



Cursos de Extensión Universitaria

**Ciencia y arte:
dos caras de una misma realidad**



[jorgep.rodriguez](https://www.instagram.com/jorgep.rodriguez)

Jorge P. Rodríguez

Email: jorrodriguez@palma.uned.es

Horario

Viernes 9 de mayo

16:30-19:00 ¿Por qué el la de mi violín no suena igual que el de un oboe? La ciencia de la música, Jorge P. Rodríguez

19:00-21:30 Aproximaciones innovativas al arte desde la ciencia: el flamenco computacional, Pablo Rosillo

Sábado 10 de mayo

09:30-12:00 Creadores de ciencia: el arte de la investigación científica, Jorge P. Rodríguez

12:00-14:30 Números, medidas y proporciones: las matemáticas en la historia del arte, Judit Vega

UNED

ILLES
BALEARS

Cursos de Extensión Universitaria

**Ciencia y arte:
dos caras de una misma realidad**

**¿Por qué el la de mi violín no suena igual que
el de un oboe? La ciencia de la música**



[jorgep.rodriguez](https://www.instagram.com/jorgep.rodriguez)

Jorge P. Rodríguez

Email: jorrodriguez@palma.uned.es

Índice

Primera parte

Propiedades físicas del sonido

Segunda parte

Música, maestro: el buscador de números en la
partitura

¿Qué es el sonido?



Sonido

afinación

frecuencia

presión

onda

velocidad
Doppler

aire

periodo

longitud de onda

Ondas materiales



Imagen generada con Inteligencia Artificial

La presión: el aire pesa

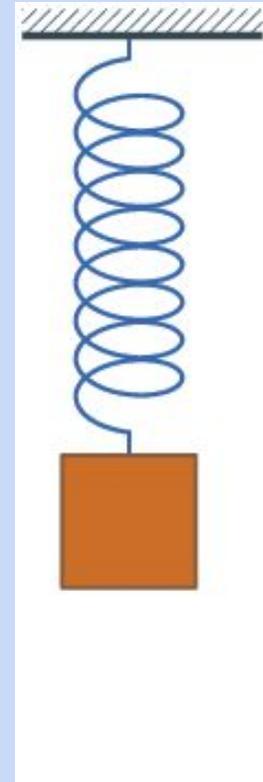
- Tres estados de agregación: sólido, líquido y gas
- Líquido y gas: fluidos. Sólidos: ¿pueden ser fluidos?
- Principio de Pascal: la fuerza ejercida sobre un punto en un fluido se transmite en todas direcciones con la misma intensidad: presión
- Aire atmosférico y presión: sentimos el peso (fuerza gravitatoria) de toda la atmósfera sobre nosotros.
- Presión a nivel del mar: 1013 hPa (mb). Como si, en cada metro cuadrado, hubiera una masa de 10 toneladas
- La presión disminuye con la altitud. Mal de altura

Ondas: ¿espacio vs tiempo?

Espacio



Tiempo



Espacio y tiempo: la ecuación de ondas

Elongación f : desviación del estado de equilibrio (sin onda)

f puede ser presión, campo eléctrico/magnético, distancia, probabilidad...

f va a ser una función de dos (o más) variables: el espacio (x) y el tiempo (t)

$$\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$$

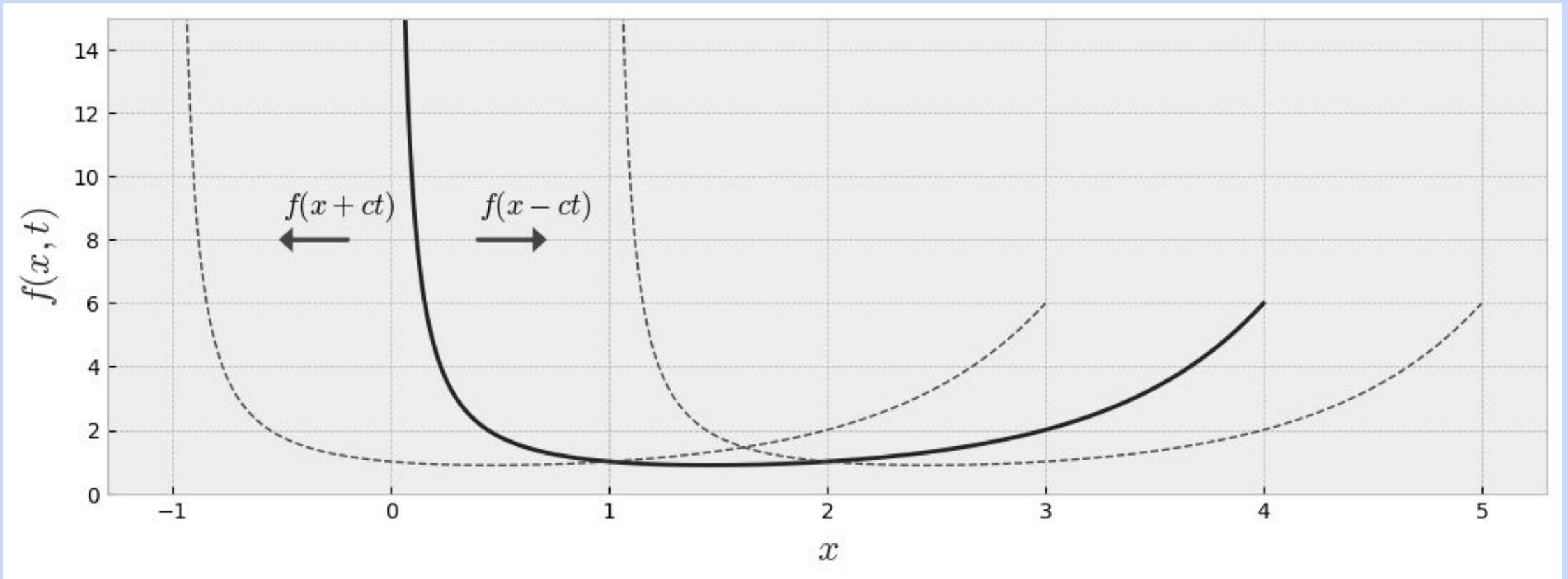
c : velocidad (espacio dividido por tiempo)

El cambio en el espacio está relacionado con el cambio en el tiempo

Si f depende de $x-ct$ o de $x+ct$, es una solución de la ecuación de ondas

Espacio y tiempo: la ecuación de ondas

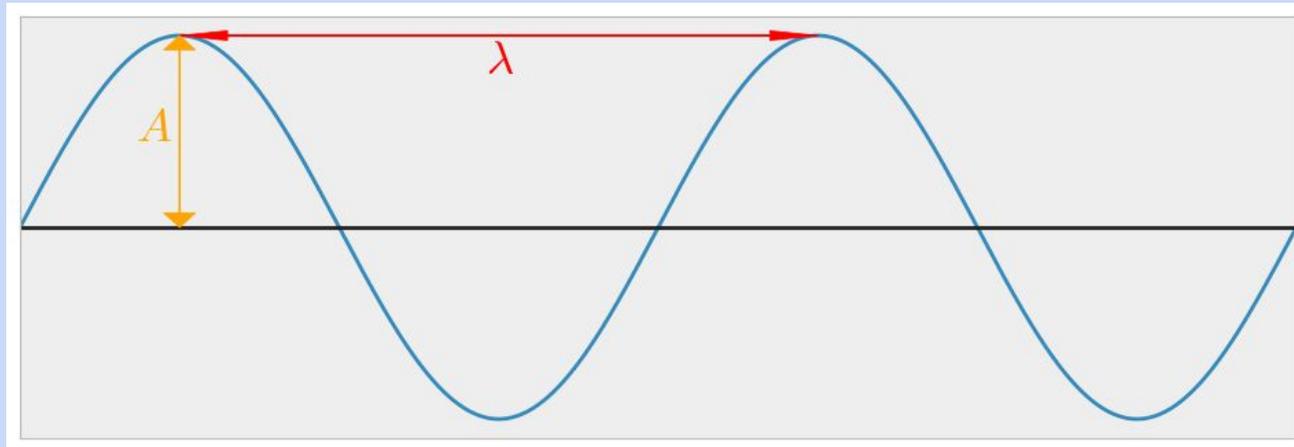
Si f depende de $x-ct$ o de $x+ct$, es una solución de la ecuación de ondas
Funciones que se propagan manteniendo su forma (por muy compleja que ésta pueda ser)



Soluciones armónicas

Funciones sinusoidales (senos y cosenos)

$$P = A \operatorname{sen}[2\pi(x/\lambda - vt)]$$



A : amplitud (Pa). Si A crece, mayor intensidad

λ : longitud de onda (m). **Espacial**. Distancia entre dos picos o dos valles

ν : frecuencia (Hz). **Temporal**. Número de oscilaciones por segundo. Tonos graves: baja frecuencia. Tonos agudos: alta frecuencia.

¿Qué detecta nuestro oído? La intensidad y la frecuencia de las vibraciones

$$c = \lambda \nu$$

La velocidad del sonido en un gas

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

γ : coeficiente adiabático. Monoatómico: 5/3, diatómico (aire): 7/5

R : constante del gas ideal, 8.31 J/(mol K)

T : temperatura absoluta

M : masa molar del gas (aire 28.97 g/mol)

Aire a 20°C (293 K): $c = 343$ m/s

Aplicación 1: ¿a qué distancia está la tormenta?

$$c^{\text{sonido}} = 343 \text{ m/s}$$

$$c^{\text{luz}} = 300,000 \text{ km/s}$$



Wikimedia Commons

Aplicación 2: pitufando

¿Qué pasa cuando inhalamos helio?

Helio: gas monoatómico

$$\gamma_{\text{He}} = 5/3 \approx 1.666$$

$$M_{\text{He}} = 4 \text{ g/mol}$$

Aire: gas diatómico

$$\gamma_{\text{aire}} = 7/5 = 1.4$$

$$M_{\text{aire}} = 28.97 \text{ g/mol}$$

$$c_{\text{He}}/c_{\text{aire}} \approx 2.93$$

$$c = \lambda \nu$$

¡Casi el triple de frecuencia!

(el cuádruple serían dos octavas)

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$



Wikimedia Commons

La cuerda vibrante

Cuerda de longitud L

Salto a la comba: cuerda sujeta por los dos extremos

Entonces, no puede haber oscilación en extremos

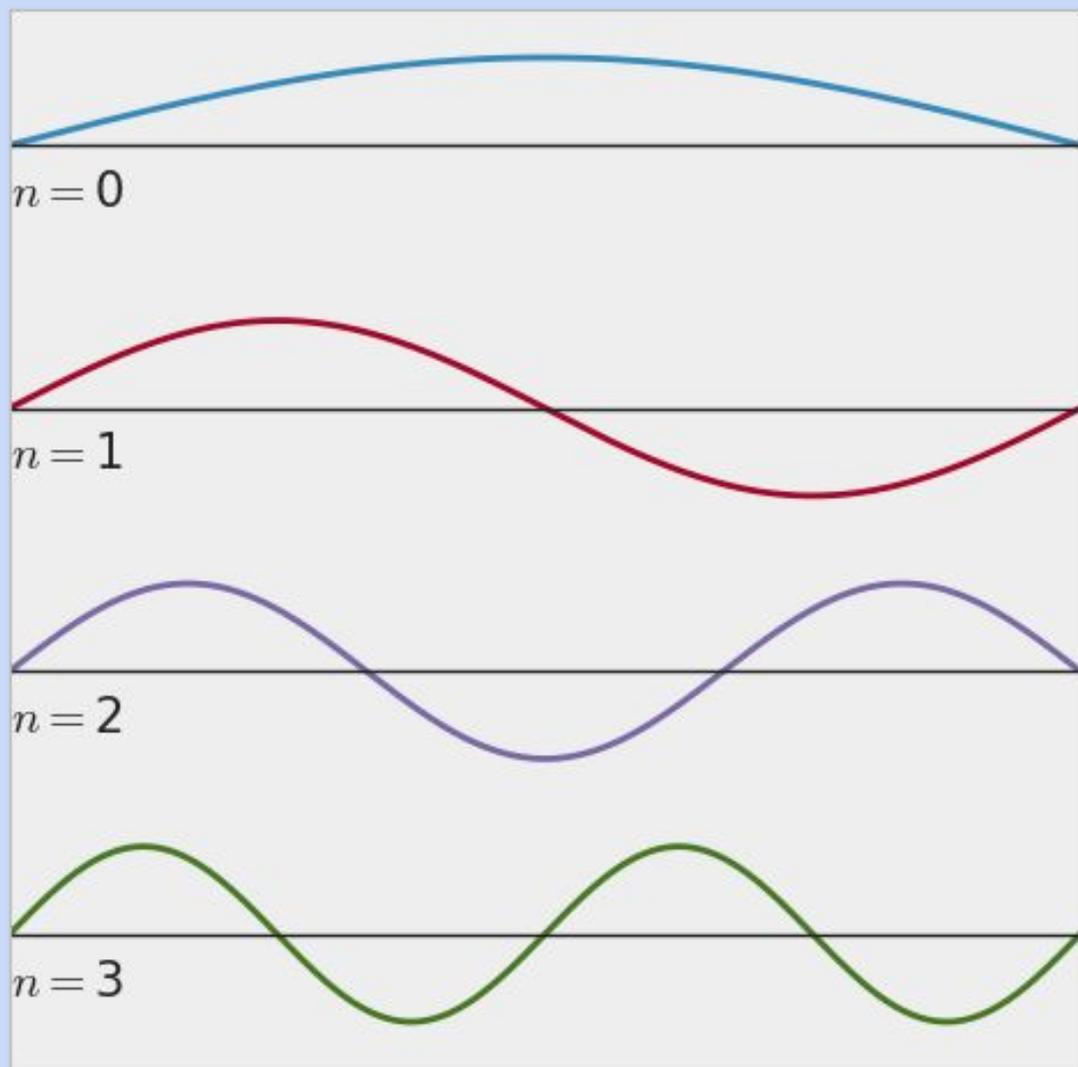
Restricción de longitudes de onda:

$$\lambda = 2L / (n + 1)$$

$n = 0, 1, 2, 3, \dots$: número de cruces con elongación 0

$$c = \lambda \nu$$

La cuerda vibrante



| λ | ν/ν_0 |
|--------------|-------------|
| $2L$ | 1 |
| $2L/2=L$ | 2 |
| $2L/3$ | 3 |
| $2L/4 = L/2$ | 4 |

Qué difícil es afinar

Octava ($n=1$): la frecuencia aumenta un 100% (factor 2)

Quinta (relacionada con $n=2$): la frecuencia aumenta un 50% (factor 1.5)

Sistema actual (piano): 12 notas

Subimos 12 quintas: $1.5^{12} \approx 129.74$

Subimos 7 octavas: $2^7 = 128$

Houston, tenemos un problema

Afinando una cuerda vibrante

$$c = \sqrt{T/\mu} = \lambda \nu$$

T : tensión (N), μ : densidad lineal (kg/m)

Cuerdas con misma longitud (violín, guitarra...). **Si variamos c , variamos la frecuencia ν**

Más tensión: más agudo, pero no se puede jugar mucho con tensión (rotura)

Diferentes cuerdas con diferente densidad (más densidad, más grave)

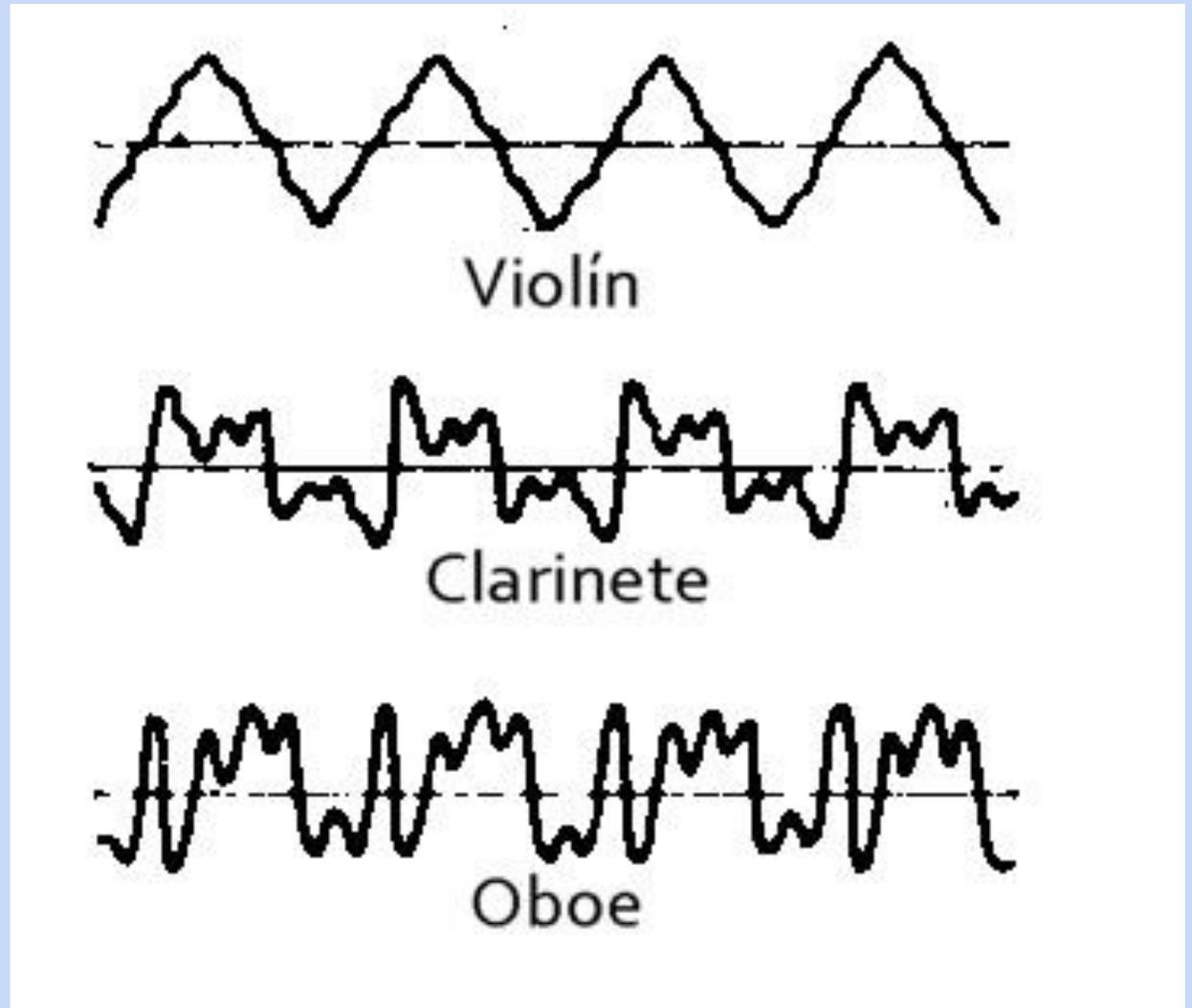
Afinación de cada día: cambiando tensión (no cambiando cuerdas)



¿Qué pasa en una orquesta?

No hay sólo frecuencias fundamentales. El timbre de un instrumento (también de la voz) depende de cómo la intensidad se distribuye en sus armónicos (timbre más brillante: más armónicos agudos, es decir, mayor frecuencia)

¿Cómo detectar armónicos de altas frecuencias mirando la forma de la onda?



Entonces, ¿cómo afinamos?

Si hay armónicos, que son distintos para cada instrumento, ¿cómo deberíamos afinar? El fundamental gana, pero necesitamos una referencia más “pura”

Entonces, ¿cómo afinamos?

Diapasón (tuning fork):
tonos puros, con algún
armónico de octavas (misma
nota, doble, cuádruple,
óctuple... frecuencia)

Muy importante para afinar:

- **No vibrato**
- **Minimizar el movimiento
(efecto Doppler)**



Ondas sonoras en el puerto de Ciutadella

Rissagues: meteotsunamis

Oscilaciones del nivel del mar causadas por ondas de presión que viajan por la atmósfera

Orientación y dimensiones del puerto de Ciutadella (Menorca) las amplían



Música, maestro

Canon del espejo (Mozart)

Óptica: Imagen especular invertida

4

8



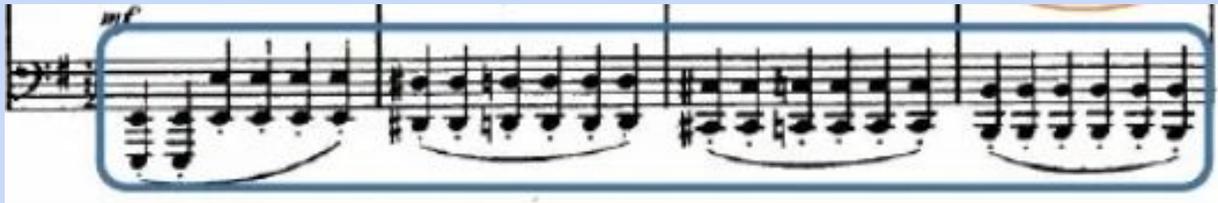
Wikimedia Commons

<https://www.youtube.com/watch?v=kMOrNyHqHBw>

Misa en Si m (Bach)

Números y simbolismo

Crucifixus, Misa en Si m



Memory of
the World

[https://www.youtube.com/watch?
v=3FLbiDrn8IE&t=3952s](https://www.youtube.com/watch?v=3FLbiDrn8IE&t=3952s)

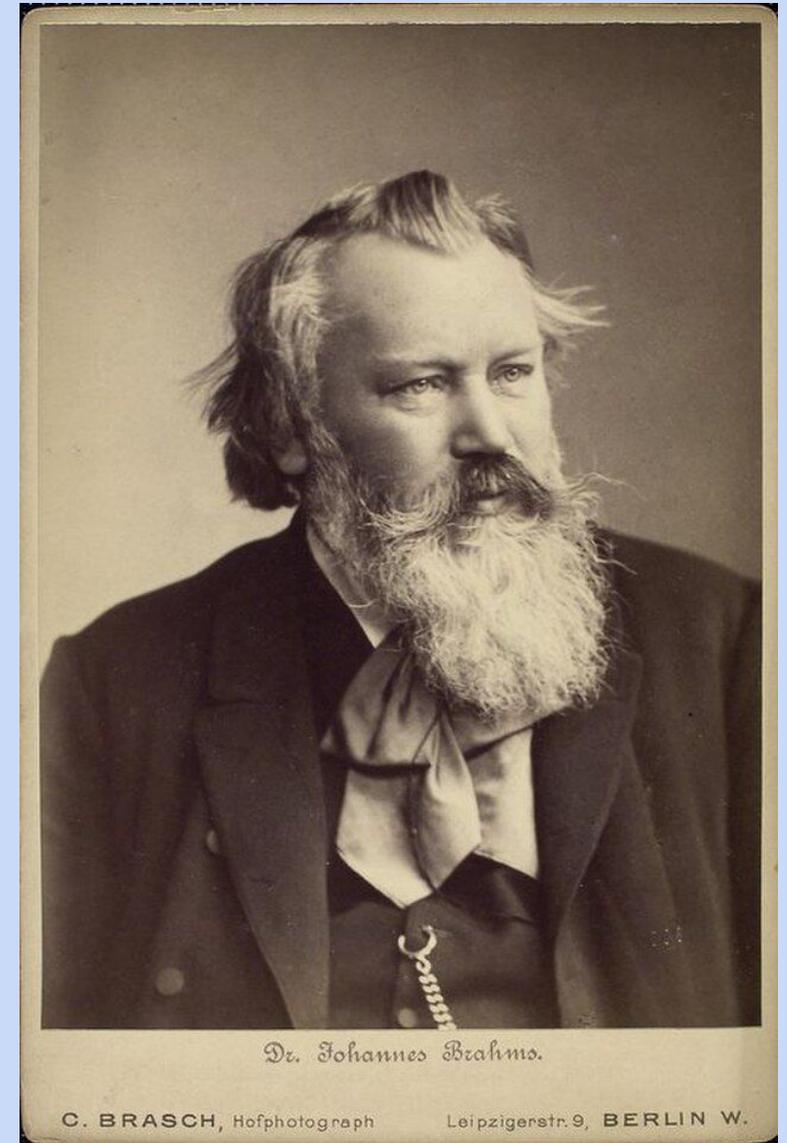
Wikimedia Commons

Un réquiem alemán (Brahms)

Simetrías

1. Selig sind, die da Leid tragen (coro)
2. Denn alles Fleisch, es ist wie Gras (coro)
3. Herr, lehre doch mich (barítono, coro)
4. **Wie lieblich sind deine Wohnungen (coro)**
5. Ihr habt nun Traurigkeit (soprano, coro)
6. Denn wir haben hie keine bleibende Statt (barítono, coro)
7. Selig sind die Toten (coro)

<https://www.youtube.com/watch?v=PlvDbgVFbWo>



Dr. Johannes Brahms.

C. BRASCH, Hofphotograph

Leipzigerstr. 9, BERLIN W.

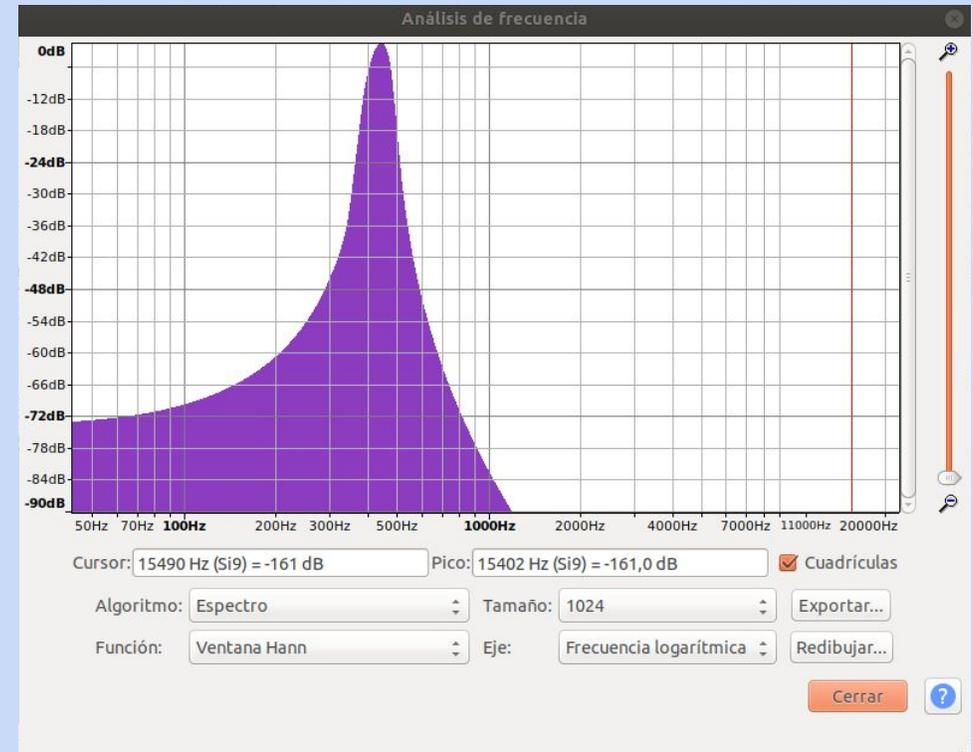
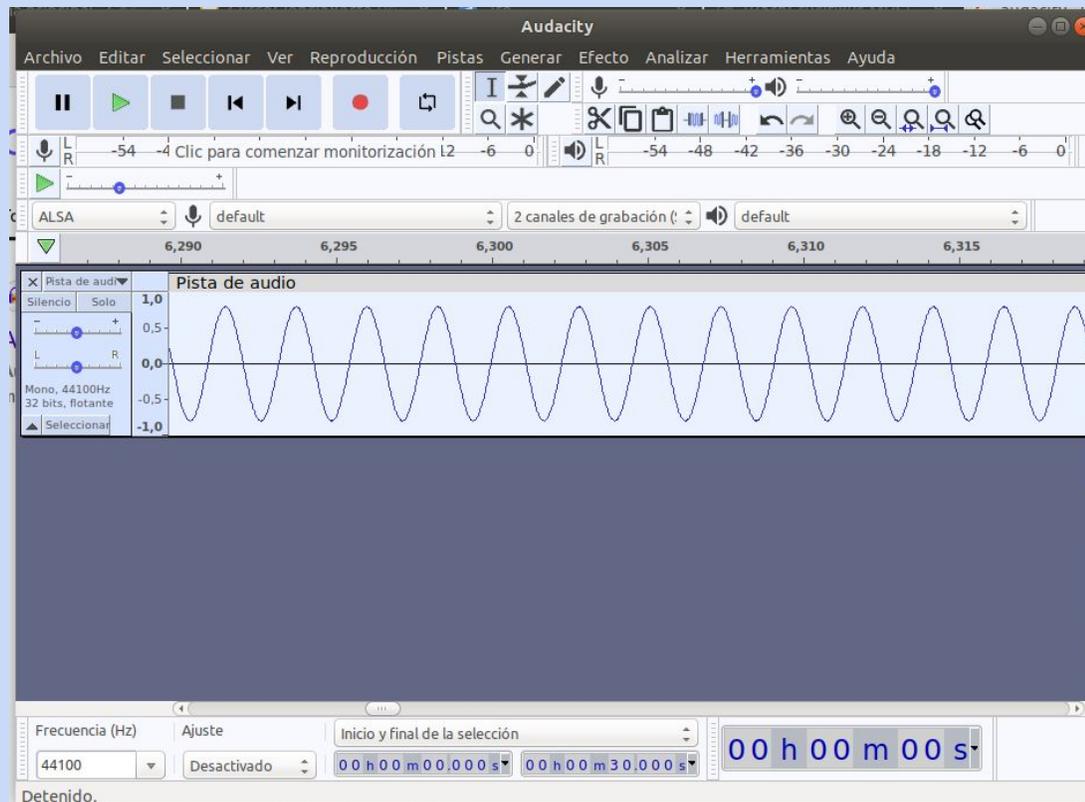
Wikimedia Commons

Recursos

Spectrogram:

<https://spectrogram.sciencemusic.org/>

Audacity: software de análisis y edición de archivos de sonido





¡Muchas gracias!

Diapositivas disponibles en:

<https://jorgeprodriguezg.github.io/resources>



jorgep.rodriguez