acerca al emisor y $v_E > 0$ si el emisor se aleja del receptor (criterios de 2025). Da los mismos resultados.

FUENTE QUE SE ACERCA Y SE ALEJA

Una moto con una bocina de 500 Hz pasa a 30 m/s junto a un peatón quieto ($v = 340$ m/s). ¿Qué frecuencias oye el peatón?

Respuesta modelo

Acercándose: $f' = 500 \cdot \frac{340}{340 - 30} = 548$ Hz (más aguda). Alejándose: $f' = 500 \cdot \frac{340}{340 + 30} = 459$ Hz (más grave).

Por qué puntúa. La subida (+48 Hz) y la bajada (−41 Hz) no son iguales: la fórmula no es lineal.

DESPEJAR LA VELOCIDAD

Una fuente de 500 Hz se acerca a un observador quieto, que percibe 548,4 Hz. ¿A qué velocidad va? ($v = 340$ m/s)

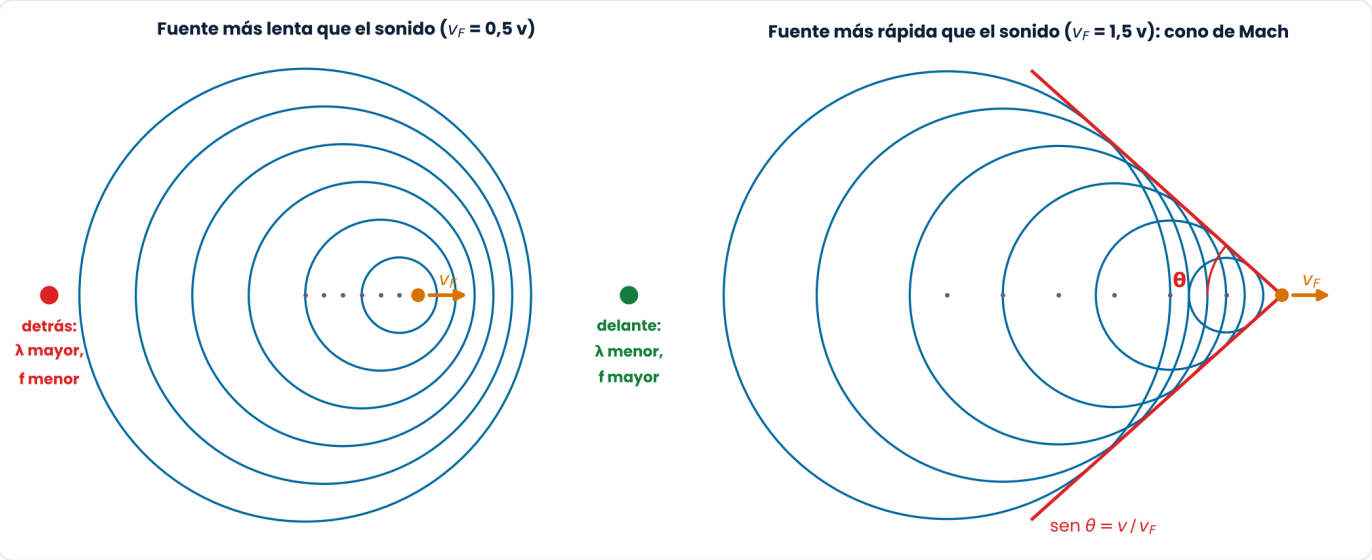
Respuesta modelo

$548{,}4 = 500 \cdot \frac{340}{340 - v_F} \Rightarrow 340 - v_F = \frac{500 \cdot 340}{548{,}4} = 310{,}0 \Rightarrow v_F = 30$ m/s.

Por qué puntúa. Si la frecuencia percibida es mayor que la emitida, se acercan: así razonas el «¿se acerca o se aleja?» que pidió Murcia en 2026.

Doppler por comunidades

Cataluña lo excluye para 2027: «No es demanarà: [...] L'efecte Doppler» [no se pedirá el efecto Doppler] (Orientacions per a l'examen de Física, PAU 2027). **Murcia** lo concreta para ondas sonoras «cuando se desplazan la fuente, el observador o ambos, en el caso unidimensional» (Especificaciones 2027) y **Castilla-La Mancha**, en el «caso unidimensional» (orientación Crue 2025-26): son concreciones, no exclusiones; en las dos entra. **Extremadura** fue muy dura en 2025: «Tanto si equivoca las frecuencias de la fuente y el observador, como si confunde los signos del denominador, las cuestiones a) y b) se califican con 0 puntos» (criterios de 2025). **Galicia** cita la «Explicación e recoñecemento do efecto Doppler en diferentes situacións» [explicación y reconocimiento del efecto Doppler en diferentes situaciones], sin problema numérico listado. En **Cantabria** está en la matriz como saber no prioritario (en negro): no es una exclusión.



Frentes de onda de una fuente en movimiento. Cada círculo se emitió cuando la fuente estaba en el punto gris de su centro. A la izquierda ($v_F = 0{,}5\,v$), los frentes se juntan delante (λ menor, frecuencia mayor) y se separan detrás. A la derecha ($v_F = 1{,}5\,v$), la fuente adelanta a sus propios frentes y estos se acumulan en un cono de Mach.

9 Doppler con eco, Doppler de la luz y barrera del sonido

Tres extensiones que caen como cuestión o como último apartado: el eco en un obstáculo (dos efectos Doppler seguidos), el Doppler de la luz (cualitativo) y lo que pasa cuando la fuente va más rápido que el sonido.

- **Doppler con eco (reflexión):** se resuelve en **dos pasos**. 1) El obstáculo es un **observador** que recibe f_1. 2) El obstáculo **reemite** (refleja) esa f_1 como una **fuente** y el receptor percibe f_2. Si el obstáculo está quieto, en el paso 2 solo cuenta el movimiento del receptor.
- **Murciélago que se acerca a una pared** a $u = 5$ m/s emitiendo 40 kHz: la pared recibe $f_1 = 40\,000 \cdot \dfrac{340}{340-5} = 40\,597$ Hz y el murciélago, que se acerca al eco, oye $f_2 = f_1 \cdot \dfrac{340+5}{340} = 41\,194$ Hz. En una sola fórmula: $f_2 = f\,\dfrac{v+u}{v-u}$.
- **Radar de tráfico y ecografía Doppler:** usan el mismo doble efecto. Si $u \ll v$, el cambio de frecuencia es $\Delta f \approx 2f\,u/v$: proporcional a la velocidad del coche o de la sangre.
- **Doppler de la luz** (cualitativo): una fuente de luz que se **aleja** se ve con longitudes de onda **mayores**, desplazadas hacia el rojo (**corrimiento al rojo**); si se **acerca**, hacia el azul. Para velocidades pequeñas frente a c, $\Delta\lambda/\lambda \approx v/c$. Así se mide la velocidad de las estrellas y se detectan exoplanetas, y el corrimiento al rojo de las galaxias lejanas es la prueba de la **expansión del universo** (ley de Hubble-Lemaître; lo ves en el Tema 6): en ese caso no es un Doppler propiamente dicho, sino el estiramiento del propio espacio, aunque para galaxias cercanas se calcula igual.

- **Barrera del sonido:** si la fuente se mueve a la velocidad del sonido ($v_F = v$, **Mach 1**), los frentes se acumulan delante en una onda de presión muy intensa. Si va más rápido ($v_F > v$, vuelo **supersónico**), los frentes forman un **cono de Mach** de semiángulo θ con

$$\operatorname{sen}\theta = \frac{v}{v_F}$$

  Al pasar el cono por el suelo se oye el **estampido sónico**. Para $v_F = 1{,}5\,v$, $\theta = 41{,}8^\circ$.
- El **número de Mach** es v_F/v, y v depende de la temperatura: a 11 km de altura, con unos -56,5 °C, el sonido va a unos 295 m/s, no a 340 m/s.
- Para fuentes supersónicas la fórmula de Doppler deja de valer (el denominador $v - v_F$ sería negativo): en la PAU solo se usa con $v_F < v$.

EL ECO QUE OYE EL CONDUCTOR

Un coche se acerca a 20 m/s a una pared tocando una bocina de 400 Hz ($v = 340$ m/s). ¿Qué frecuencia tiene el eco que oye el conductor?

Respuesta modelo

Paso 1, la pared (quieta) recibe de una fuente que se acerca: $f_1 = 400 \cdot \dfrac{340}{340 - 20} = 425$ Hz. Paso 2, el conductor (observador que se acerca) recibe de la pared (fuente quieta): $f_2 = 425 \cdot \dfrac{340 + 20}{340} = 450$ Hz.

Por qué puntúa. Un error habitual es aplicar una sola vez la fórmula y dar 425 Hz como frecuencia del eco que oye el conductor.

10 Qué te piden en tu comunidad

Resumen de lo que dicen los documentos oficiales de 2025-26 y 2026-27 y de lo que ha caído en las convocatorias ordinaria y extraordinaria de 2025 y 2026. «No ha caído» no significa «no entra»: solo lo excluye lo que un documento oficial excluye.

Comunidad	Qué dicen sus documentos	Qué ha caído (2025–2026)
Andalucía	El currículo andaluz recoge «Intensidad sonora. Escala decibélica» y el efecto Doppler; la concreción de contenidos de las Directrices 2026-27 no cita sonido ni Doppler, pero ningún documento los excluye. Admite el decibelio como unidad.	No ha caído.
Aragón	Sin exclusiones. El Doppler no está en los saberes de su currículo (Orden ECD/1173/2022), aunque sí en sus orientaciones; no ha caído. Da la velocidad del sonido (346 m/s en 2025) e I_0 en los datos del bloque.	dB de una sirena que emite en una semiesfera (2025 extraordinaria) y de uno y tres altavoces (2026 ordinaria).
Asturias	Indicadores 49 (umbral de audición, contaminación acústica y ODS), 50 (intensidad y nivel con la distancia) y 52 (Doppler). Convenio de signos propio para Doppler.	Doppler con eco en una montaña, estación de Campomanes (2025 ordinaria).
Illes Balears	El Decret 43/2025 cita el nivel de intensidad sonora y el Doppler. El formulario trae $I(\mathrm{dB}) = 10\log(I/10^{-12})$ e $I_1 \cdot 4\pi r_1^2 = I_2 \cdot 4\pi r_2^2$.	No ha caído (sí en el modelo de 2026).
Canarias	Matriz 2027: dB y Doppler en casos sencillos. Desde 2027, tres cifras significativas (-0,05 por error, máximo -0,1 por bloque).	Potencia y distancias en dB (2025 extraordinaria y 2026 ordinaria); ambulancia con Doppler y dB (2026 extraordinaria).
Cantabria	Concreciones 37 (relación logarítmica en dB «aplicándola a casos sencillos») y 38 (fuentes contaminantes), prioritarias; Doppler en negro (no prioritario, no excluido).	Nivel de 15 violines (2025 extraordinaria).

Comunidad	Qué dicen sus documentos	Qué ha caído (2025–2026)
Castilla-La Mancha	Orientación Crue: relación de la intensidad y el tono con la amplitud y la frecuencia; Doppler «en el caso unidimensional» (concreciones, no exclusiones). Pregunta fija de 0,5 puntos en el bloque de ondas.	No ha caído; Doppler en los modelos de 2026 (murciélago) y 2027 (ambulancia).
Castilla y León	Matriz: nivel de intensidad en casos sencillos; el Decreto 40/2022 añade atenuación y absorción.	Intensidad y dB en 2025 ordinaria, 2026 ordinaria (soprano) y 2026 extraordinaria (app del móvil).
Cataluña	Sí «Les qualitats del so i l'escala en què es mesura la intensitat i el nivell d'intensitat (decibel)»; «No es demanarà» el efecto Doppler (orientaciones PAU 2027).	dB de un móvil que vibra (2026 ordinaria) y de un elefante (2026 extraordinaria).
Comunitat Valenciana	Orientación 2026-27: relación logarítmica en dB; el Decreto 108/2022 cita atenuación, umbral y contaminación acústica.	Dos compresores (2025 ordinaria) y la mascletà de Alicante (2025 extraordinaria); además, vuvuzelas en la extraordinaria extra de julio de 2025 por la DANA (fuera del recuento de 68).
Extremadura	«No se incluye: atenuación, absorción» ni las expresiones de la velocidad del sonido en distintos medios (Aspectos curriculares del Bloque C; 2025-26; pendiente de confirmar para 2027); la caída con $1/r^2$ sí entra (modelo 2027): lo que queda fuera es la absorción. Doppler con fuente u observador móviles; confundir los signos = 0 en los criterios de 2025.	Doppler de un tren (2025 ordinaria); el modelo 2027 trae Doppler y dB.
Galicia	Intensidad a una distancia y dB «dunha ou varias fontes sonoras» como problema; Doppler, explicación y reconocimiento.	No ha caído.
La Rioja	Matriz: intensidad y potencia, decibelios y fuentes contaminantes (concreción 11); el Decreto 43/2022 añade atenuación y umbral.	Fuegos artificiales (2025 ordinaria), soprano (2025 extraordinaria) y altavoz de un concierto (2026 ordinaria).
Madrid	Energía, potencia e intensidad de ondas planas y esféricas, «con especial atención a las ondas sonoras»; sin absorción (presentación 2025-26; pendiente de confirmar para 2027). Doppler en el Decreto 64/2022.	Ballena y sónar (2025 ordinaria).
Murcia	Especificaciones 2027: cualidades, dB, intensidad de una onda esférica y Doppler sonoro unidimensional. **No dan la velocidad del sonido en el aire (340 m/s)**: sábetela.	Alarma a 15 m (2025 extraordinaria) y ballena jorobada con dB y Doppler en el agua (2026 ordinaria).
Navarra	Sin exclusiones.	Concierto (2025 extraordinaria), ambulancia con Doppler y dB (2026 ordinaria) y nivel con errata en I_0 (2026 extraordinaria).
País Vasco	Sin exclusiones; la tabla de datos trae $v_{\text{sonido}} = 340$ m/s e I_0.	Uno y dos violines (2026 ordinaria).

Fuentes: los documentos de cada comisión citados en las fuentes y los exámenes de 2025–2026. Las intensidades umbral y las velocidades del sonido van casi siempre en el enunciado; Murcia es la excepción con la velocidad del sonido en el aire.

11 Ejercicio resuelto: Doppler, intensidad y umbral del dolor de una ambulancia (Canarias 2026)

PAU CANARIAS 2026 · CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA · BLOQUE III, PREGUNTA 5 (A ELEGIR ENTRE LA 5 Y LA 6; 3 PUNTOS)

Una ambulancia se desplaza por una calle recta con una velocidad constante de 72 km/h haciendo sonar su sirena, que emite un sonido de frecuencia 800 Hz, velocidad 340 m/s y una potencia de 20 W. Un observador está parado en la acera. Calcule:

a) La frecuencia que percibe el observador cuando la ambulancia se acerca y cuando se aleja de él. (1 punto)

b) La intensidad sonora y el nivel de intensidad (en decibelios) que percibe el observador cuando la ambulancia está a 50 m de distancia, considerando que el umbral de audición es I0=10⁻¹² W/m [así en el examen; la versión resuelta oficial escribe W/m²] (1 punto)

c) Si el umbral del dolor se sitúa en 120 dB, ¿a qué distancia mínima de la ambulancia debería estar el observador para no sentir dolor? (1 punto)

Apartado a)

1. **La idea:** la fuente (la sirena) se mueve y el observador está quieto: efecto Doppler con fuente móvil, $f' = f\,\dfrac{v}{v \mp v_F}$. Al acercarse, la frecuencia percibida tiene que ser mayor (signo −); al alejarse, menor (signo +).
2. Pasa la velocidad a m/s: $v_F = 72\ \text{km/h} = \dfrac{72\,000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = 20\ \text{m/s}$.
3. Se acerca:

$$f'_{\text{acerca}} = 800 \cdot \frac{340}{340 - 20} = 800 \cdot \frac{340}{320} = 850\ \text{Hz}$$

4. Se aleja:

$$f'_{\text{aleja}} = 800 \cdot \frac{340}{340 + 20} = 800 \cdot \frac{340}{360} = 755{,}6\ \text{Hz} \approx 756\ \text{Hz}$$

SOLUCIÓN 850 Hz cuando se acerca (más agudo) y 756 Hz cuando se aleja (más grave). Al pasar la ambulancia, el observador oye un salto de unos 94 Hz.

Apartado b)

1. **La idea:** la sirena es una fuente puntual que emite en todas direcciones: su potencia se reparte sobre una esfera de radio r. Después, el nivel con la definición de decibelio.
2. $$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{20}{4\pi \cdot 50^2} = 6{,}37 \cdot 10^{-4}\ \text{W/m}^2$$
3. $$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{6{,}37 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} = 10 \log(6{,}37 \cdot 10^{8}) = 88{,}0\ \text{dB}$$

SOLUCIÓN $I = 6{,}37 \cdot 10^{-4}$ W/m² y $\beta = 88{,}0$ dB: un ruido fuerte, cerca de los 90 dB del tráfico de camiones, pero por debajo del umbral del dolor.

Apartado c)

1. **La idea:** el umbral del dolor fija una intensidad máxima; con la ley del inverso del cuadrado se saca la distancia a la que se alcanza. Más cerca, la intensidad sería mayor.
2. Intensidad del umbral del dolor: $I_{\text{dolor}} = I_0 \cdot 10^{120/10} = 10^{-12} \cdot 10^{12} = 1\ \text{W/m}^2$.
3. $$r = \sqrt{\frac{P}{4\pi I_{\text{dolor}}}} = \sqrt{\frac{20}{4\pi \cdot 1}} = 1{,}26\ \text{m}$$

4. Como I disminuye al aumentar r, para no superar 120 dB hay que estar **a 1,26 m o más**.

SOLUCIÓN $r \geq 1{,}26$ m: solo muy cerca de la sirena se llegaría al umbral del dolor.

Lo que puntúa. Los criterios de Canarias 2026 no reparten puntos dentro de cada apartado, pero exigen que «Las respuestas numéricas deben estar debidamente justificadas con el planteamiento del problema (expresión teórica, sustitución de los datos, y el cálculo de la solución)». Restan 0,1 por «La ausencia o incorrección en las unidades de una magnitud física, ya sea un dato o un resultado parcial o final» (en 2027, solo en el resultado final) y 0,1 por error en los prefijos o por un factor múltiplo de 10. Plantear mal la ley («ecuaciones, leyes incorrectas») es error grave y puede anular el apartado. La resolución oficial publicada por la Consejería (2-10-2026) da 850 Hz y 756 Hz, $6{,}37 \cdot 10^{-4}$ W/m², 88,0 dB y $r \geq 1{,}26$ m, y razona en el a) que al acercarse «la frecuencia recibida será mayor y el sonido será más agudo». Desde 2027, tres cifras significativas (nota aclaratoria de la misma resolución).

Error típico que te quita puntos. Poner el signo al revés en el denominador (dar 756 Hz al acercarse) o no pasar los 72 km/h a m/s (con 72 en el denominador saldría 1015 Hz, absurdo). En el c), dar «r ≤ 1,26 m»: más cerca de la sirena la intensidad crece, así que la condición es estar a esa distancia o más.

12 Ejercicio resuelto: profundidad, potencia y nivel del canto de una ballena (Madrid 2025)

PAU COMUNIDAD DE MADRID 2025 · CONVOCATORIA ORDINARIA · PREGUNTA 3.A (BLOQUE VIBRACIONES Y ONDAS; A ELEGIR ENTRE 3.A Y 3.B; 2,5 PUNTOS)

Una ballena sumergida en el mar a una cierta profundidad emite un potente sonido grave de 60 Hz y 25 m de longitud de onda. Un barco A, situado sobre su vertical, detecta dicho sonido con su sónar 80 ms después de ser emitido, y poco tiempo después es detectado por otro barco B situado a 300 m del barco A. Dato: Intensidad umbral, I0 = 1 · 10⁻¹² W m⁻². [Figura de la solución oficial: la ballena en el fondo, el barco A justo encima a una profundidad h y el barco B en la superficie a una distancia D = 300 m de A; la distancia de la ballena a B es la hipotenusa d.]

a) Halle la profundidad a la que se encuentra la ballena. (1 punto)

b) Si el barco A recibe el sonido con una intensidad de 3 μW m⁻², calcule la potencia del sonido emitido por la ballena y el nivel de intensidad sonora que detectará el barco B. (1,5 puntos)

Apartado a)

1. **La idea:** no te dan la velocidad del sonido en el agua, pero sí la frecuencia y la longitud de onda: $v = \lambda f$ (Tema 13). Luego, distancia = velocidad × tiempo.
2. $v = \lambda f = 25 \cdot 60 = 1500\ \mathrm{m/s}$, el valor típico del sonido en el agua de mar (unas 4,4 veces el del aire).
3. El sonido va **directamente** de la ballena al barco A (no es un eco que vaya y vuelva), así que no se divide entre 2:

$$h = v\,t = 1500 \cdot 0{,}080 = 120\ \mathrm{m}$$

SOLUCIÓN La ballena está a 120 m de profundidad.

Apartado b)

1. **La idea:** la ballena es una fuente puntual que emite en todas direcciones. Con la intensidad en A y la distancia h se obtiene la potencia; con la potencia y la distancia a B, la intensidad en B y su nivel.

2. Potencia:

$$P = 4\pi h^2 I_A = 4\pi \cdot 120^2 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0{,}543 \text{ W}$$

3. Distancia de la ballena a B (Pitágoras con la profundidad y la separación entre barcos): $d = \sqrt{D^2 + h^2} = \sqrt{300^2 + 120^2} = 323{,}1$ m.

4. Intensidad en B, con la ley del inverso del cuadrado:

$$I_B = I_A \left(\frac{h}{d}\right)^2 = 3 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{120}{323{,}1}\right)^2 = 4{,}14 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$$

5. Nivel:

$$\beta_B = 10 \log \frac{4{,}14 \cdot 10^{-7}}{10^{-12}} = 56{,}2 \text{ dB}$$

SOLUCIÓN $P = 0{,}543$ W y $\beta_B = 56{,}2$ dB (la solución oficial da 56,17 dB). En A el nivel sería 64,8 dB: B está 2,7 veces más lejos y recibe unos 8,6 dB menos.

Lo que puntúa. Criterios específicos de Madrid: «En la corrección de las preguntas se tendrá en cuenta el proceso seguido en la resolución de las mismas, valorándose positivamente la identificación de los principios y leyes físicas involucradas»; «Se valorará positivamente la inclusión de pasos detallados, así como la realización de diagramas, dibujos y esquemas» y «el uso correcto de las unidades en el Sistema Internacional»; la nota de cada apartado va «desglosada en múltiplos de 0,25 puntos». La solución oficial obtiene $v = \lambda f = 1500$ m/s, $h = vt = 120$ m, $P = 4\pi I_A h^2 = 0{,}543$ W, $d = \sqrt{D^2 + h^2} = 323$ m, $I_B = 0{,}414$ μW m⁻² y $\beta = 56{,}17$ dB, con un esquema de la ballena y los dos barcos.

Error típico que te quita puntos. Usar 300 m como distancia de la ballena al barco B (la distancia es la hipotenusa, 323 m; con 300 m saldrían 56,8 dB), dividir el tiempo entre 2 como si fuera un eco (daría 60 m) o usar 340 m/s, que es la velocidad en el aire.

13 Ejercicio resuelto: nivel sonoro de uno y de tres altavoces en las fiestas (Aragón 2026)

PAU ARAGÓN 2026 · CONVOCATORIA ORDINARIA · BLOQUE 3, PREGUNTA 3D (A ELEGIR DOS ENTRE 3B, 3C Y 3D; 1 PUNTO)

Las fiestas de mi pueblo son las mejores, digan lo que digan. Ponen un altavoz en la plaza que se escucha desde mi casa, a 200 m de distancia. Me ha dicho el alcalde que el altavoz tiene una potencia de 3000 W y que se escucha en todas las direcciones. Datos del bloque 3: Umbral de intensidad sonora (I0): 10^{-12} W/m².

i) ¿Qué nivel sonoro (en dB) mediría en mi casa? (0,75 puntos)

ii) Y si hubiera tres altavoces iguales, ¿qué nivel sonoro (en dB) mediría? (0,25 puntos)

Apartado i)

1. **La idea:** «se escucha en todas las direcciones» quiere decir que la potencia se reparte sobre una esfera: $I = P/(4\pi r^2)$. Luego, la definición de nivel.

2. $$I = \frac{3000}{4\pi \cdot 200^2} = 5{,}97 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

3. $$\beta = 10\log\frac{5{,}97\cdot 10^{-3}}{10^{-12}} = 10\log(5{,}97\cdot 10^{9}) = 97{,}8\ \text{dB}$$

4. **Erratas de la solución oficial:** escribe la intensidad como «5,97 × 10³ V/m²» (es $5{,}97\cdot 10^{-3}$ W/m², como usa en la línea siguiente) y da 97,7 dB: con $10\log(5{,}968\cdot 10^{9}) = 97{,}76$, lo correcto al redondear es 97,8 dB. La diferencia no cambia la nota.

SOLUCIÓN Unos 97,8 dB en casa: casi 100 dB a 200 m, un nivel muy alto (muy por encima de los 65 dB(A) de objetivo diurno de una zona residencial).

Apartado ii)

1. **La idea:** con tres fuentes incoherentes se suman las **intensidades**, no los niveles: $I_3 = 3I$.

2. $$\beta_3 = 10\log\frac{3\cdot 5{,}97\cdot 10^{-3}}{10^{-12}} = 102{,}5\ \text{dB}$$

3. Comprobación con el atajo: $\beta_3 = \beta + 10\log 3 = 97{,}76 + 4{,}77 = 102{,}5$ dB.

SOLUCIÓN 102,5 dB: triplicar la potencia solo sube el nivel 4,8 dB.

Lo que puntúa. La solución oficial de Aragón calcula $I = P/(4\pi r^2)$, $L = 10\log(I/I_0) = 97{,}7$ dB y, «Si hubiese tres altavoces sería el triple de intensidad sonora», 102,5 dB. Según la estructura de Física 2025-26, «La falta de unidades en cualquier resultado, la omisión del carácter vectorial, los errores de redondeo o el uso incorrecto de los prefijos, tanto en resultados finales como en resultados intermedios conllevará una penalización de 0,1 puntos por cada uno, a no ser que se trate del mismo error, que solo se penalizará una vez». En una pregunta parecida (2025 extraordinaria, sirena en una semiesfera), si se usaba la esfera con el resultado bien calculado se daban 0,4 de 0,5: lee cómo emite la fuente.

Error típico que te quita puntos. Sumar decibelios: 3 · 97,8 = 293 dB es absurdo (más que cualquier explosión). También olvidar elevar al cuadrado los 200 m o usar $2\pi r^2$ cuando el enunciado dice «en todas las direcciones».

Conceptos clave

Onda sonora
Onda mecánica longitudinal de presión: las moléculas del medio oscilan en la dirección de propagación formando compresiones y enrarecimientos. No se propaga en el vacío.

Velocidad del sonido
Depende del medio (elasticidad y densidad) y, en el aire, de la temperatura: unos 340 m/s en el aire, 1500 m/s en el agua de mar, miles de m/s en los metales.

Tono
Cualidad que distingue sonidos agudos de graves; depende de la frecuencia.

Timbre
Cualidad que distingue dos instrumentos o voces que dan la misma nota; depende de la forma de la onda (sus armónicos).

Intensidad de una onda
Potencia que atraviesa la unidad de superficie perpendicular a la propagación, $I = P/S$, en W/m². Para una fuente puntual que emite en todas direcciones, $I = P/(4\pi r^2)$.

Ley del inverso del cuadrado
La intensidad de una onda esférica es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia: $I_2/I_1 = (r_1/r_2)^2$.

Atenuación

Disminución de la intensidad con la distancia porque la energía se reparte en una superficie mayor (sin pérdidas).

Absorción

Pérdida de energía de la onda en el medio, que la transforma en calor. No ha caído en 2025–2026; Madrid y Extremadura la excluyen por escrito (2025-26; pendiente de confirmar para 2027).

Nivel de intensidad sonora

$\beta = 10\log(I/I_0)$, en decibelios (dB), con $I_0 = 10^{-12}$ W/m².

Umbral de audición

Intensidad mínima audible, $I_0 = 10^{-12}$ W/m² a 1000 Hz; corresponde a 0 dB.

Umbral del dolor

Intensidad a partir de la cual el sonido produce dolor: en torno a 1 W/m², 120 dB.

Infrasonidos y ultrasonidos

Ondas sonoras de frecuencia menor que 20 Hz o mayor que 20 kHz, fuera del intervalo audible humano.

Contaminación acústica

Según la Ley 37/2003 del Ruido, presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, sus actividades o sus bienes, o efectos significativos sobre el medio ambiente.

dB(A)

Nivel en decibelios con una ponderación que imita la sensibilidad del oído a cada frecuencia; es el que usa la normativa de ruido.

Efecto Doppler

Cambio de la frecuencia percibida cuando la fuente y el observador se mueven uno respecto al otro: mayor si se acercan, menor si se alejan. $f' = f\,(v \pm v_O)/(v \mp v_F)$.

Corrimiento al rojo

Aumento de la longitud de onda de la luz de una fuente que se aleja (Doppler de la luz); el de las galaxias lejanas indica que el universo se expande.

Cono de Mach

Frente de onda cónico que forma una fuente más rápida que el sonido; su semiángulo cumple $\operatorname{sen}\theta = v/v_F$. Produce el estampido sónico.

MODO PAU

Siete claves que valen puntos

Inverso del cuadrado

$I = \frac{P}{4\pi r^2}$ si emite **en todas direcciones**; $2\pi r^2$ si el enunciado dice **semiesfera**. La potencia no cambia con la distancia.

Decibelios

$\beta = 10\log(I/I_0)$ y, al revés, $I = I_0\,10^{\beta/10}$. Escribe la fórmula **antes** de sustituir e $I_0 = 10^{-12}$ W/m² (aunque el enunciado traiga una errata).

Varias fuentes

Se suman **intensidades**, nunca decibelios. N fuentes iguales: $\beta_N = \beta_1 + 10\log N$.

Atajos

Intensidad ×2 → **+3 dB**; ×10 → **+10 dB**; distancia ×2 → **−6 dB**. Úsalos para comprobar resultados.

Signos del Doppler

Primero decide si f' sube (se acercan) o baja (se alejan) y luego elige signos en $f\,(v \pm v_O)/(v \mp v_F)$. En Extremadura, equivocarse de signo fue un 0 en los criterios de 2025.

Eco

Doppler con reflexión, en **dos pasos** (el obstáculo recibe y reemite). Distancia por eco: $d = vt/2$; sonido directo: $d = vt$.

Datos y unidades

km/h → m/s; W/m² para la intensidad; «dB» en el nivel. Usa la velocidad del sonido del enunciado (340, 343, 346 m/s); en Murcia no te la dan: 340 m/s.

Cómo te lo pueden preguntar

- Problema de intensidad y nivel en decibelios: calcular I y β a una distancia de una fuente de potencia conocida, o al revés la potencia, la distancia a la que se alcanza un nivel (umbral de audición, umbral del dolor, límite de ruido) o la intensidad a otra distancia: sale en 24 de las 68 convocatorias ordinarias y extraordinarias de 2025 y 2026, en 12 comunidades.
- Efecto Doppler con fuente u observador en movimiento (ambulancias, trenes, una ballena), a veces despejando la velocidad o razonando si se acerca o se aleja, y con eco en una montaña en Asturias: sale en 5 de las 68 convocatorias, en 5 comunidades (Asturias, Canarias, Extremadura, Murcia y Navarra).
- Varias fuentes iguales o distintas (altavoces, violines, compresores, el público de un concierto): en 2025–2026 ha caído en Aragón, Cantabria, la Comunitat Valenciana, Navarra y el País Vasco.
- Cuestiones razonadas: si el sonido es longitudinal o transversal (Cantabria 2025), ordenar frecuencias de la más aguda a la más grave (Extremadura 2025), comparar la frecuencia de un eco (Asturias 2025) o decidir si una fuente se acerca o se aleja (Murcia 2026).
- Combinado con el Tema 13: longitud de onda del sonido con $v = \lambda f$ (Castilla y León y Madrid), ecuación de la onda de un vibrador antes del nivel en dB (Cataluña 2026) o interferencia de dos fuentes (Cataluña 2026).

No lo confundas

- **Intensidad con nivel de intensidad.** La intensidad I es una potencia por unidad de área (W/m²); el nivel β es su logaritmo comparado con I_0 (dB). Duplicar I no duplica β: le suma 3 dB.
- **Potencia de la fuente con intensidad.** La potencia (W) es de la fuente y no cambia con la distancia; la intensidad (W/m²) depende de dónde estés.
- **Sumar decibelios con sumar intensidades.** Dos fuentes de 80 dB dan 83 dB, no 160 dB.
- **Tono con intensidad.** El tono (agudo o grave) depende de la frecuencia; la intensidad (fuerte o débil), de la amplitud. Un sonido agudo no es un sonido fuerte.

- **0 dB con silencio.** 0 dB es la intensidad umbral $I_0 = 10^{-12}$ W/m², no intensidad nula; por debajo, el nivel es negativo.
- **Velocidad de propagación con velocidad de la fuente.** La onda viaja a la velocidad del sonido en el medio, se mueva o no la fuente; lo que cambia con el movimiento es la frecuencia percibida (y λ delante y detrás de una fuente móvil).
- **Eco con sonido directo.** En un eco el sonido va y vuelve ($d = vt/2$); si va directo de la fuente al receptor, $d = vt$.
- **Atenuación con absorción.** La atenuación con $1/r^2$ es geométrica y no pierde energía; la absorción convierte energía en calor y no ha caído en 2025–2026 (Madrid y Extremadura la excluyen por escrito; 2025-26, pendiente de confirmar para 2027).

Ponte a prueba

PAU Navarra 2026 (ordinaria), Pregunta 3.B (Apartado 3, Vibraciones y ondas; a elegir entre 3.A y 3.B; 1,5 puntos). La sirena de una ambulancia emite un sonido con una frecuencia de 400 Hz y una potencia acústica constante de 15 W. Mientras la ambulancia realiza un servicio de emergencia, se desplaza por una avenida recta donde un vehículo particular circula a una velocidad constante de 72 km/h. En un momento determinado, cuando el vehículo y la ambulancia se aproximan entre sí, el conductor del vehículo percibe el sonido de la sirena con una frecuencia de 457 Hz. a) (0,5 puntos) ¿Qué velocidad lleva la ambulancia? b) (0,5 puntos) Si el vehículo particular se detiene ¿qué frecuencia percibirá el conductor una vez que la ambulancia le haya rebasado y se aleje de él? c) (0,5 puntos) Suponiendo que la sirena actúa como un emisor puntual, ¿cuál será el nivel de intensidad que percibirá el conductor cuando la ambulancia se encuentre a 50 metros de distancia de su posición? Datos: vsonido = 340 m/s; I0 = 10⁻¹² Wm⁻²

Solución: a) Se mueven los dos y se acercan: $f' = f\,\dfrac{v + v_O}{v - v_F}$, con $v_O = 72$ km/h $= 20$ m/s. $457 = 400 \cdot \dfrac{340 + 20}{340 - v_F} \Rightarrow 340 - v_F = \dfrac{400 \cdot 360}{457} = 315{,}1$ m/s $\Rightarrow v_F = 24{,}9$ m/s (unos 89,6 km/h). b) Observador quieto y fuente que se aleja: $f' = 400 \cdot \dfrac{340}{340 + 24{,}9} = 373$ Hz (más grave). c) $I = \dfrac{15}{4\pi \cdot 50^2} = 4{,}77 \cdot 10^{-4}$ W/m² y $\beta = 10 \log \dfrac{4{,}77 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} = 86{,}8$ dB. No hay solución oficial publicada; los criterios de Navarra dan hasta un 10 % por «La inclusión de un dibujo, esquema, tabla y/o sistema de referencia que ayude a interpretar la situación» y hasta un 25 % por «La referencia y expresión de la ley física»: dibuja los dos vehículos con sus velocidades y escribe la fórmula de Doppler antes de sustituir.

PAU Comunitat Valenciana 2025 (extraordinaria), Pregunta 4 – Cuestión – Vibraciones y ondas (obligatoria; 1,5 puntos). Al explotar el último de los petardos de una mascletà que se disparó en Alicante con motivo de Les Fogueres de Sant Joan, se midió un nivel sonoro de 90 dB a una distancia de 75 m del petardo. Suponiendo que las ondas sonoras son esféricas, calcula razonadamente la intensidad de la onda sonora a dicha distancia, la potencia sonora del petardo y la intensidad de la onda sonora a 125 m. Dato: intensidad sonora umbral, I0 = 10^{-12} W/m²

Solución: Intensidad a 75 m: $I_{75} = I_0 \cdot 10^{\beta/10} = 10^{-12} \cdot 10^{9} = 1{,}0 \cdot 10^{-3}$ W/m². Potencia: $P = 4\pi r^2 I = 4\pi \cdot 75^2 \cdot 10^{-3} = 70{,}7$ W. Intensidad a 125 m: $I_{125} = I_{75}\left(\frac{75}{125}\right)^2 = 10^{-3} \cdot 0{,}36 = 3{,}6 \cdot 10^{-4}$ W/m² (85,6 dB). Criterios oficiales: «0,5 conocer la relación entre nivel sonoro e intensidad de una onda sonora y calcular el valor de ésta, 0,5 calcular la potencia sonora, 0,5 aplicar la relación de la intensidad con la inversa del cuadrado de la distancia y calcular la intensidad de la onda».

PAU Asturias 2025 (ordinaria), Pregunta 6 (se contestan cinco preguntas cualesquiera de ocho; 2 puntos). El jefe de la estación de tren de Campomanes está sentado en un banco del andén mientras escucha el pitido de la locomotora de un tren emitido con una frecuencia de 1000 Hz, que se aleja de la estación dirigiéndose hacia el túnel de una montaña cercana, con una velocidad de 70 km/h. a) Justifica adecuadamente si la frecuencia del pitido que percibe el jefe de estación es igual, menor o mayor que la del pitido emitido directamente por la locomotora. (0.5 puntos) Mientras la locomotora se acerca al túnel, el sonido del pitido emitido se refleja en la montaña cercana. Compara la frecuencia del pitido de la locomotora que recibe la montaña, con la propia frecuencia del eco del pitido que perciben los siguientes observadores: b) el jefe de estación. (0.75 puntos) c) un viajero del tren. (0.75 puntos) [Tabla de constantes del examen: Vsonido = 340 m·s⁻¹.]

Solución: $v_T = 70$ km/h $= 19{,}4$ m/s. a) La fuente se aleja del jefe, que está quieto: $f_R = 1000 \cdot \frac{340}{340 + 19{,}4} = 946$ Hz, **menor** que la emitida (más grave). b) La montaña recibe de una fuente que se acerca: $f' = 1000 \cdot \frac{340}{340 - 19{,}4} = 1061$ Hz, **mayor**. La montaña reemite esa frecuencia y está quieta, igual que el jefe: el jefe oye el eco a **1061 Hz**, la misma que recibe la montaña. c) El viajero se acerca a la montaña (fuente quieta del eco): $f = 1061 \cdot \frac{340 + 19{,}4}{340} = 1121$ Hz, **mayor** aún. La solución oficial da 946 Hz, 1060,66 Hz y 1121,32 Hz con el convenio $f_R = f_E\,(v_s + v_R)/(v_s + v_E)$; los criterios restan 0,25 por no expresar la unidad correcta del resultado.

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»: ondas sonoras y sus cualidades; desplazamiento del emisor y receptor)
2. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido (BOE), artículos 1 y 3
3. Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido (objetivos de calidad acústica, anexo II, tabla A)
4. Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido (artículos 5 y 7)
5. Examen PAU Física Canarias 2026 (extraordinaria)
6. Criterios de corrección PAU Física Canarias 2026 (extraordinaria)
7. Gobierno de Canarias: prueba resuelta de Física, convocatoria extraordinaria de julio de 2026, con nota aclaratoria de cifras significativas 2026-2027 (2-10-2026)
8. Examen, criterios y soluciones PAU Física Madrid 2025 (ordinaria)
9. Examen y criterios PAU Física Aragón 2026 (ordinaria)

10. Examen y criterios PAU Física Aragón 2025 (extraordinaria): sirena que emite en una semiesfera
11. Examen PAU Física Navarra 2026 (ordinaria)
12. Examen PAU Física Comunitat Valenciana 2025 (extraordinaria)
13. Criterios PAU Física Comunitat Valenciana 2025 (extraordinaria)
14. Examen PAU Física Asturias 2025 (ordinaria)
15. Examen resuelto y criterios PAU Física Asturias 2025 (ordinaria)
16. Criterios PAU Física Extremadura 2025 (ordinaria): Doppler
17. Generalitat de Catalunya: «Orientacions per a l'examen de Física. PAU» (PAU 2027)
18. Universidad de Murcia: Especificaciones para el ejercicio de Física PAU 2027
19. Crue: Orientaciones de las materias de acceso, propuesta técnica 2025/2026, Física (publicada por la UCLM)
20. Universidad de Extremadura: Aspectos curriculares orientativos, Bloque C (acuerdos de 12-03-2026)
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. Universidad de Cantabria: «FÍSICA», saberes básicos, concreciones y estructura del ejercicio
24. CiUG: «Orientacións do grupo de traballo de Física. Curso 2025-26» (Galicia)
25. Comunitat Valenciana: Documento de orientación de Física (PAU) 2026-27
26. Universidad de Oviedo: «Información sobre la PAU. Curso 2025/2026. Física» (indicadores 49, 50 y 52)
27. Junta de Andalucía: Directrices y orientaciones generales de Física para la PAU 2026-27
28. Decret 43/2025, d'1 d'agost, currículum del batxillerat a les Illes Balears (Física)
29. P. A. Tipler y G. Mosca, Física para la ciencia y la tecnología, vol. 1, capítulo «Ondas viajeras» (intensidad, decibelios y efecto Doppler), Reverté
30. NIST Chemistry WebBook, «Thermophysical Properties of Fluid Systems»: agua a 0,101325 MPa (velocidad del sonido, formulación IAPWS-95)
31. TEOS-10, Thermodynamic Equation of Seawater 2010 (IOC, SCOR e IAPSO): velocidad del sonido en el agua de mar
32. Evident (Olympus): «Material Sound Velocities», velocidades ultrasónicas longitudinales en materiales comunes
33. Manual MSD (versión para profesionales): tabla «Niveles sonoros»

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) con niveles orientativos de la tabla «Niveles sonoros» del Manual MSD y valores del Real Decreto 1367/2007 y del Real Decreto 286/2006. · 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.