

Fonética práctica  
UVG Sololá  
14-16 de julio 2016

**Espectros de potencia y la  
acústica de las vocales**

[https://campuspress.yale.edu/  
ryanbennett/fonetica-practica](https://campuspress.yale.edu/ryanbennett/fonetica-practica)

# Periodicidad

Las ondas acústicas se pueden clasificar según si incluyen un patrón de fluctuación de presión que se repite regularmente.

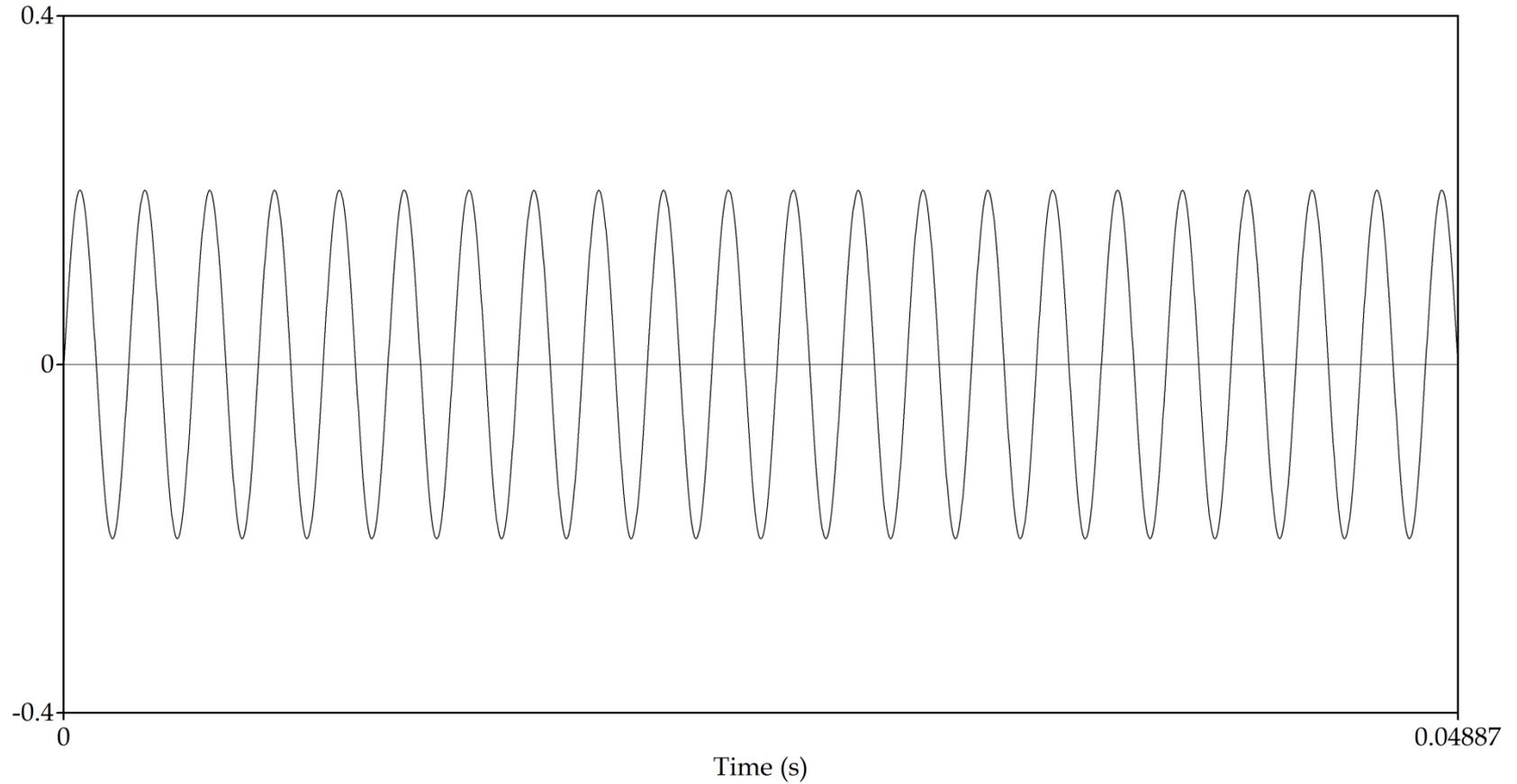
- Se llama la **periodicidad**.

# Periodicidad

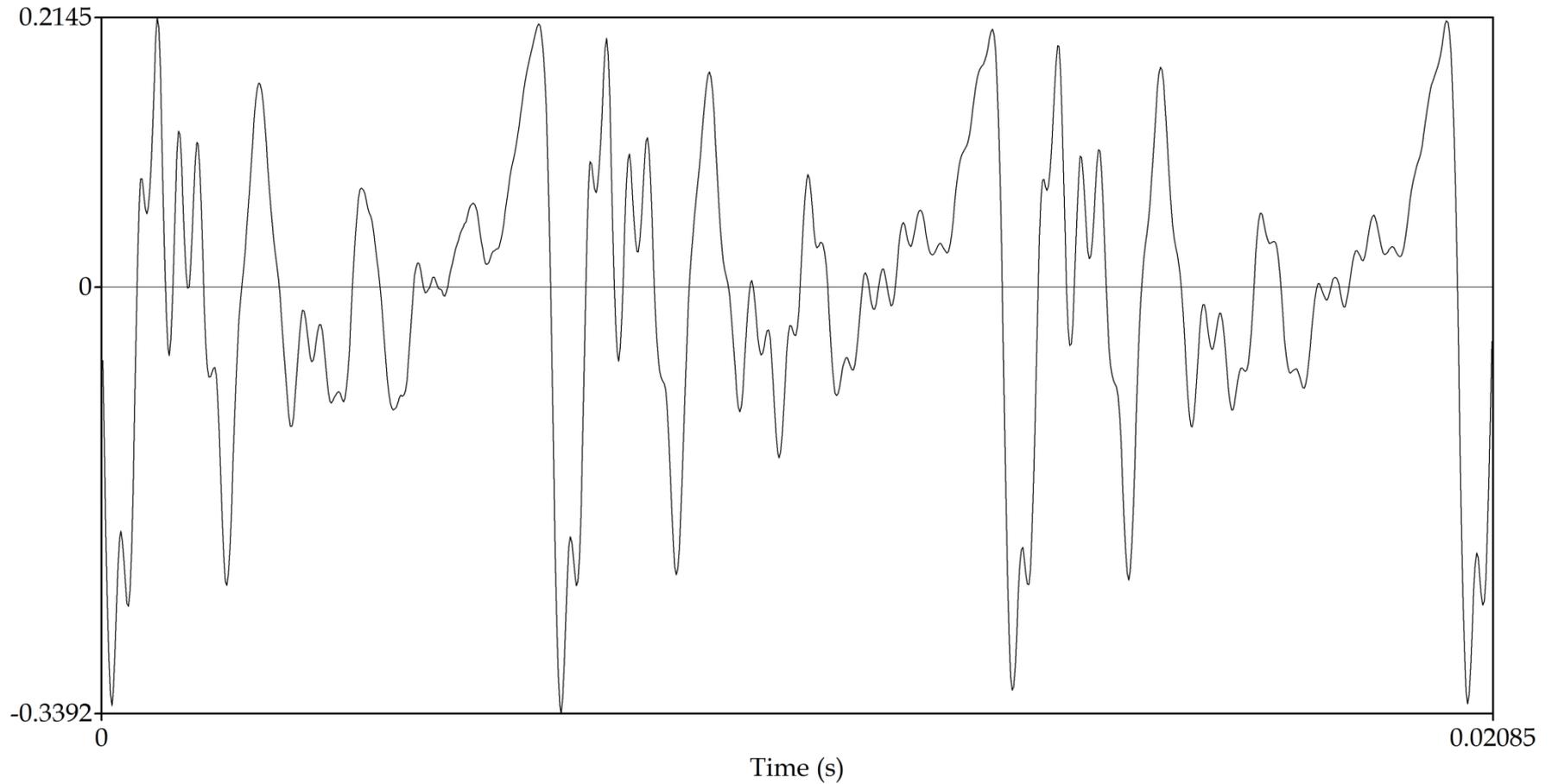
## **Sonido periódico:**

- Hay un patrón que se repite en intervalos uniformes.
- Se pueden percibir una tonía clara.
- Ejemplos:
  - Instrumentos de cuerda que se tocan con arco.
  - Vocales
- En la naturaleza, la mayoría de sonidos 'periódicos' no son perfectamente regulares.

# Sonidos periódicos: tonía simple



# Sonidos periódicos: [a]

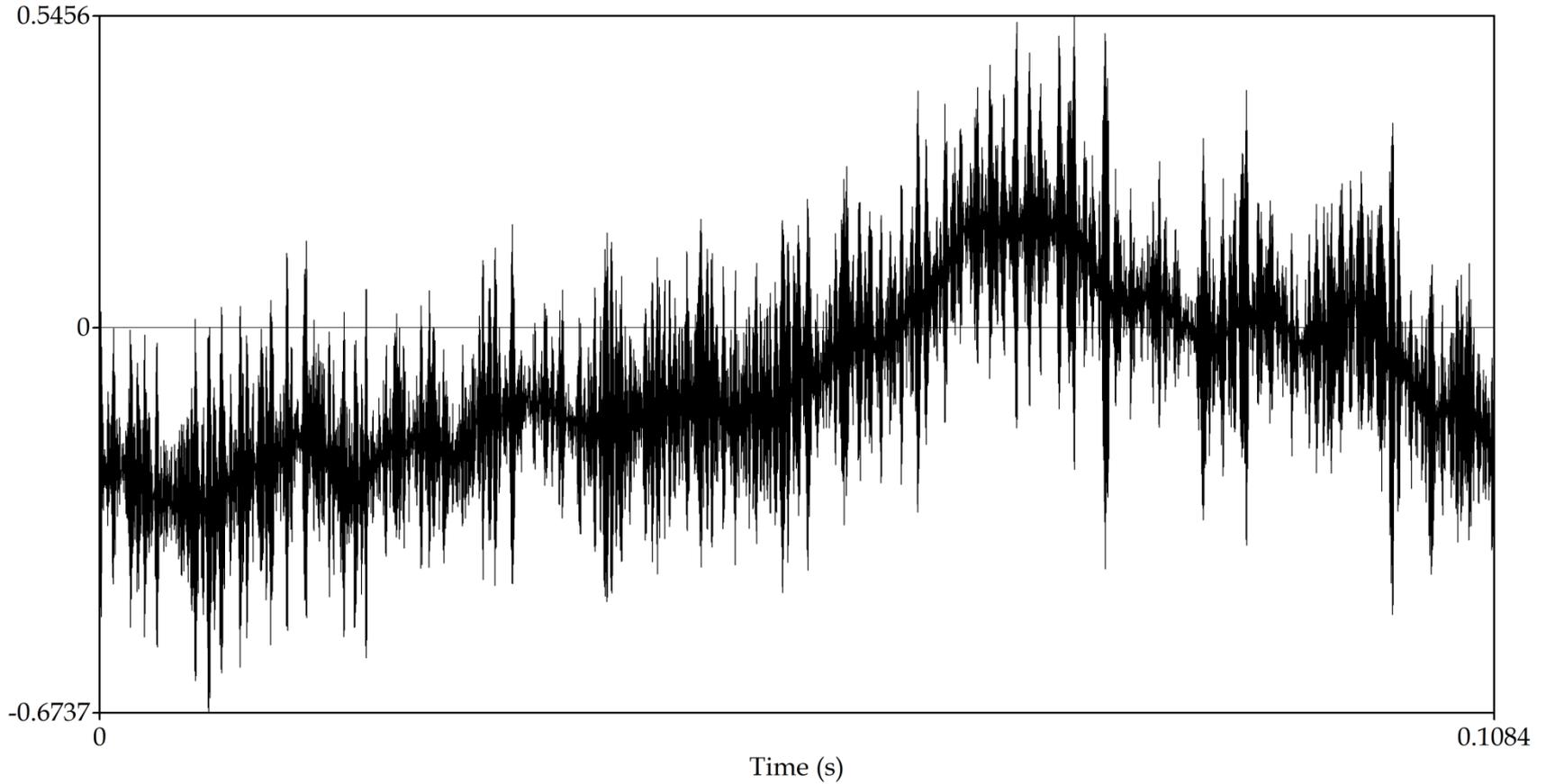


# Periodicidad

**Sonidos aperiódicos:** no son periódicos.

- Fluctuaciones de presión son más o menos aleatorios.
- Ejemplos:
  - El viento
  - Ruido blanco
  - Fricativas sordas
  - La soltura de una oclusiva.

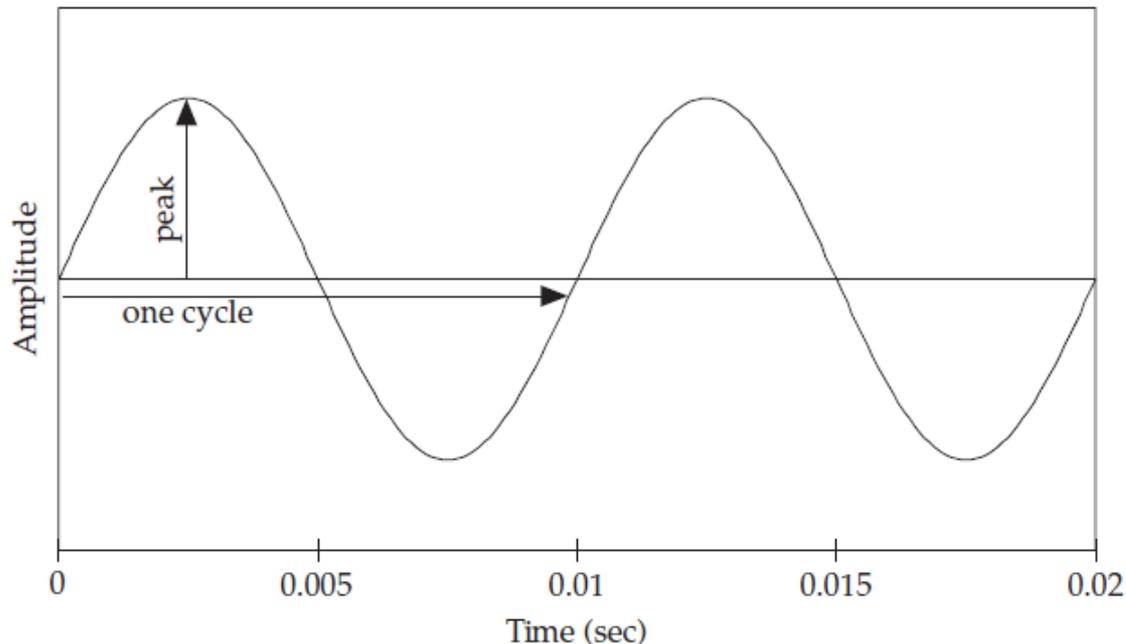
# Sonidos aperiódicos: ruido gris



# Periodicidad

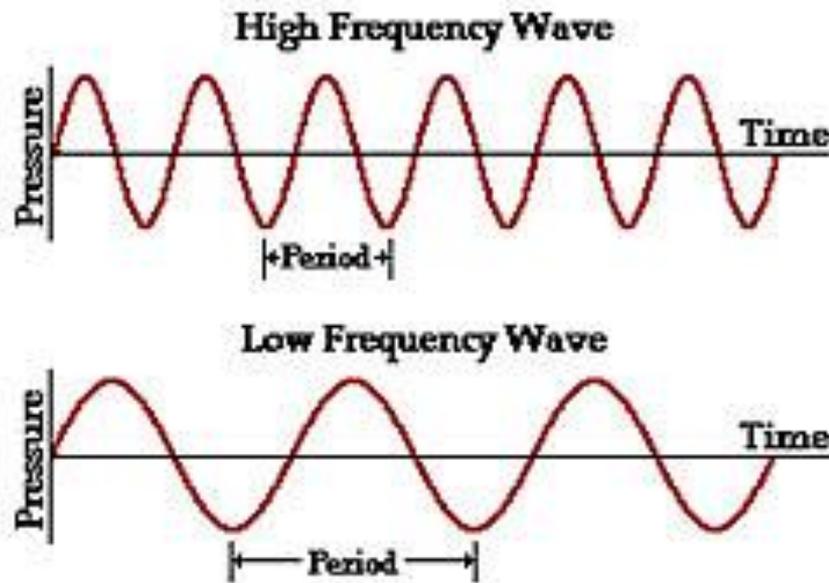
La repetición de un patrón en una onda periódica se llama **un ciclo**.

- El tiempo que dura un ciclo se llama un **período**: segundos/ciclo



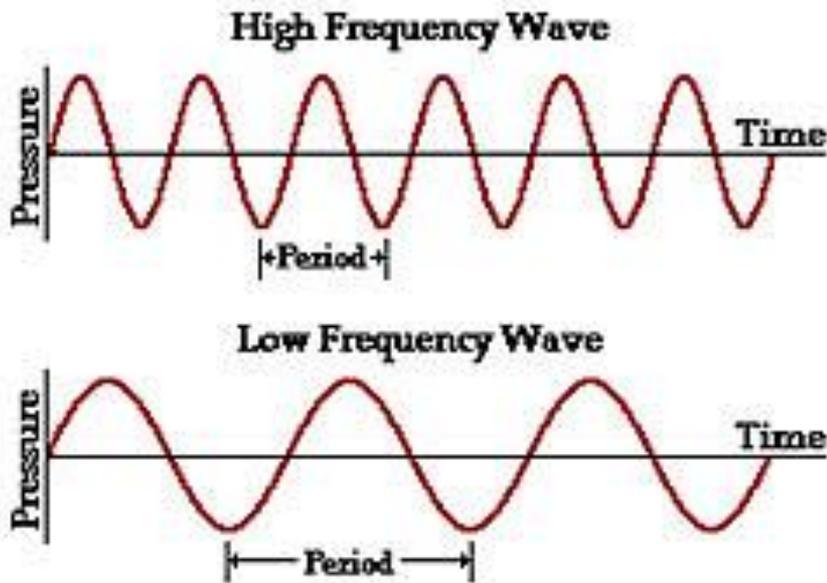
# Frecuencia

La **frecuencia** es el ritmo de repetición del ciclo.



- Hertzios (Hz):  
ciclos/segundo
- Si tiempo = 1s, ¿cuál es la frecuencia de cada sonido?

# Frecuencia

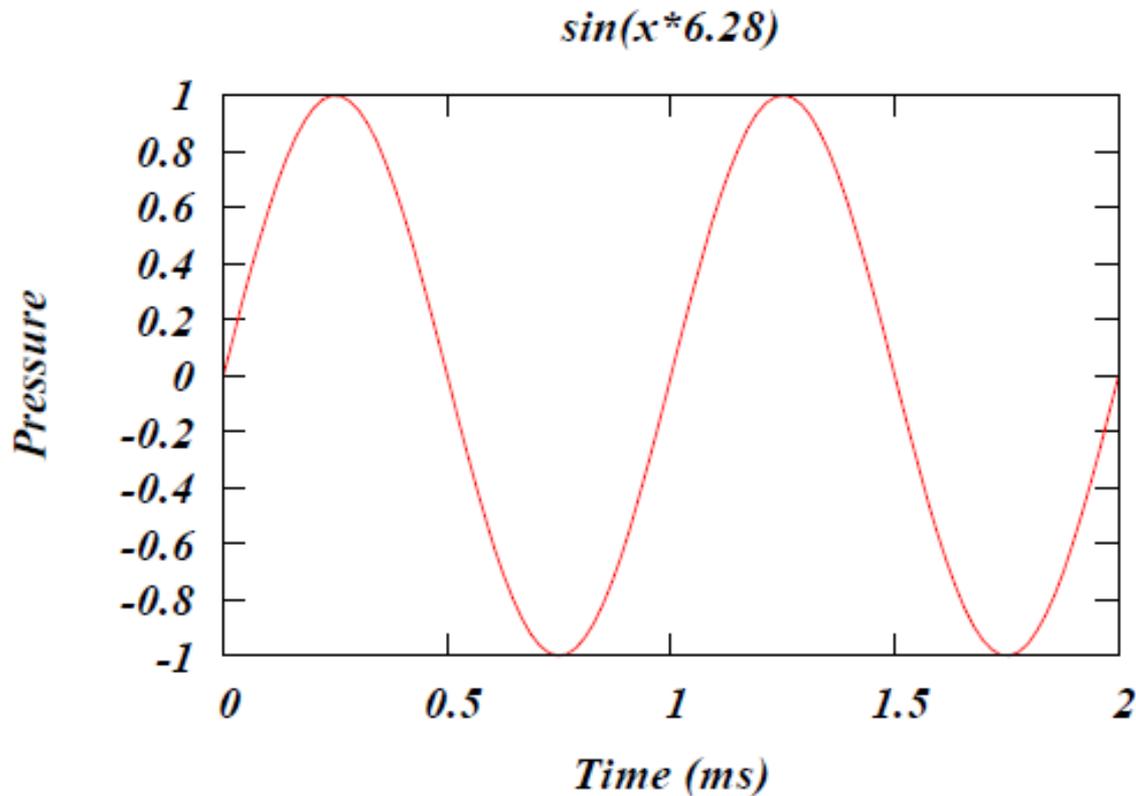


La frecuencia se percibe como la tonía.

- Frecuencia más alta = tonía más alta

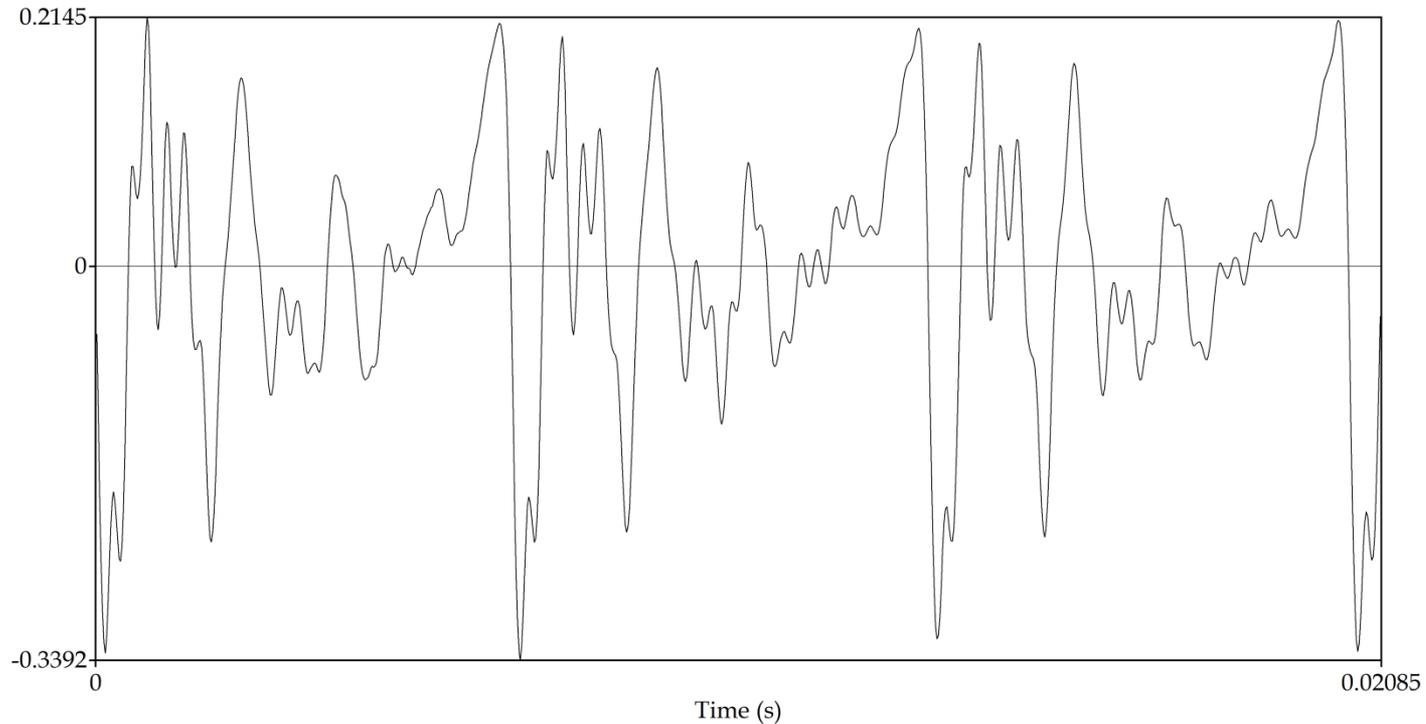
# Ondas periódicas sencillas

Ondas periódicas sencillas muestran solo un patrón único de repetición (una frecuencia sola).



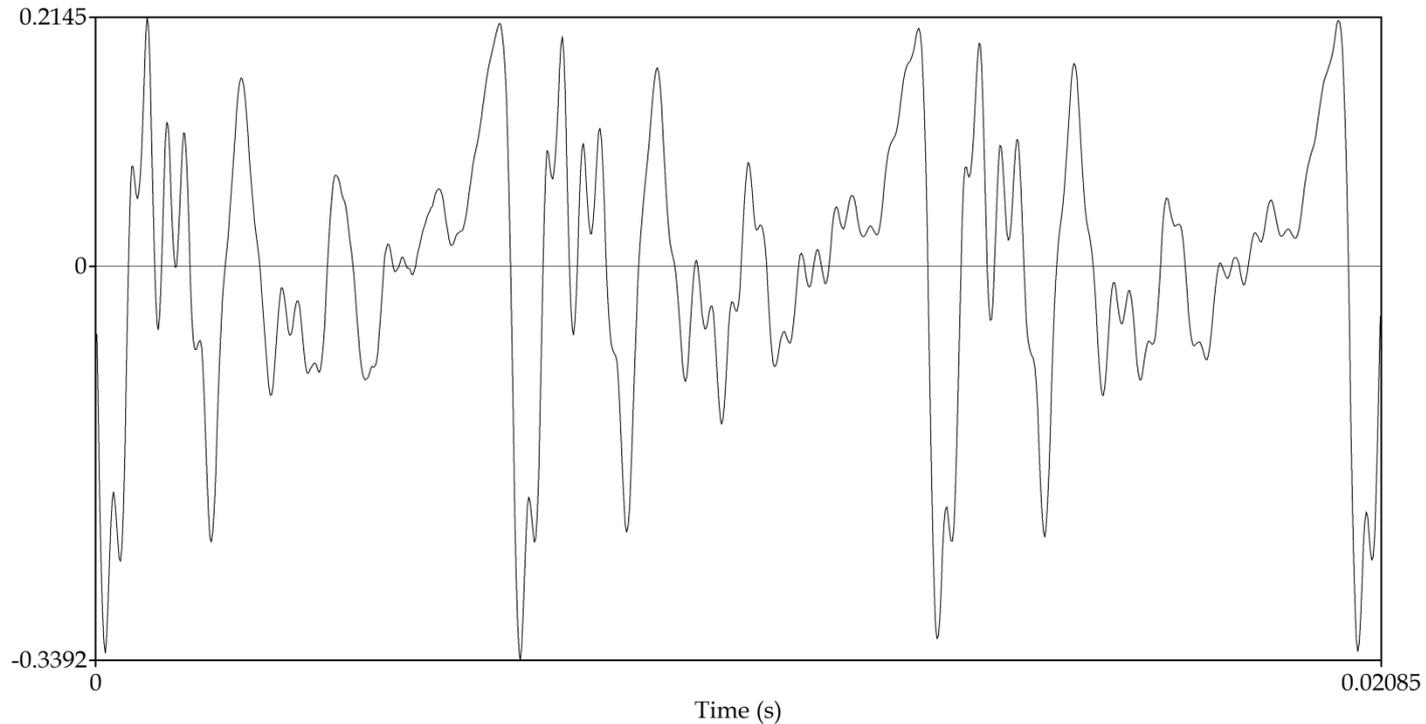
# Ondas periódicas complejas

En la naturaleza, las ondas acústicas con más complejas.



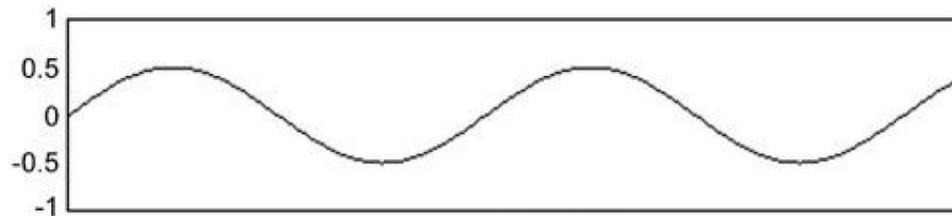
# Ondas periódicas complejas

Aquí podemos ver que la onda conlleva **varios** patrones de fluctuación que se repiten.

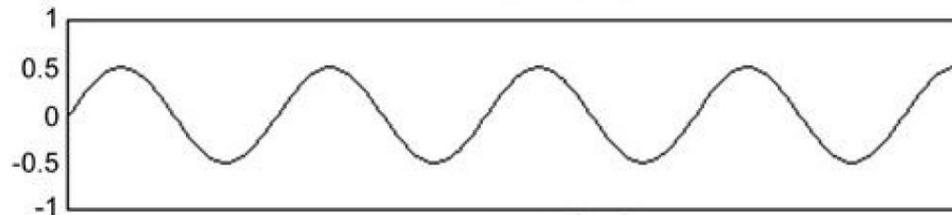


# Ondas periódicas complejas

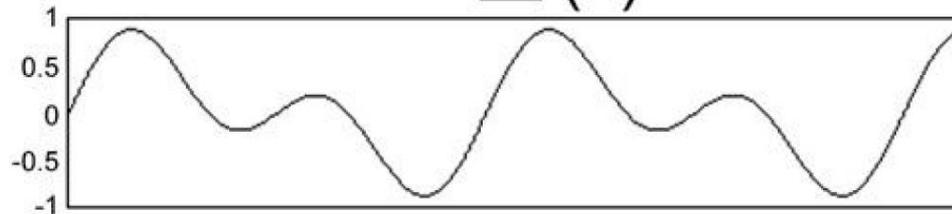
Las ondas periódicas complejas se componen por patrones **múltiples** de fluctuación.



**+** (=)



**=** (-)



# Análisis de Fourier

Las ondas periódicas complejas se pueden descomponer a través de un técnico matemático que se llama **análisis de Fourier**.

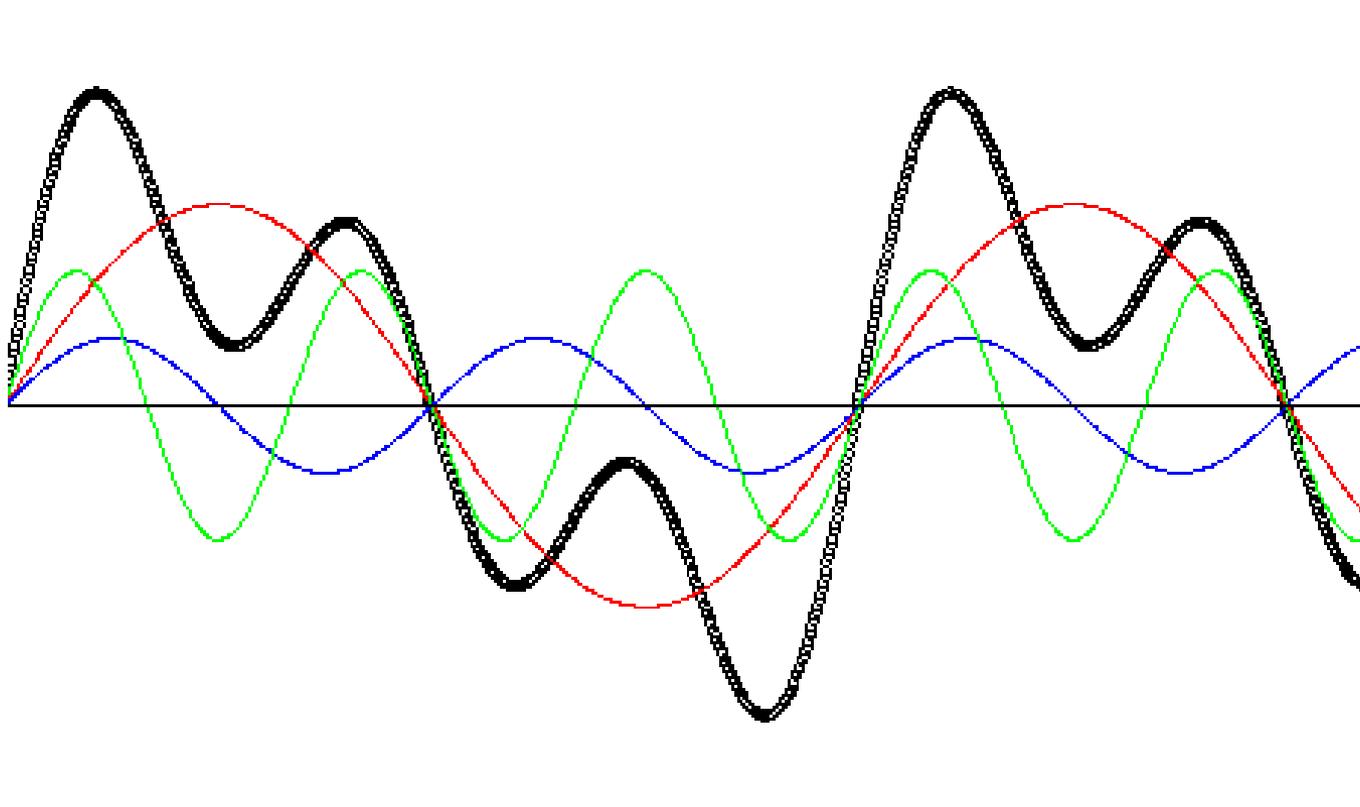
$$\begin{aligned} F(\omega) &= \int f(x)e^{-2\pi i\omega x} dx \\ &= \int_0^X Ae^{-2\pi i\omega x} dx \\ &= \frac{-A}{2\pi i\omega} e^{-2\pi i\omega x} \Big|_0^X \\ &= \frac{-A}{2\pi i\omega} [e^{-2\pi i\omega X} - 1] \\ &= \frac{A}{2\pi i\omega} [e^{\pi i\omega X} - e^{-\pi i\omega X}] e^{-\pi i\omega X} \\ &= \frac{A}{\pi\omega} \sin(\pi\omega X) e^{-\pi i\omega X} \end{aligned}$$

# Análisis de Fourier

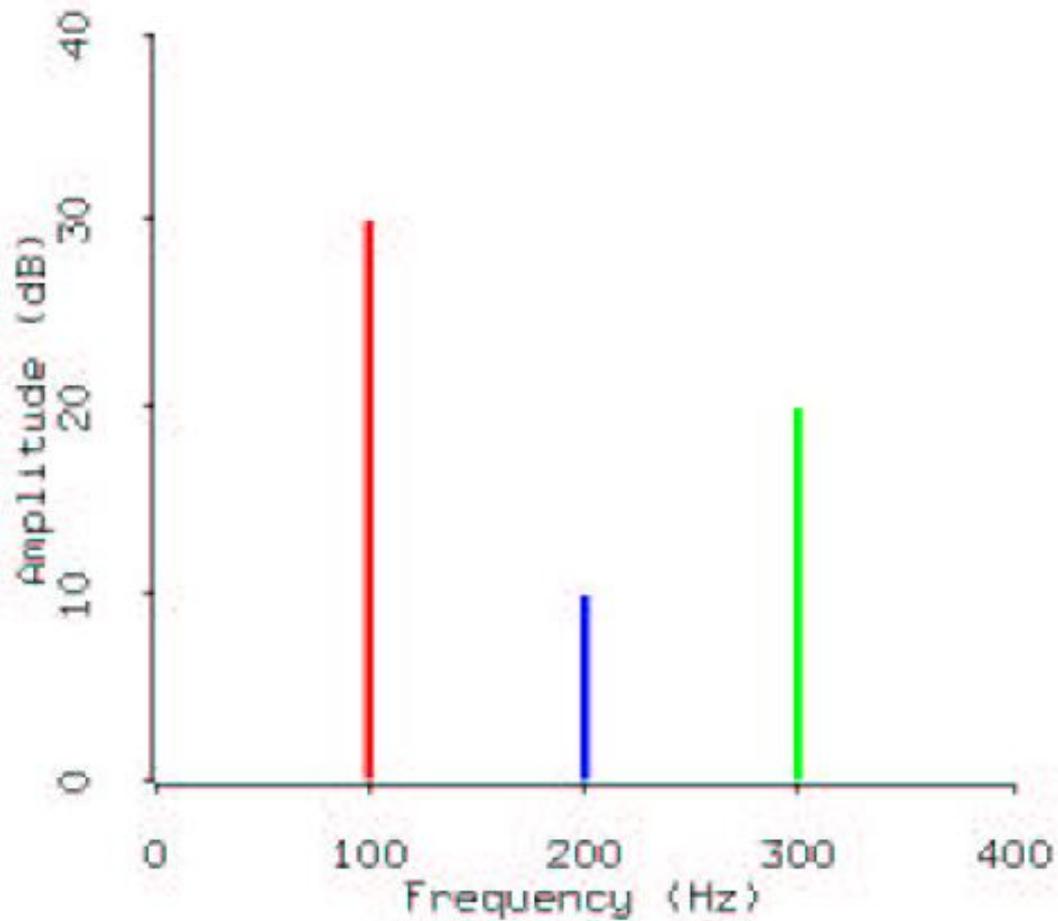
El resultado: un **espectro de potencia** (o solamente 'espectro').

- Se representan las frecuencias subyacentes del sonido y sus amplitudes.

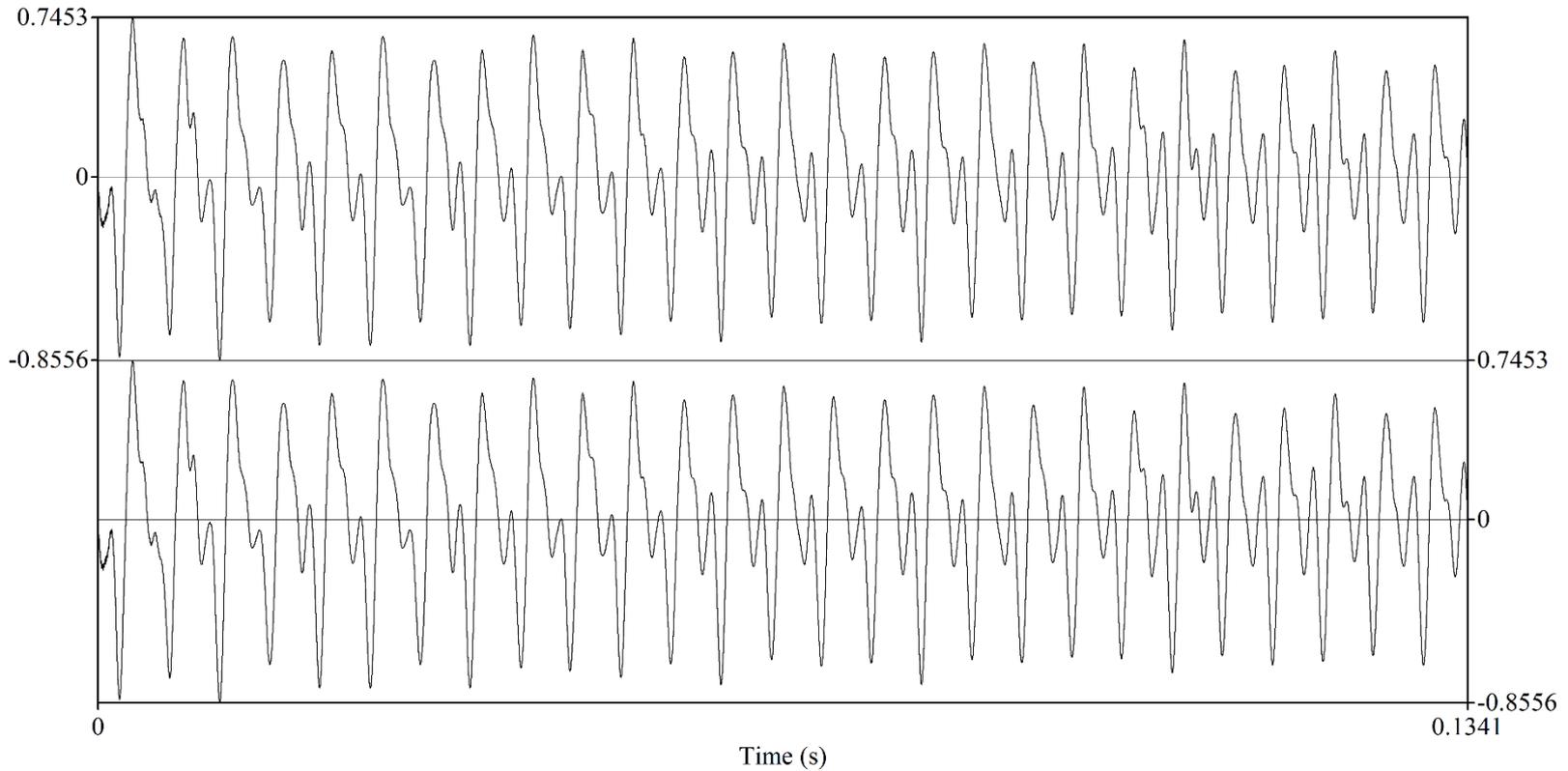
# Espectro de potencia



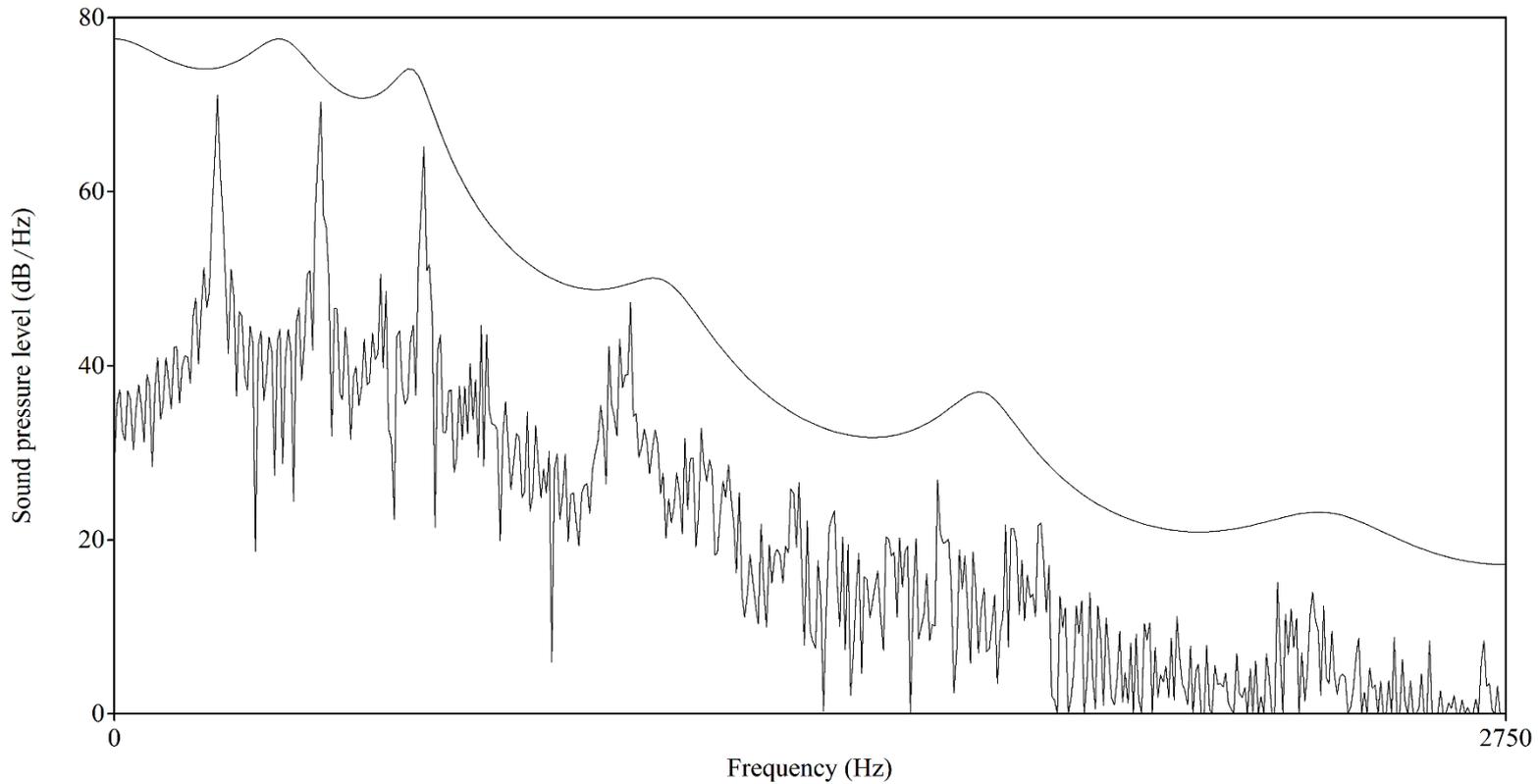
# Espectro de potencia



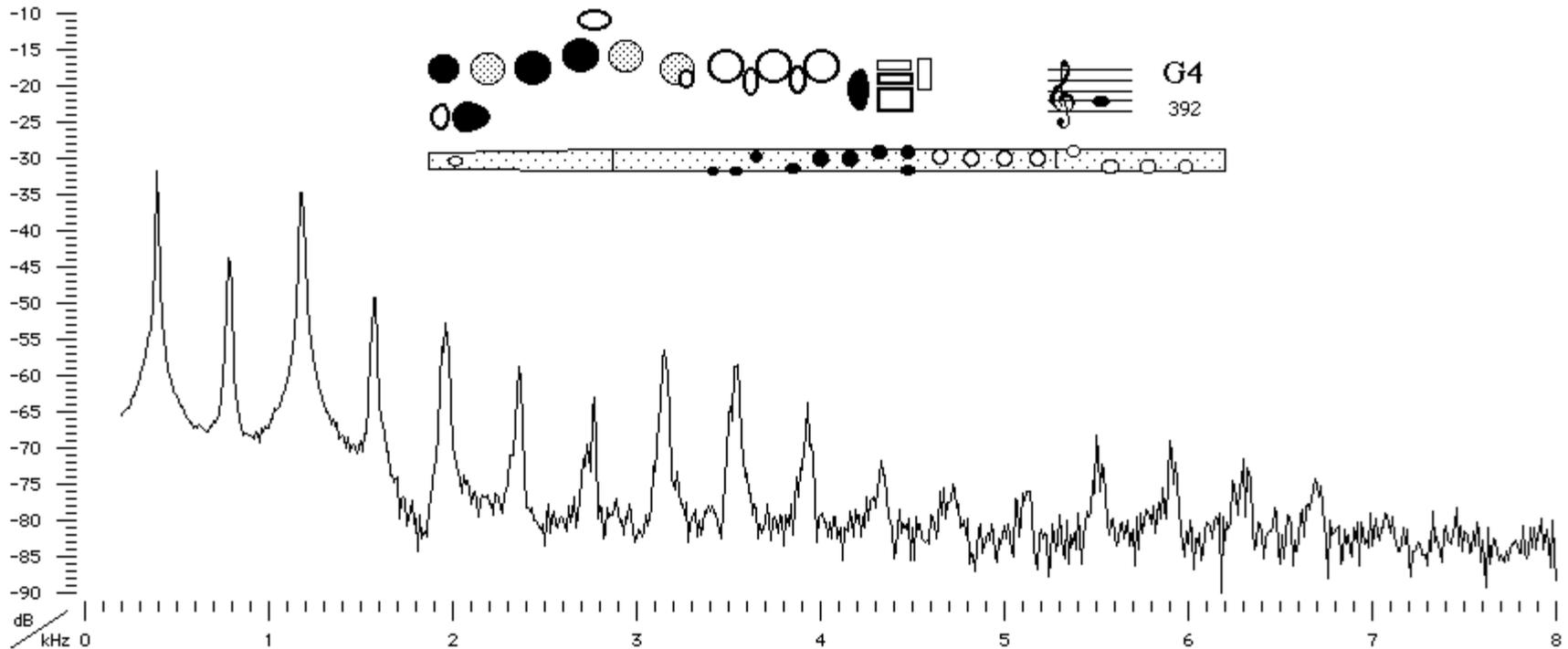
# Onda acústica: campaña de templo



# Espectro de potencia: campaña de templo



# Espectro de potencia: una flauta (G4)

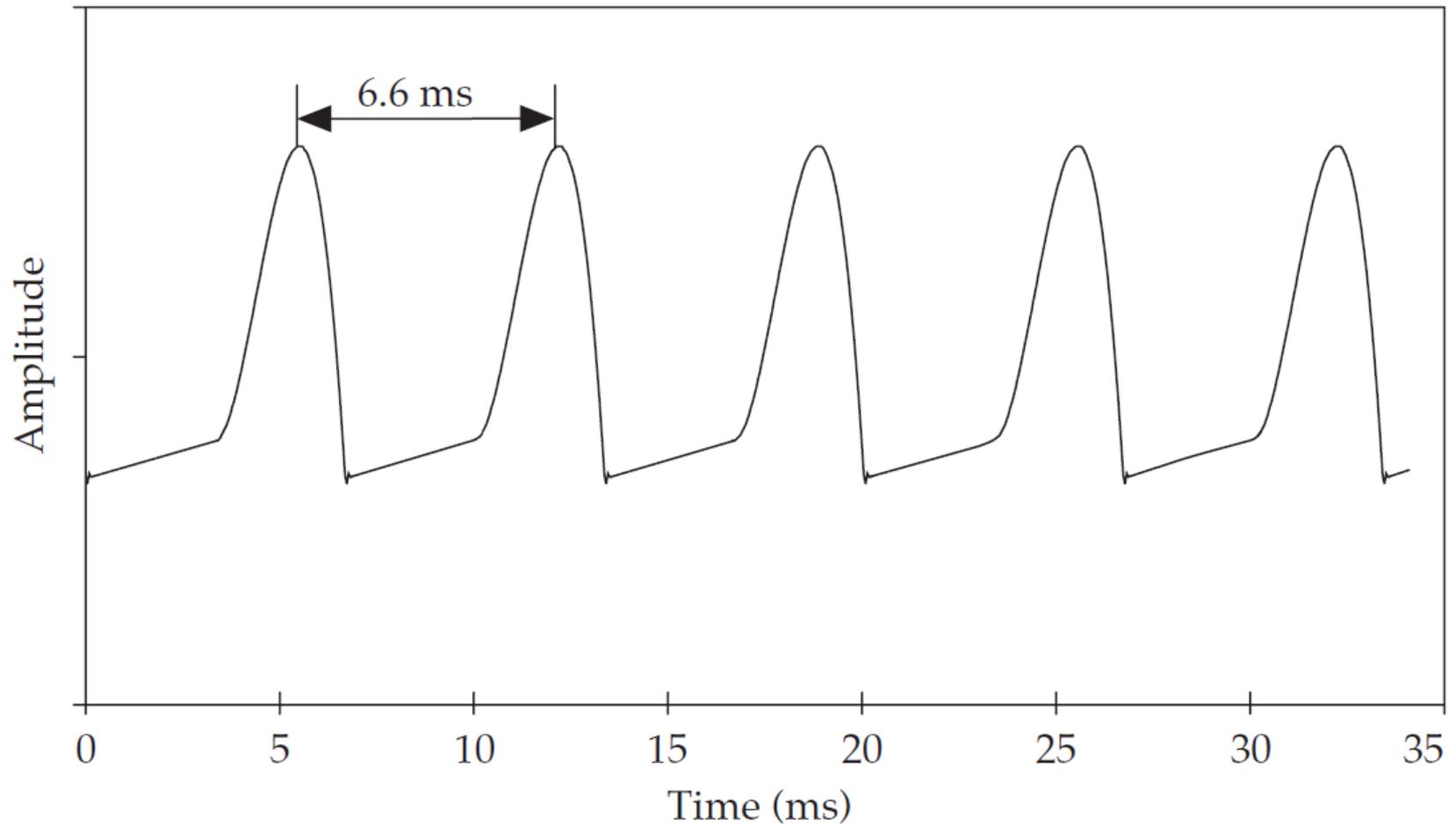


# La teoría fuente-filtro

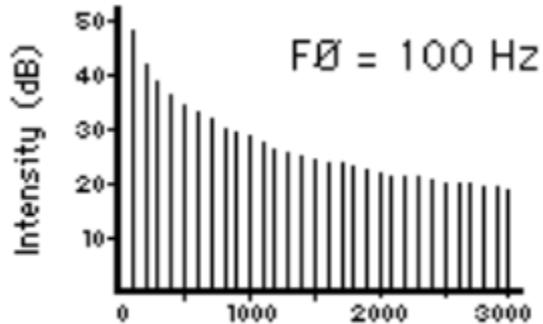
La **teoría fuente-filtro de la producción del habla:**

- Una **fuentes** (p.e. las cuerdas vocales) produce una onda acústica compleja que se compone de ondas más sencillas con varias frecuencias.
- El tracto vocal **amplifica o modera** estas frecuencias.
  - Así funciona como un **filtro acústico**.

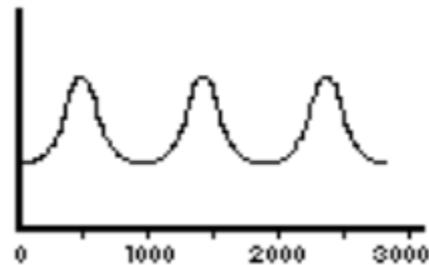
# La teoría fuente-filtro: Voz modal (150 Hz)



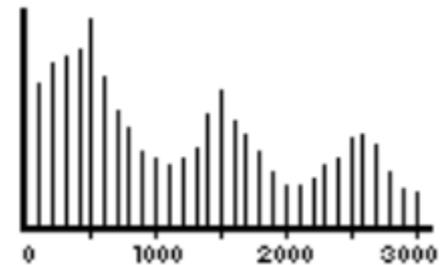
# La teoría fuente-filtro



**Fuente**



**Filtro**



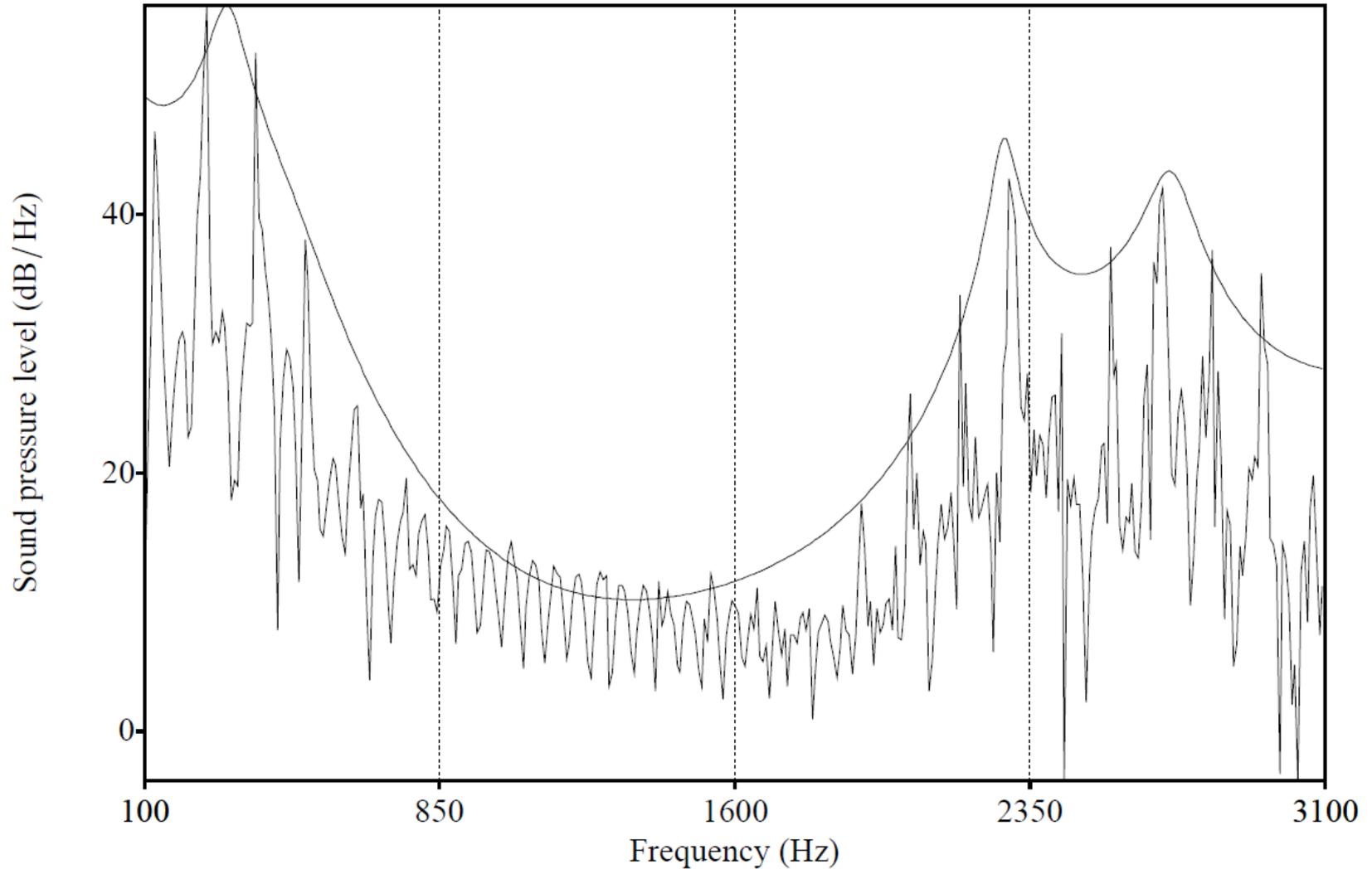
**Resultado**

# La teoría fuente-filtro

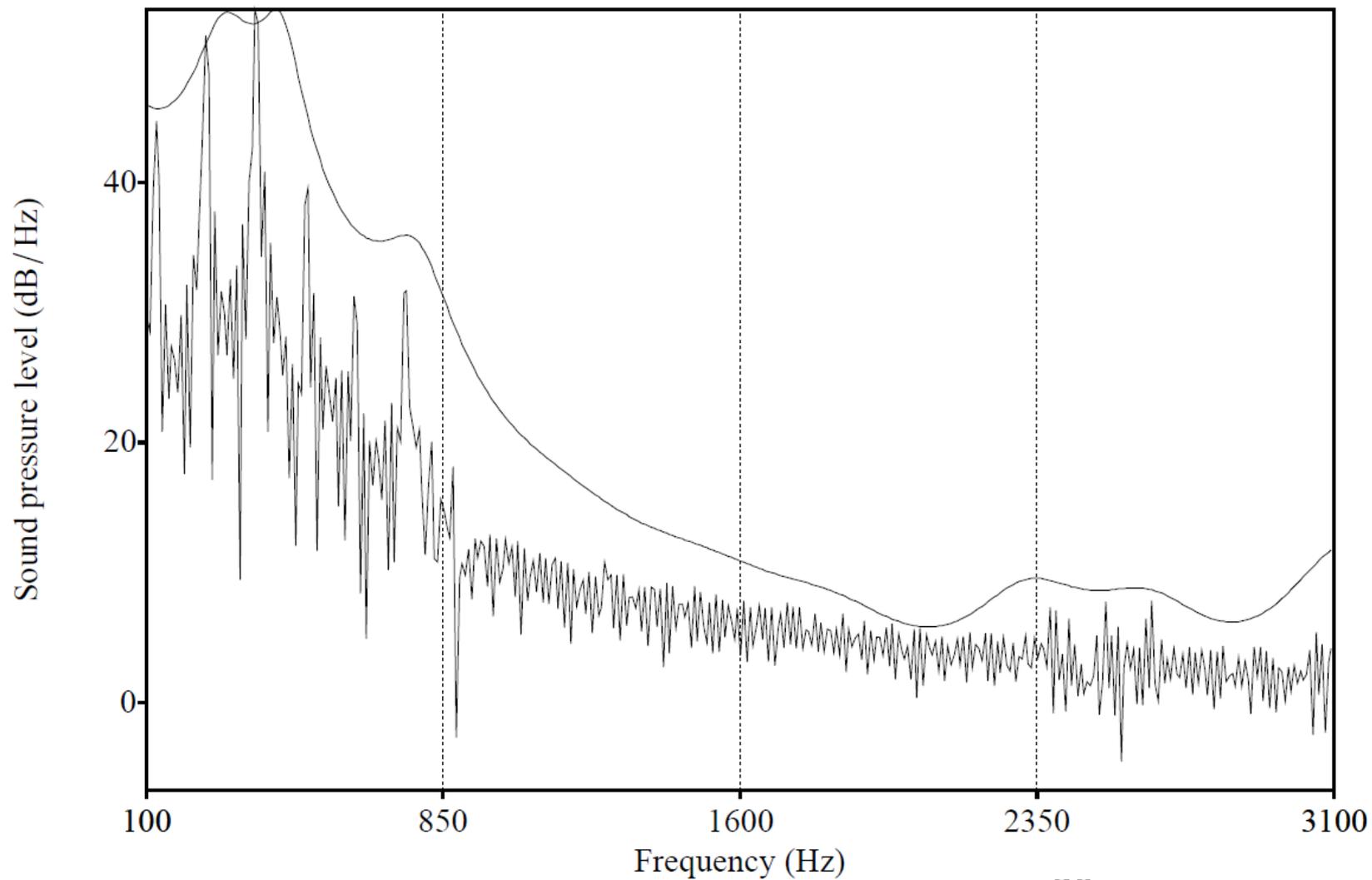
La misma fuente (p.e. las cuerdas vocales) puede resultar en diferentes sonidos dependiendo de las propiedades del filtro (el tracto vocal).

- La filtración acústica del tracto vocal **depende de su forma** – es decir, la posición de los **articuladores**.
- Una comparación: la misma nota/tonía se suena diferente cuando se toca con instrumentos diferentes.

# Espectro de [i]



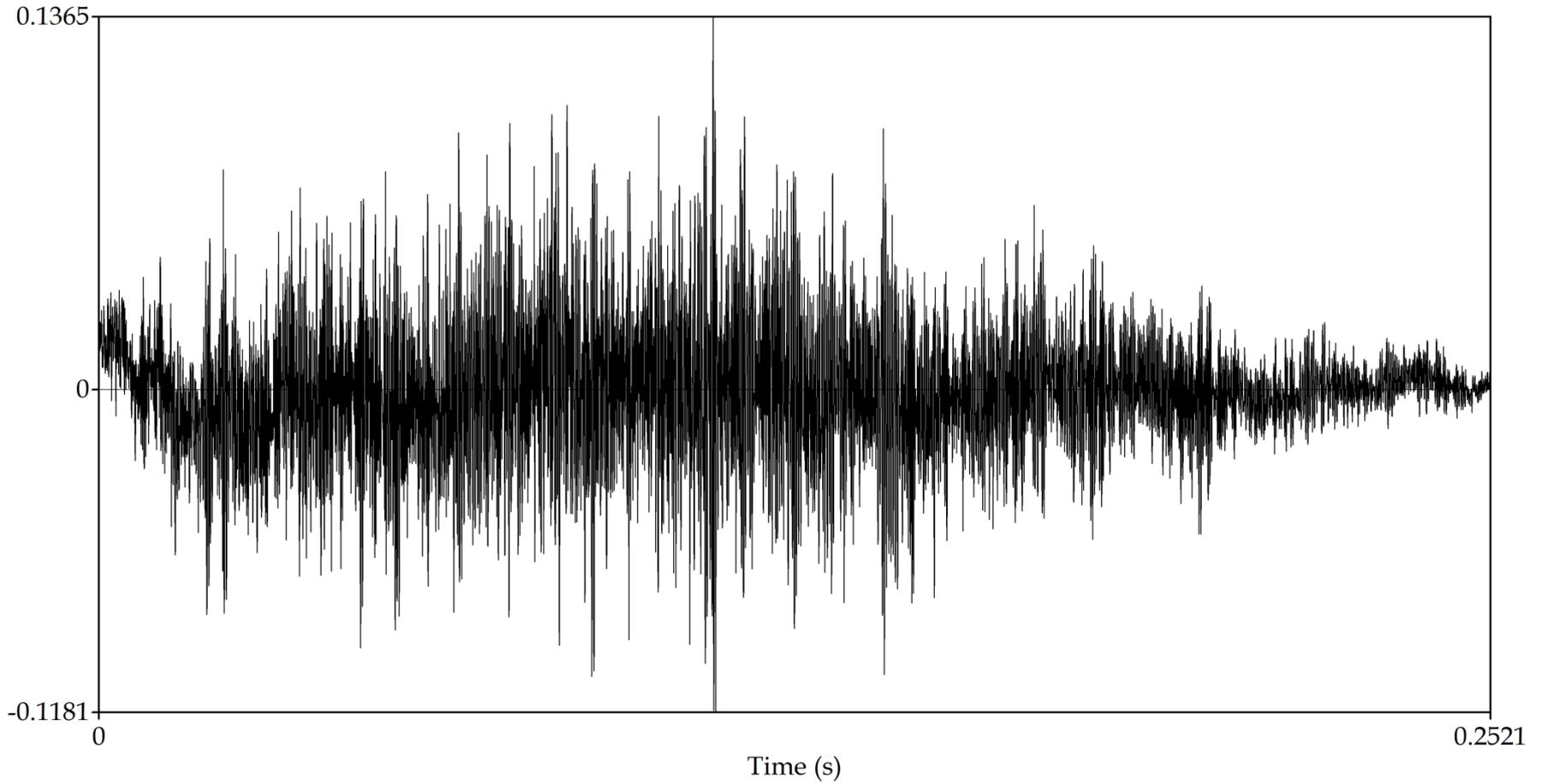
# Espectro de [u]



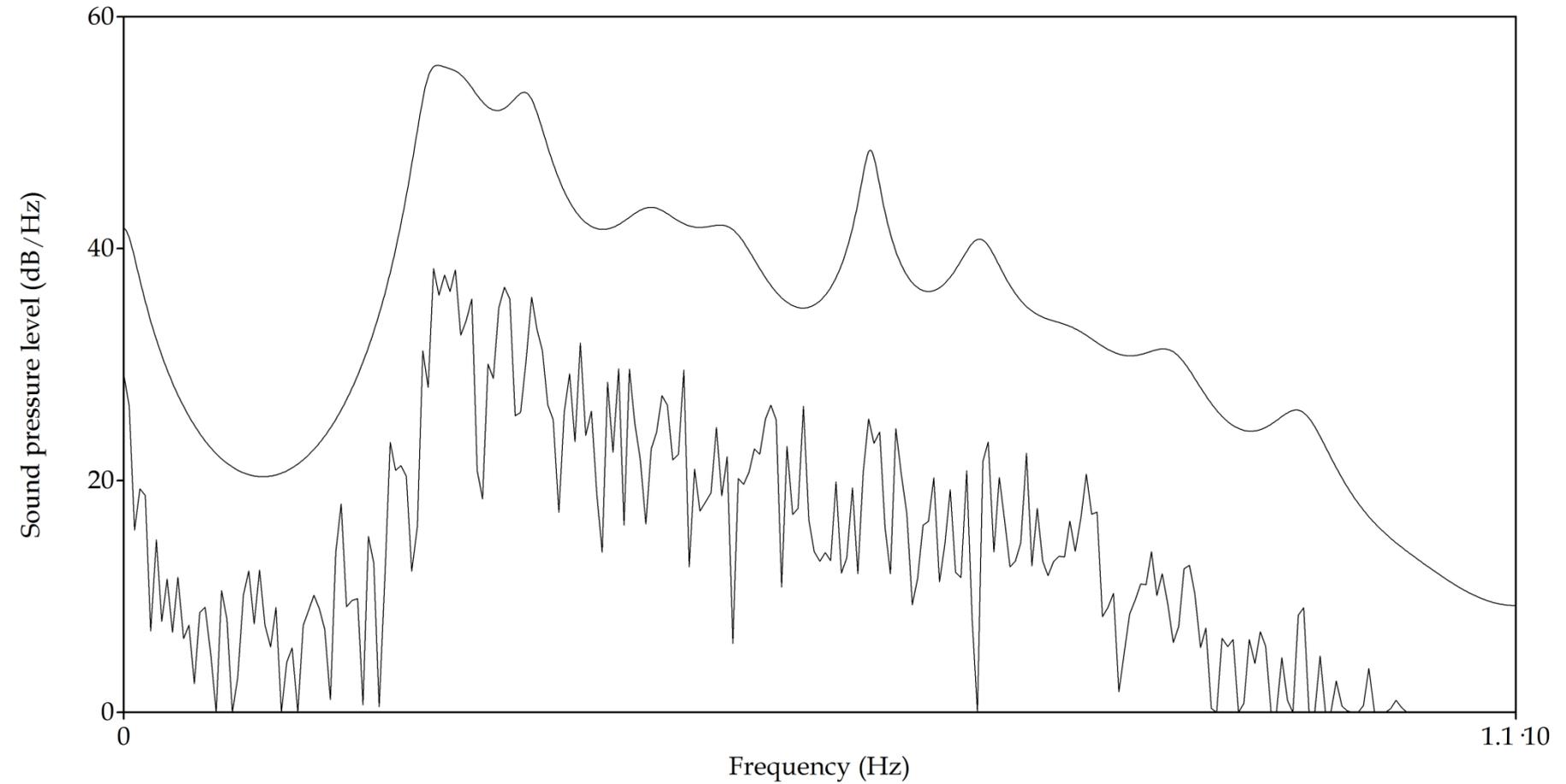
# Sonidos aperiódicos

El análisis de Fourier también se puede usar con sonidos aperiódicos.

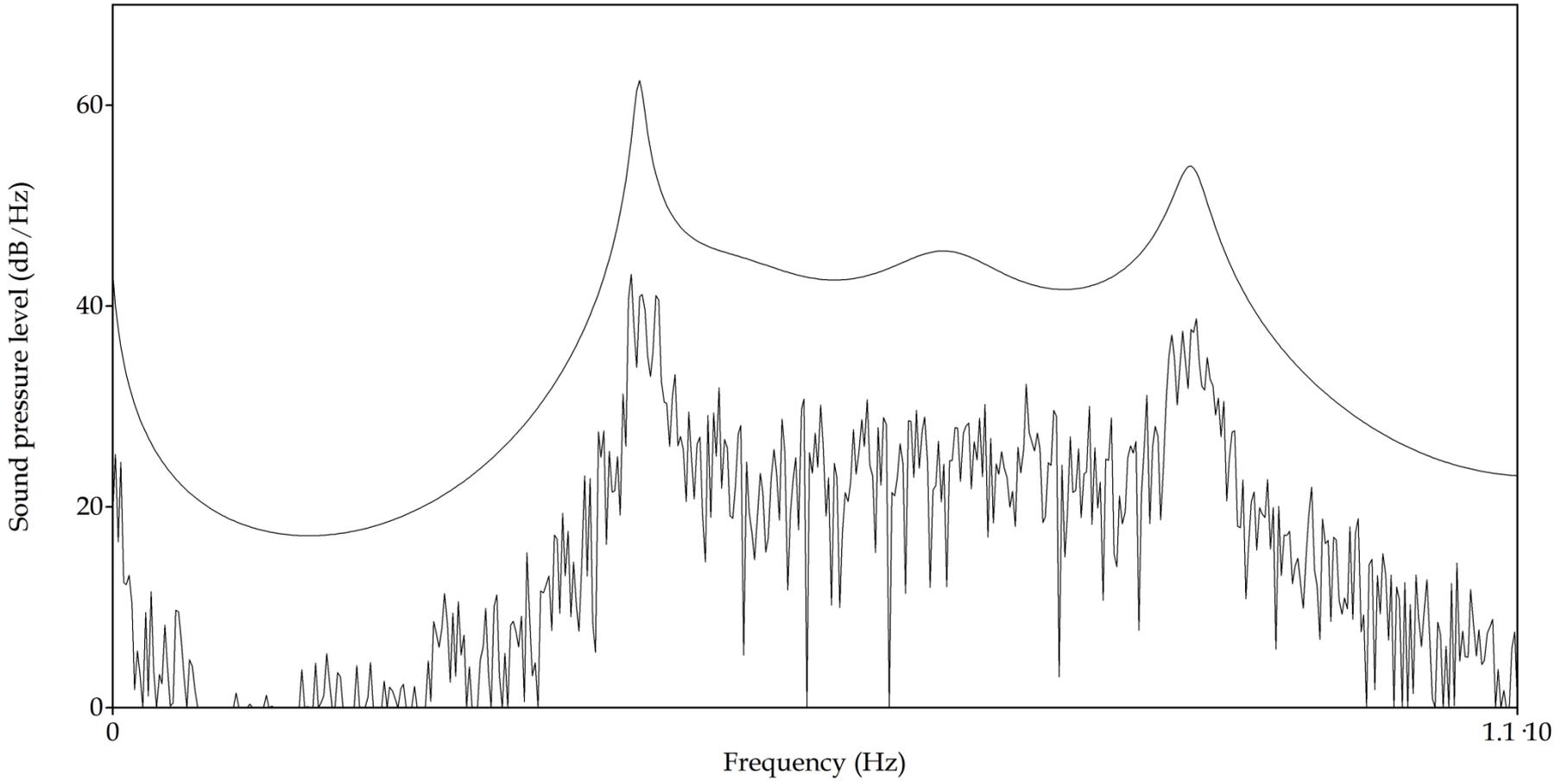
# Onda acústica de [s]



# Espectro de [s]



# Espectro de [s]

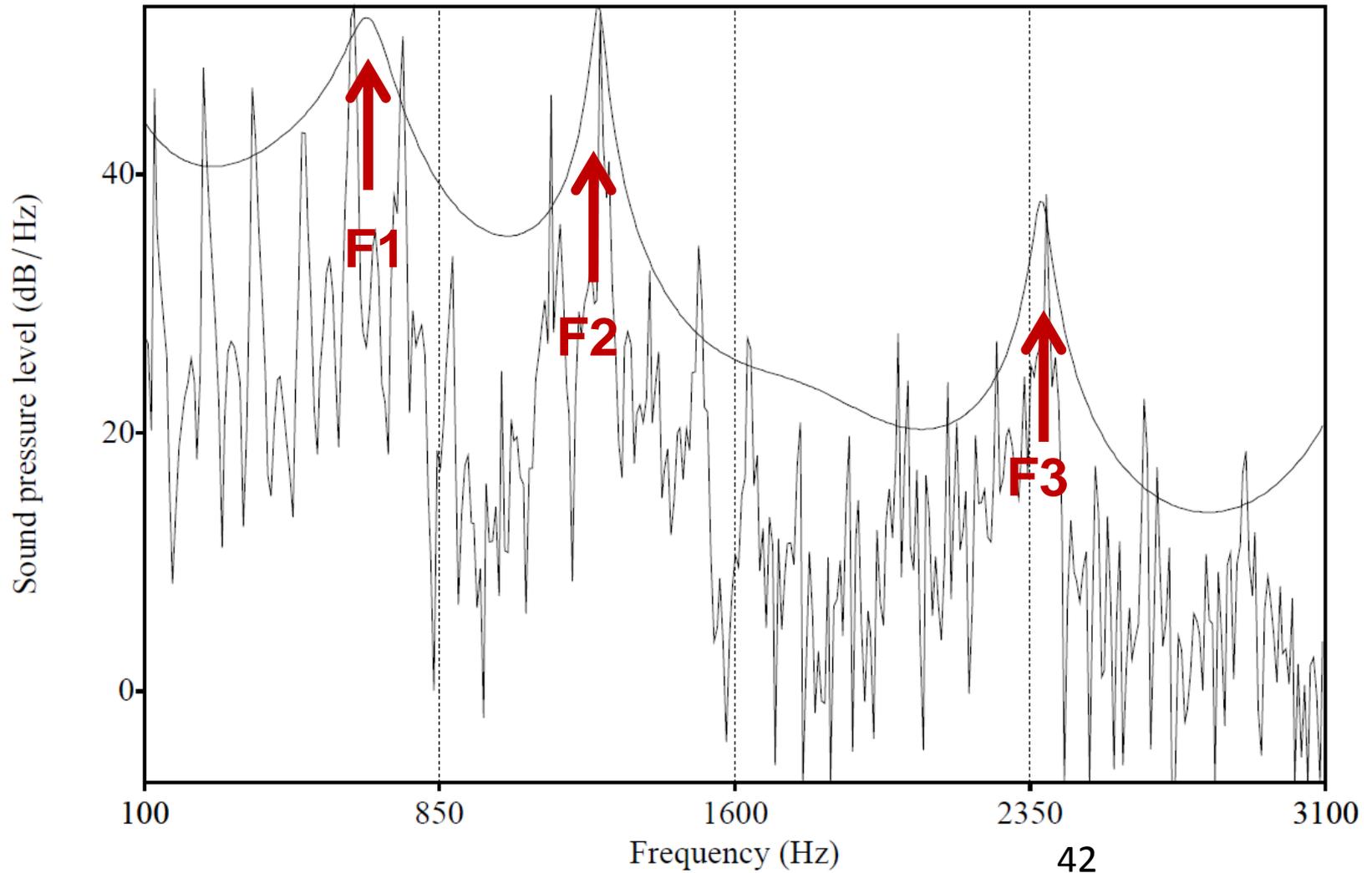


# La acústica de las vocales

Las vocales se distinguen acústicamente en cuanto a cuales frecuencias amplifican o moderan.

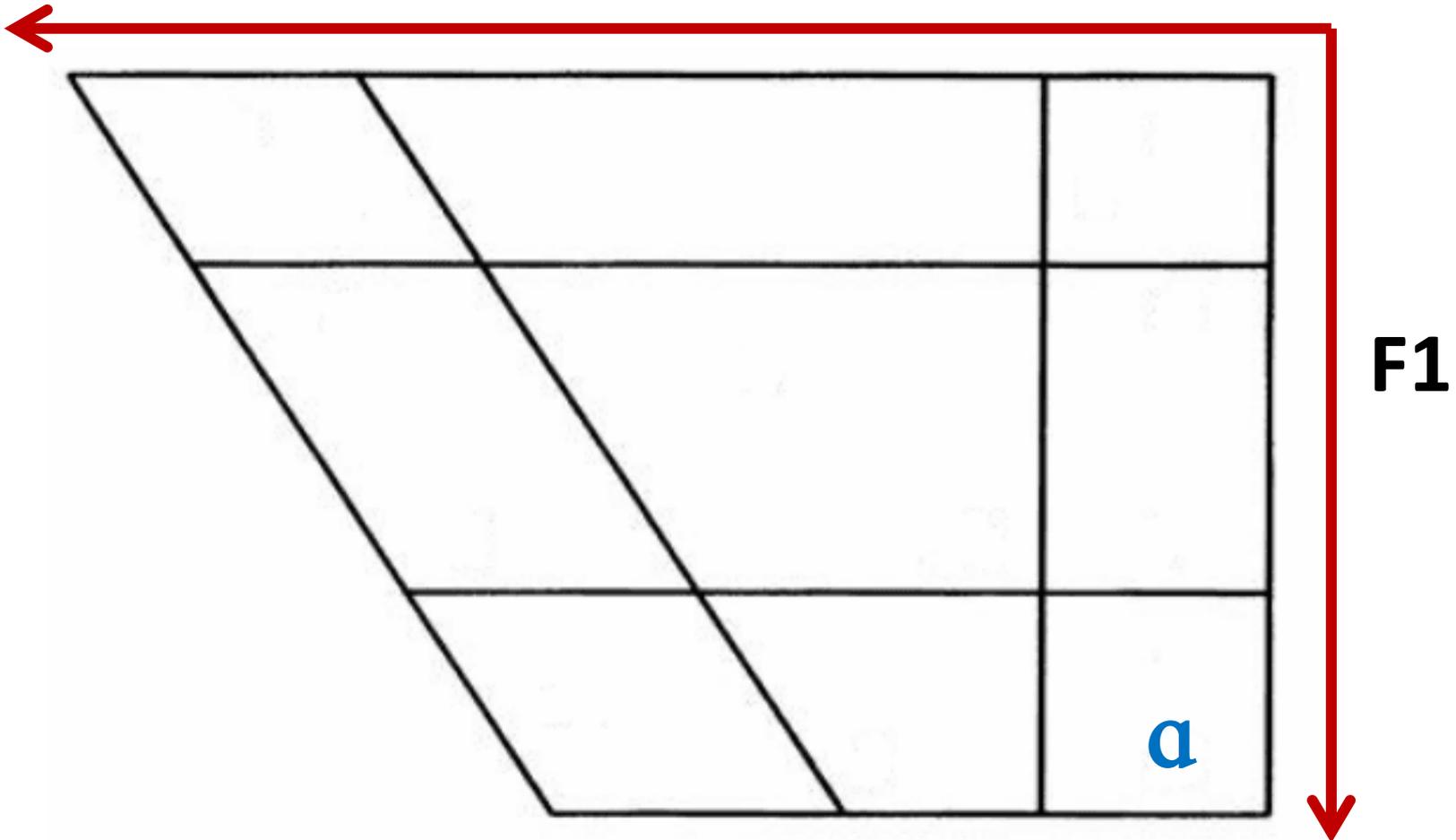
- Esta filtración se llama **resonancia**.
- Los picos de amplitud en el espectro de una vocal se llaman **formantes**.

# Espectro de [a]

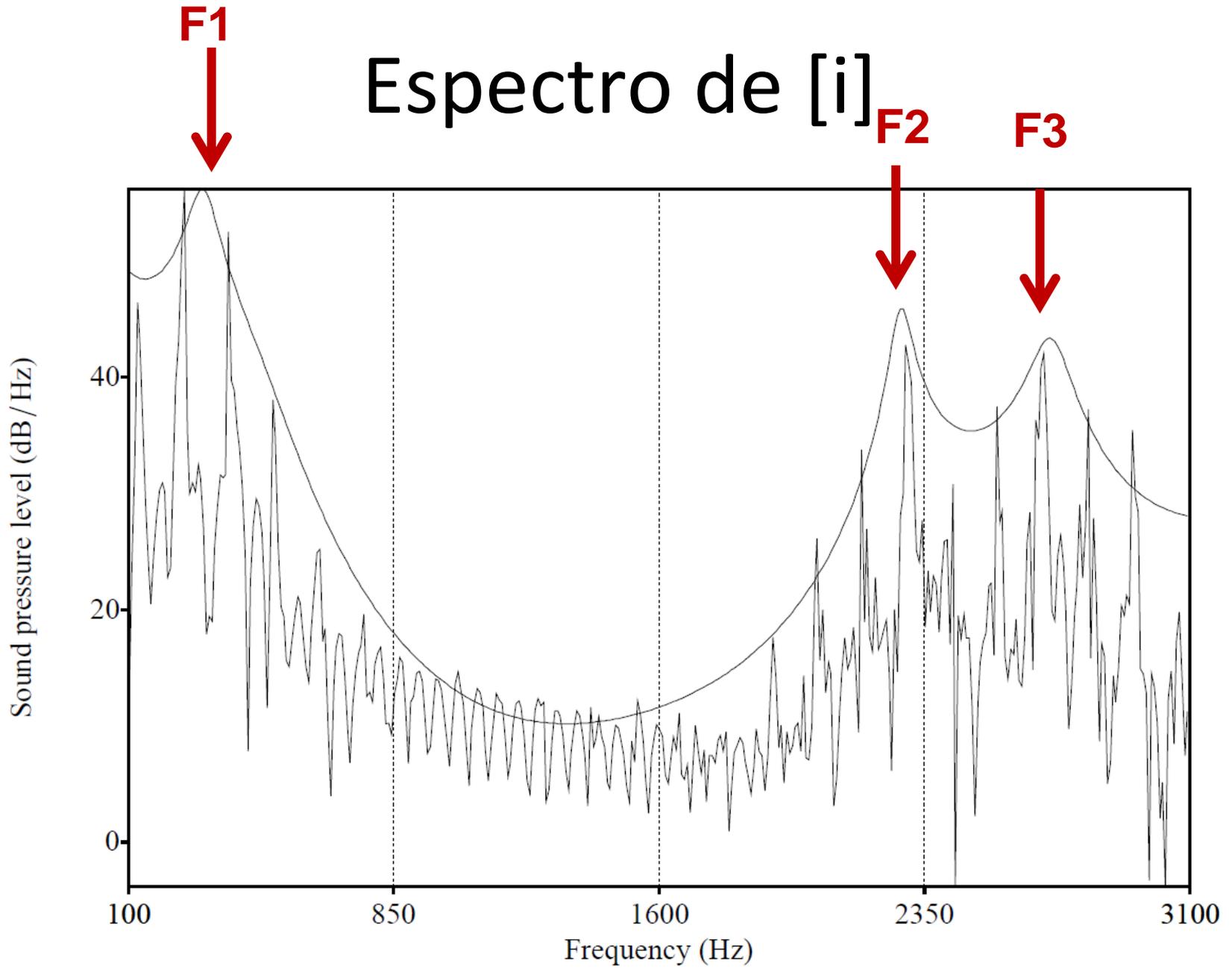


# La acústica de las vocales

**F2**

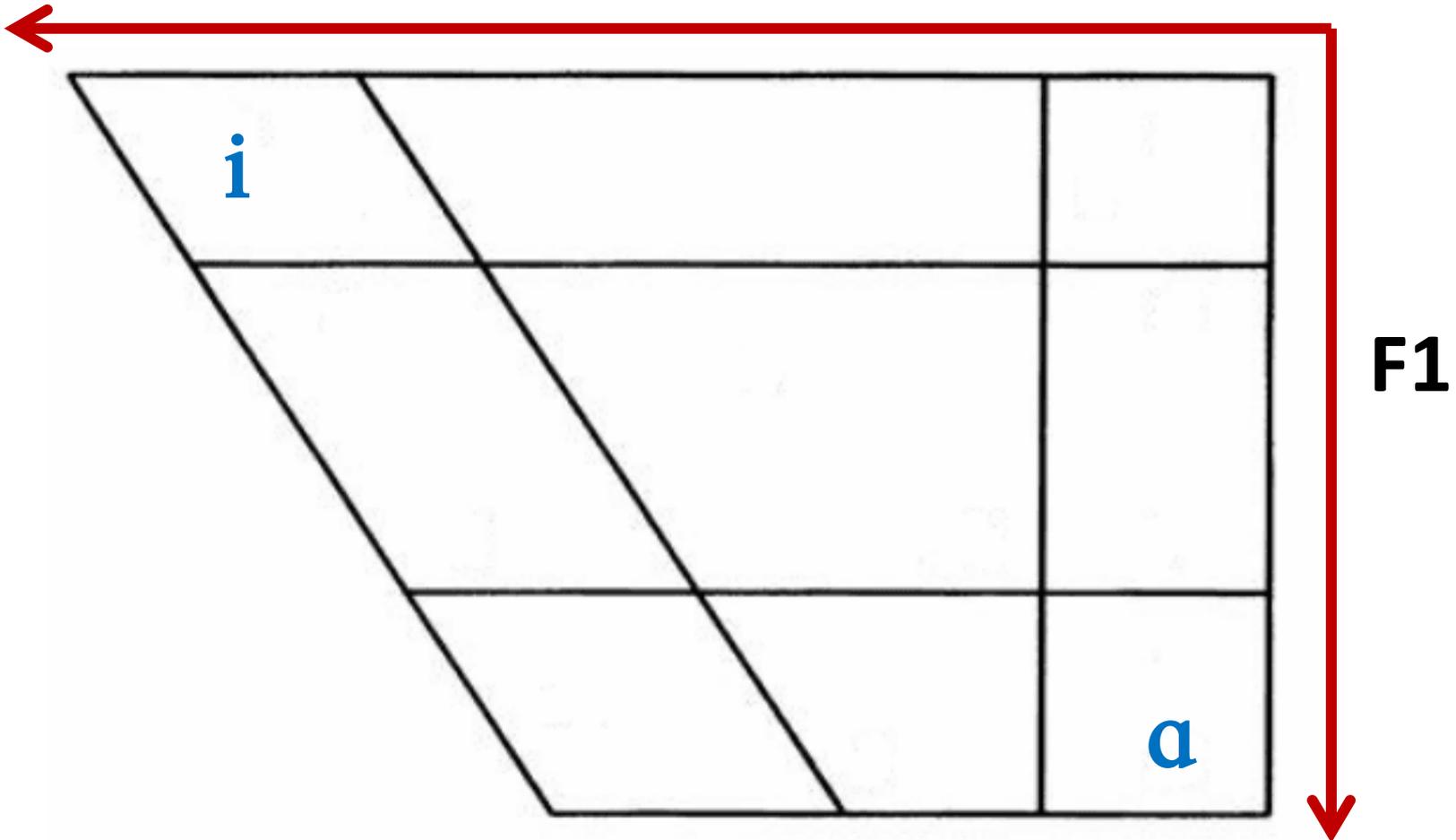


# Espectro de [i]

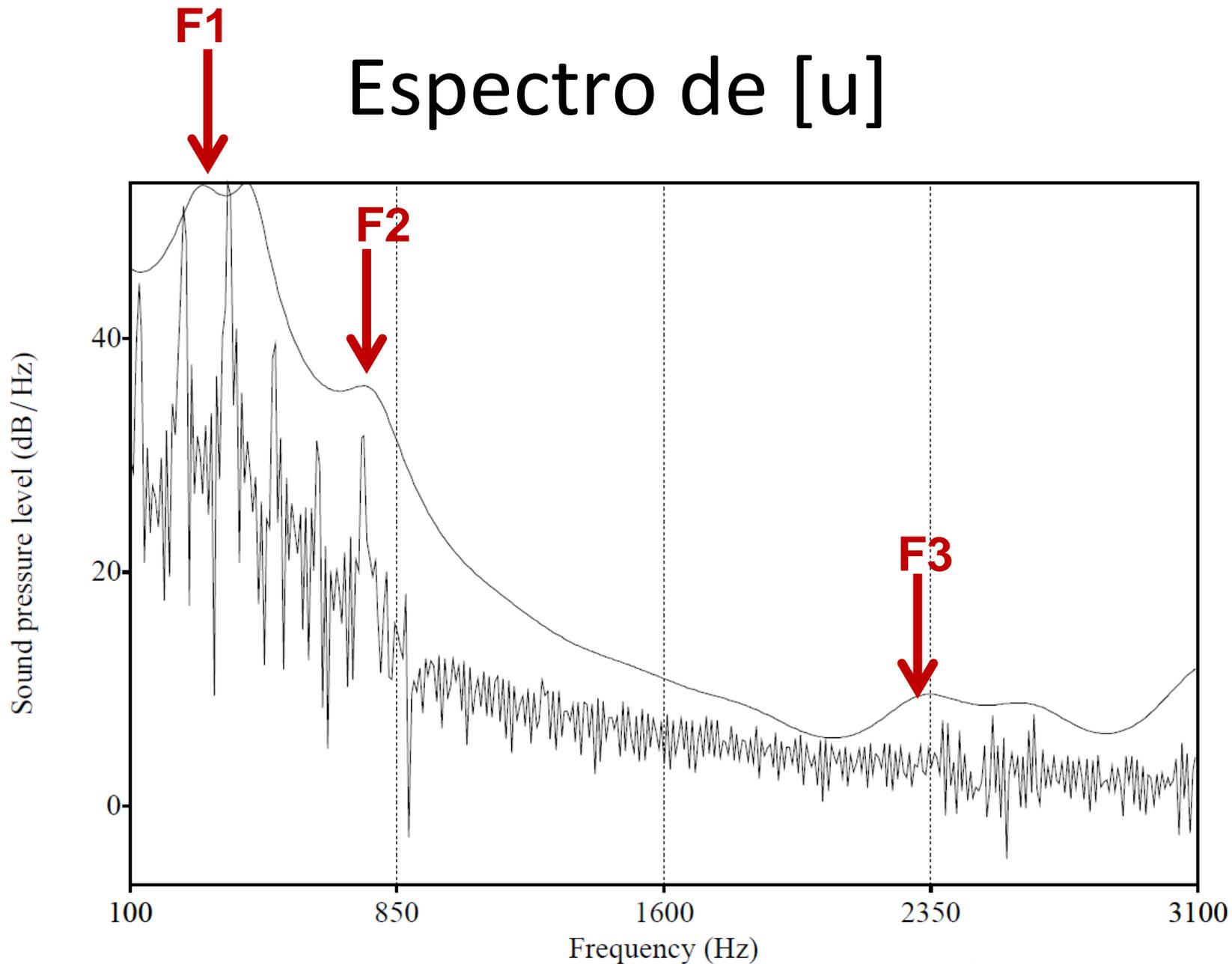


# La acústica de las vocales

**F2**

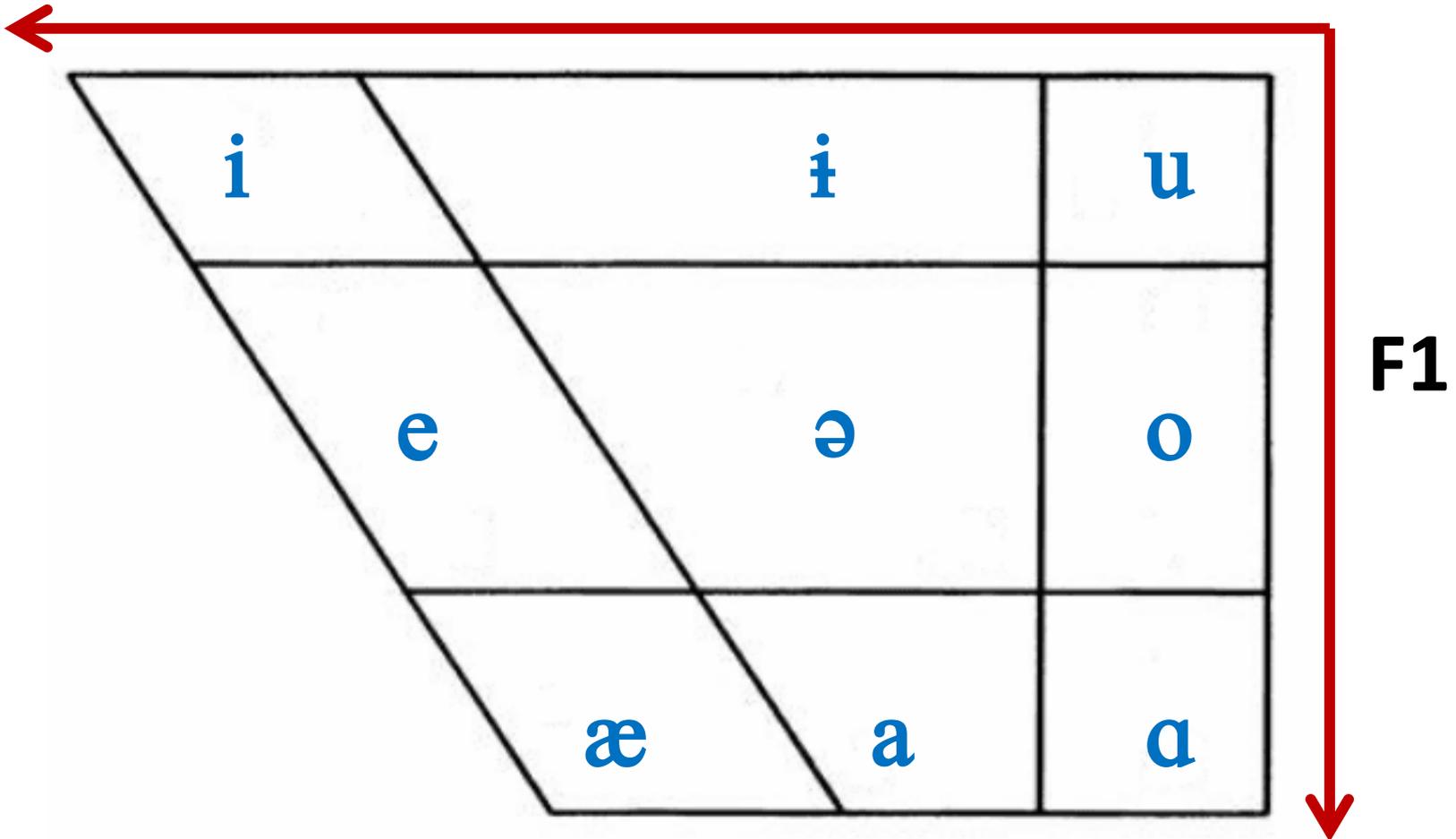


# Espectro de [u]



# La acústica de las vocales

**F2**



# El primer formante (F1)

F1: el pico de la resonancia del tracto vocal más bajo.

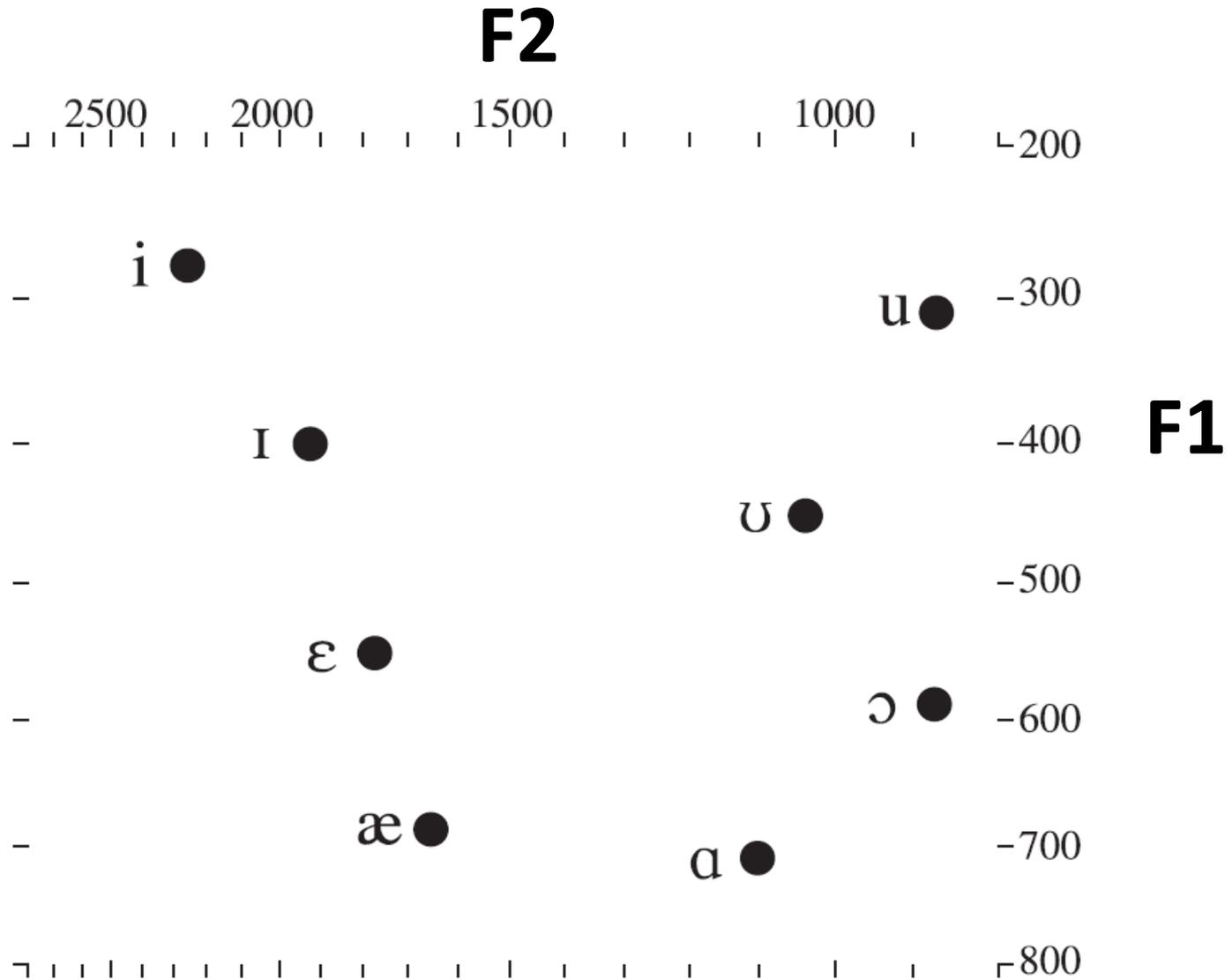
- Tiene una relación inversa con la altura vocálica.
- Vocal más alta → F1 más baja

# El segundo formante (F2)

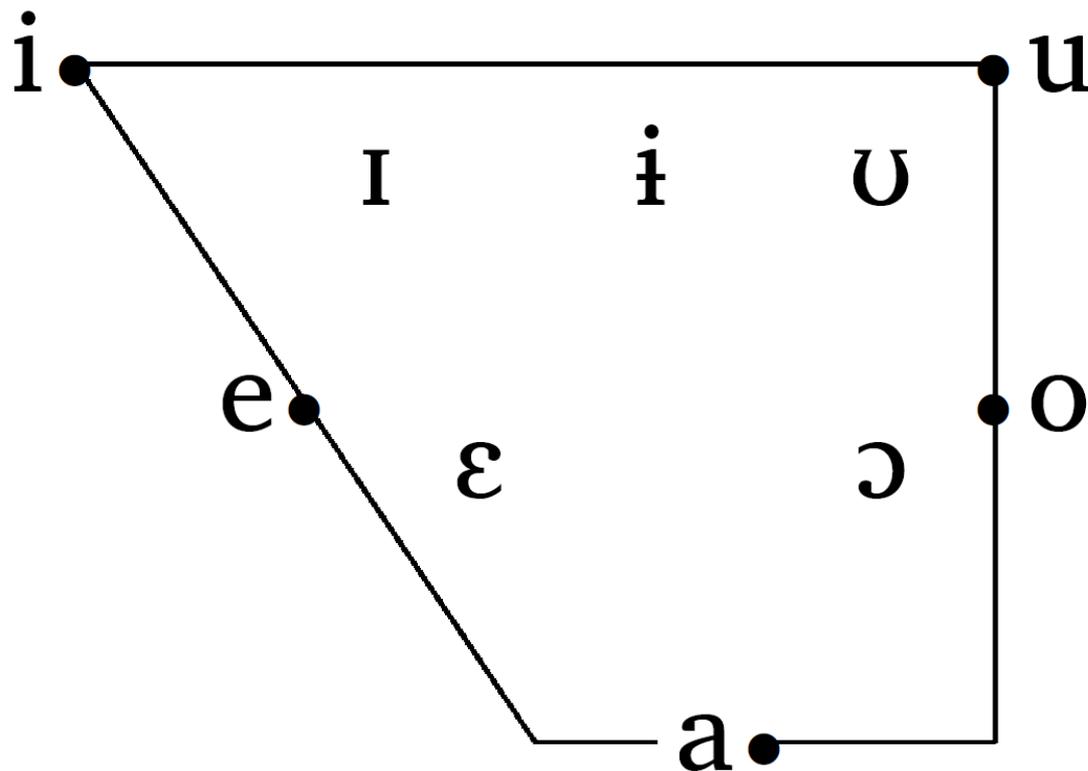
F2: el pico de la resonancia del tracto vocal segundo bajo.

- Se correlaciona con la anterioridad vocálica.
- Vocal más anterior → F2 más alta

# La acústica de las vocales

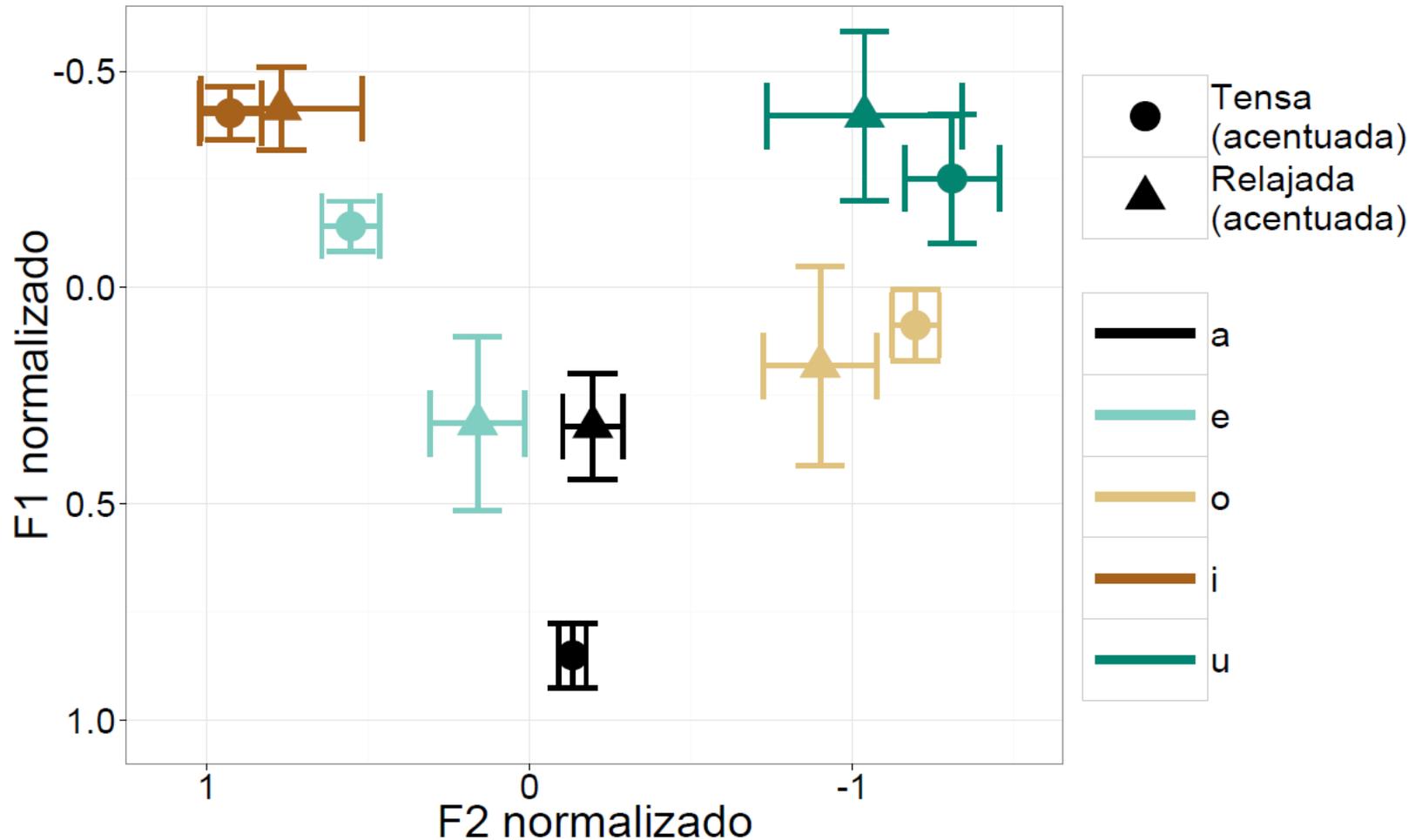


# Las vocales del kaqchikel



# Las vocales del kaqchikel

(Bennett por aparecer)



# Gamas de los formantes: el inglés

Más o menos un formante por cada 1000 Hz.

## Hombres:

- F1: 250-800 Hz
- F2: 800-2400 Hz

## Mujeres:

- F1: 300-950 Hz
- F2: 900-2800 Hz (Hillenbrand et al. 1995)

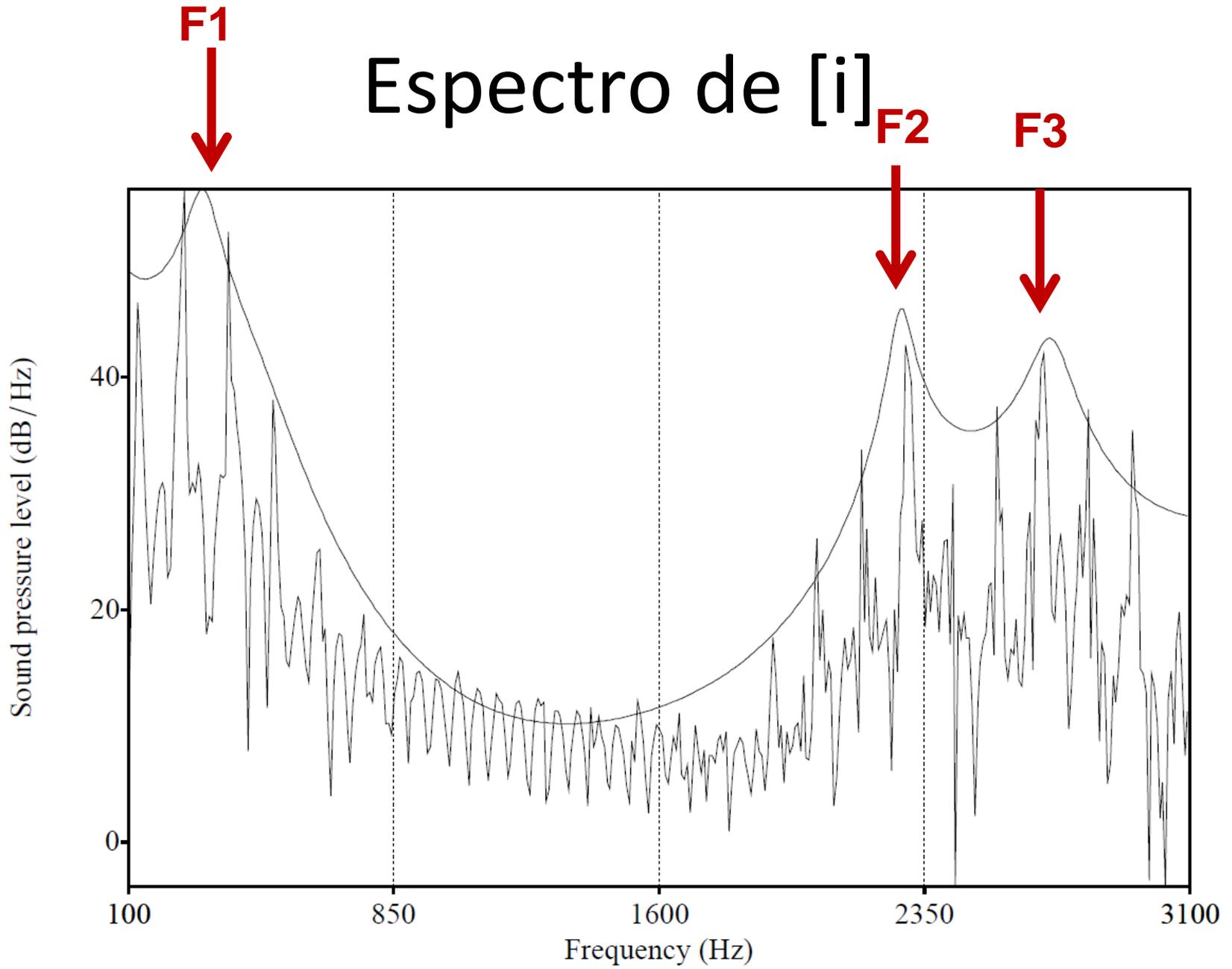
Son solo estimaciones, y pueden variar con factores como el tamaño del cuerpo.

# El tercer formante (F3)

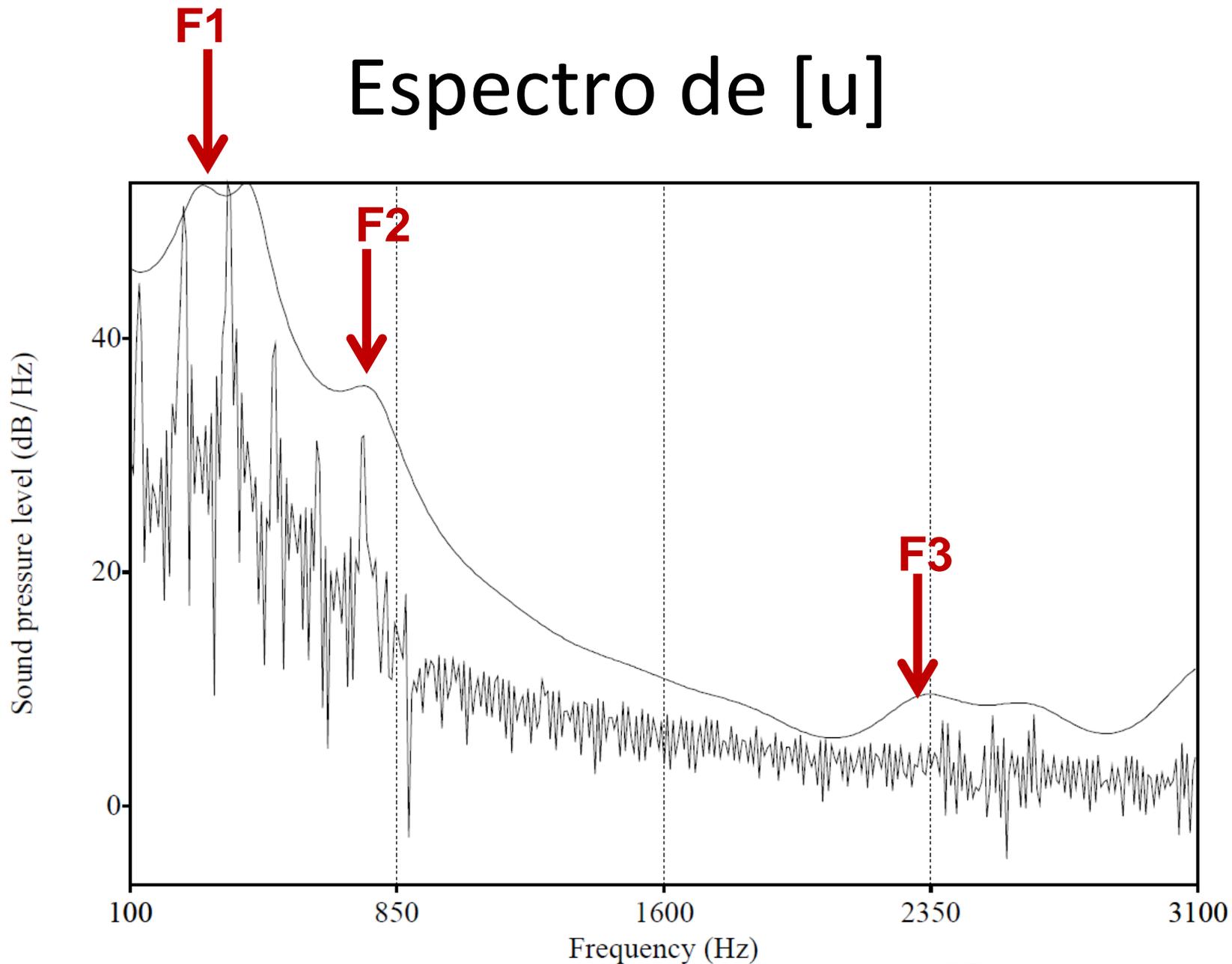
El F3 puede indicar el redondeamiento vocálico.

- Vocales redondas tienen F3 **más bajo**.
- Además: el redondeamiento hace bajar *todos* los formantes, incluyendo el F2.

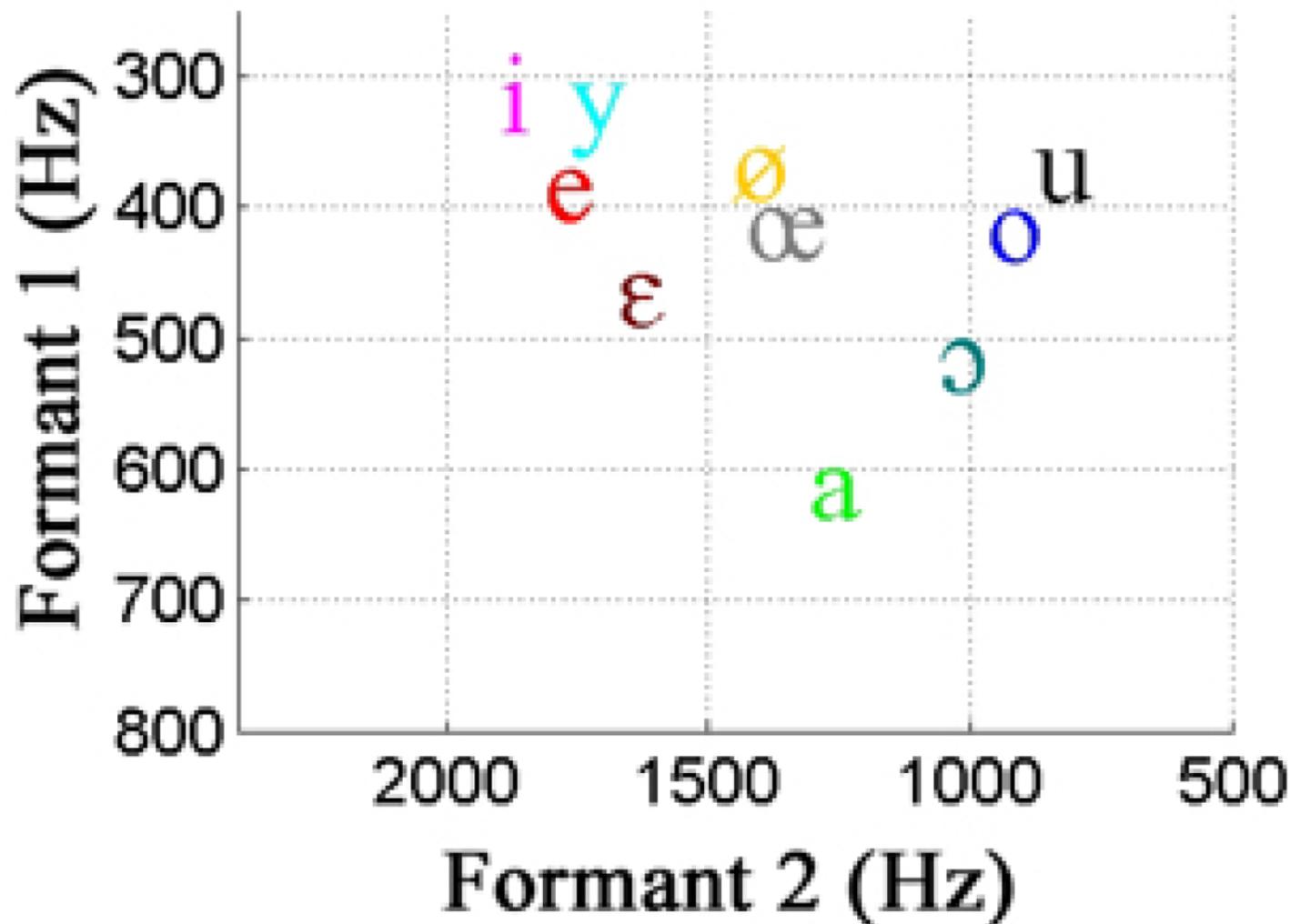
# Espectro de [i]



# Espectro de [u]



# Redondeamiento contrastivo: El francés



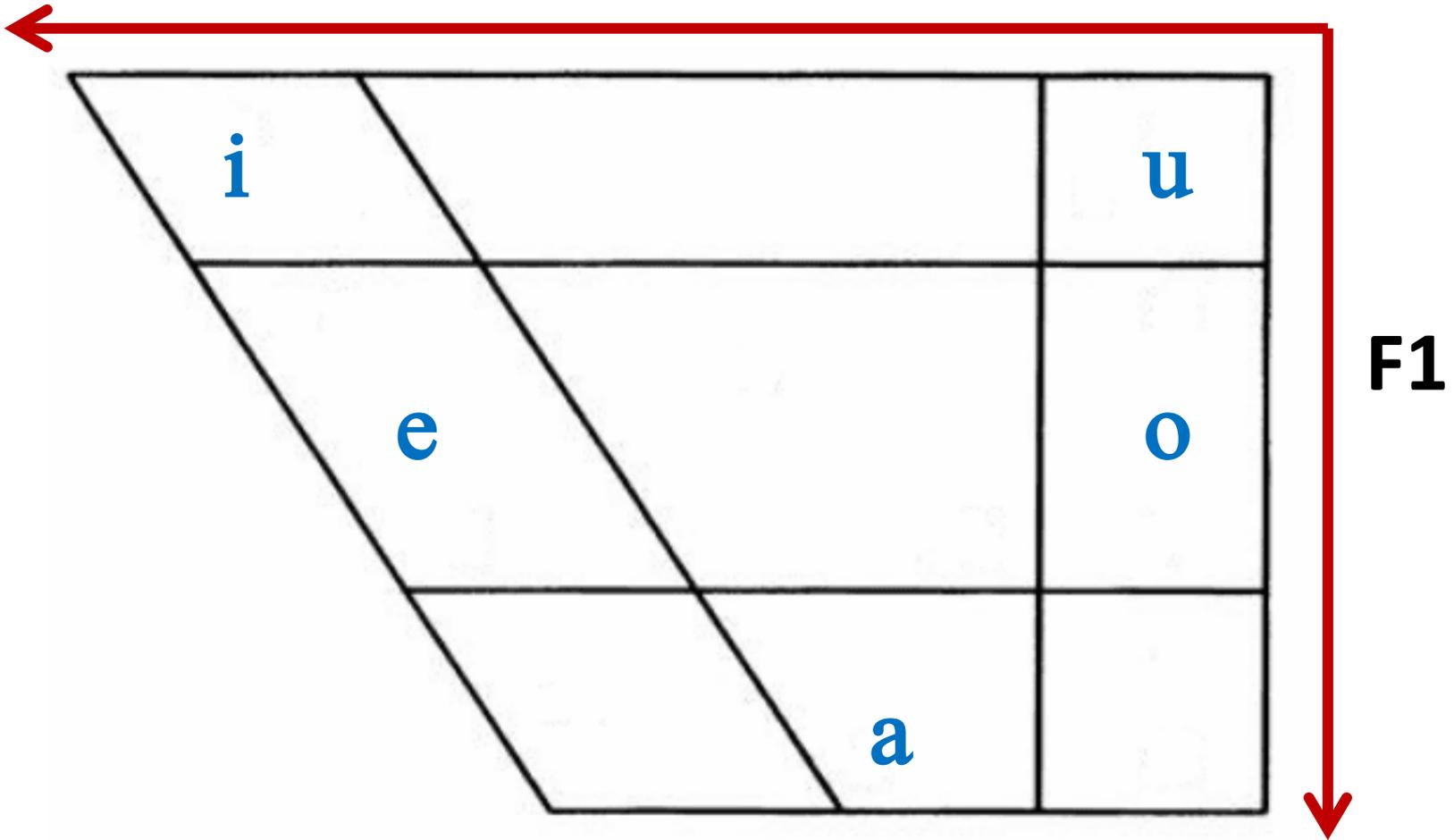
# Redondeamiento

Las vocales posteriores suelen ser redondas (y vice-versa). ¿Por qué?

- Las vocales posteriores tienen F2 bajo.
- El redondeamiento **intensifica** este F2 bajo.

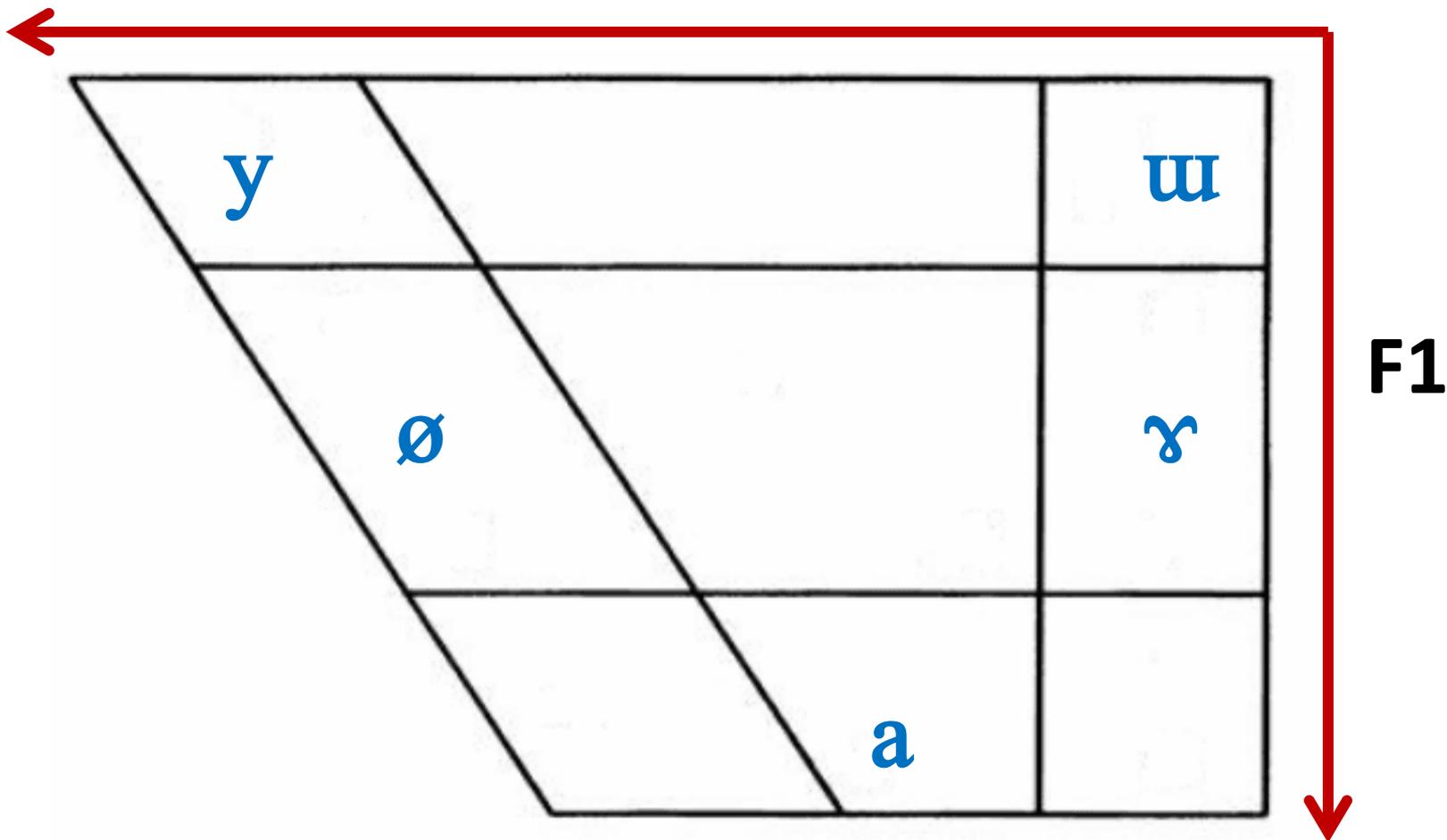
# Sistema común

**F2**



# Sistema que no existe

**F2**



# Frecuencia de muestreo

Ahora entendemos mejor por qué importa tanto la frecuencia de muestreo.

- Los sonidos se distinguen acústicamente en cuanto a como afectan las componentes de frecuencia de la fuente de sonido.
- Tenemos que grabar con frecuencia de muestreo que puede capturar todas las frecuencias que tienen relevancia para el habla ( $< 10,000$  Hz)

Fonética práctica  
UVG Sololá  
14-16 de julio 2016

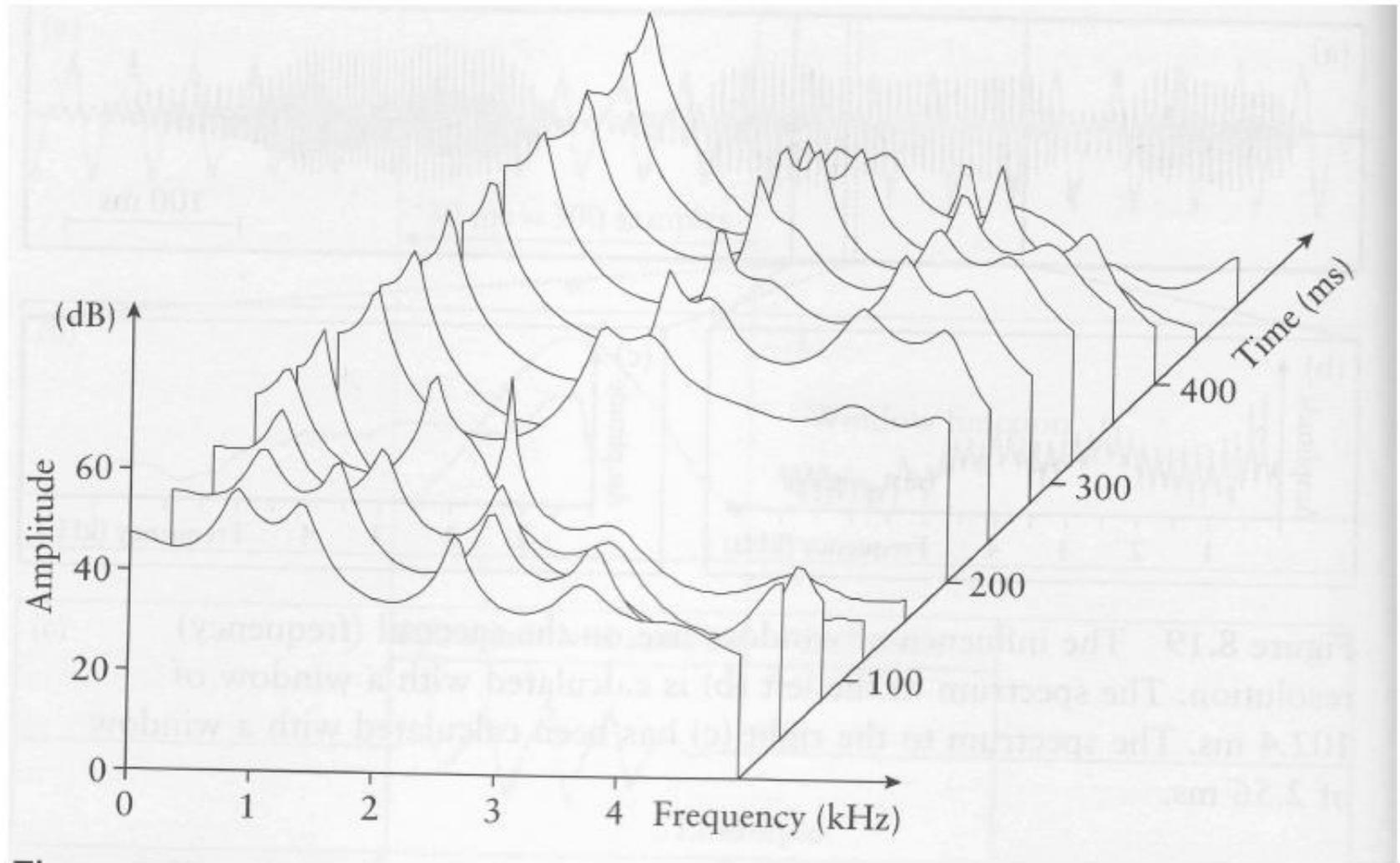
## **Espectrogramas**

# Espectrogramas

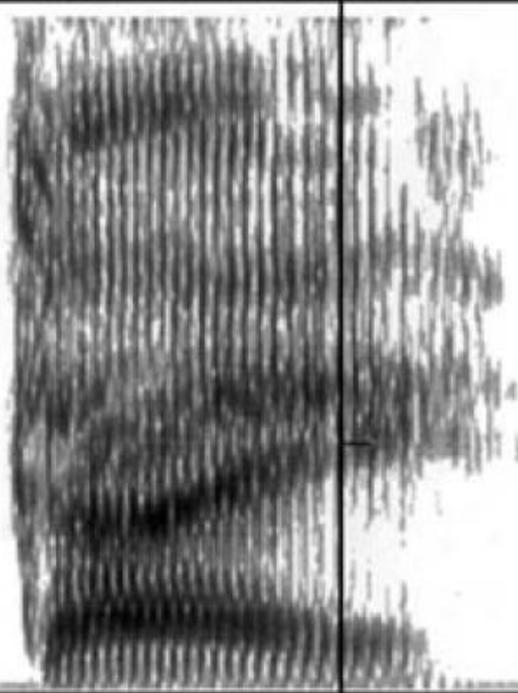
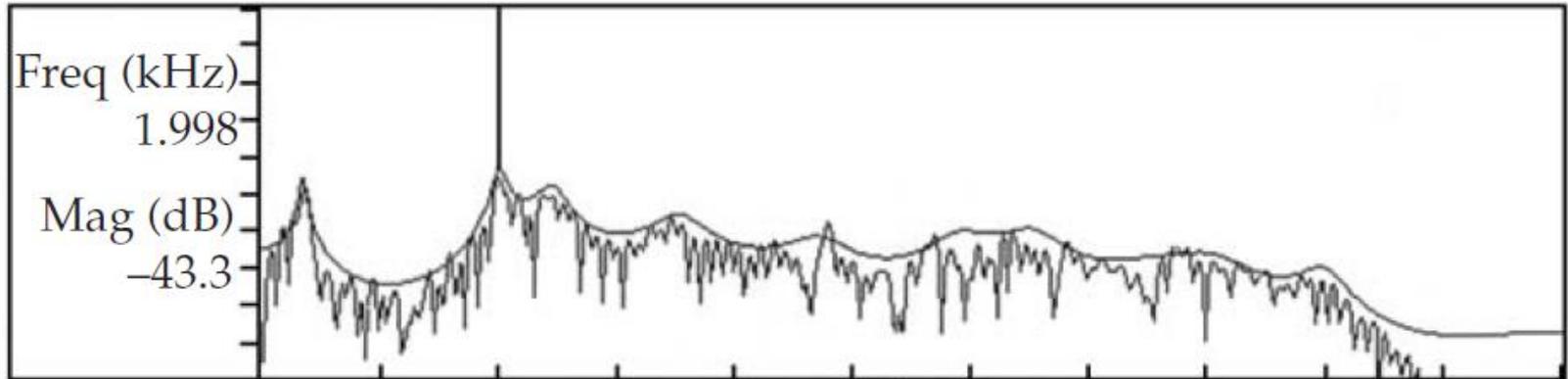
La acústica del habla cambia rápidamente con los movimientos de los articuladores.

- Pero los espectros son como fotos: representan solo un momento del tiempo.
- Necesitamos una ‘**película**’ del habla.
- **Espectrogramas** representan cambios espectrales a través del tiempo.

# Espectrogramas

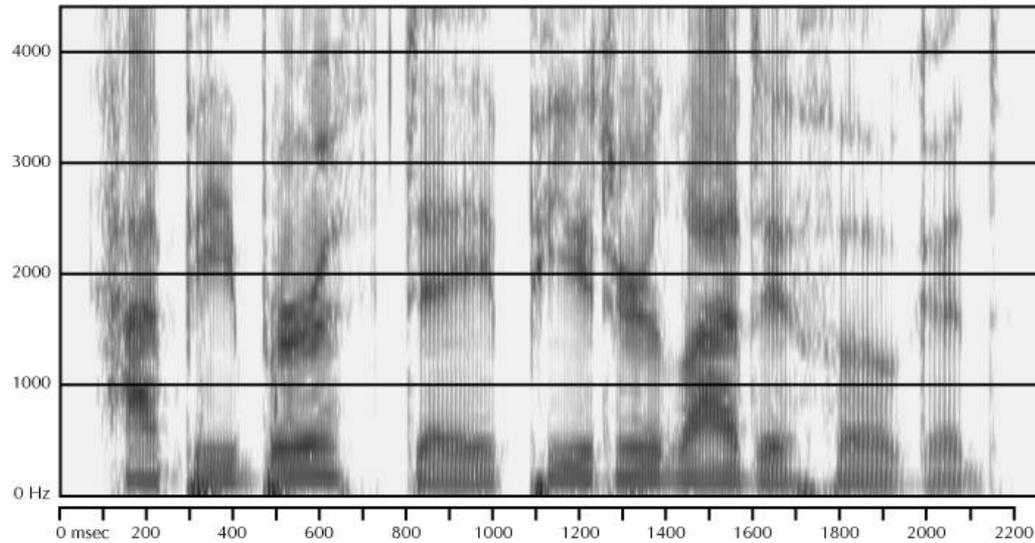


# Espectrogramas



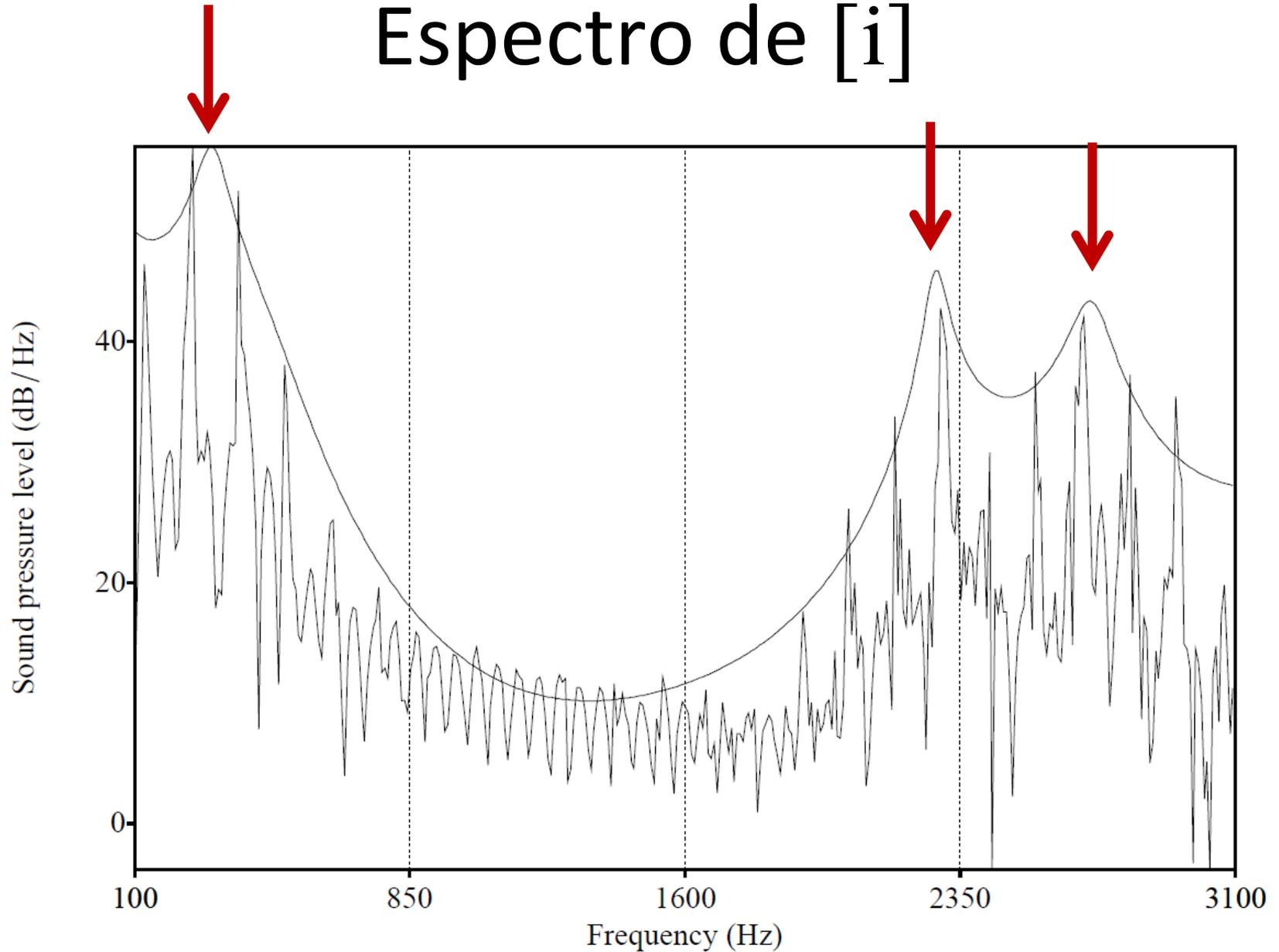
Time →

# Espectrogramas

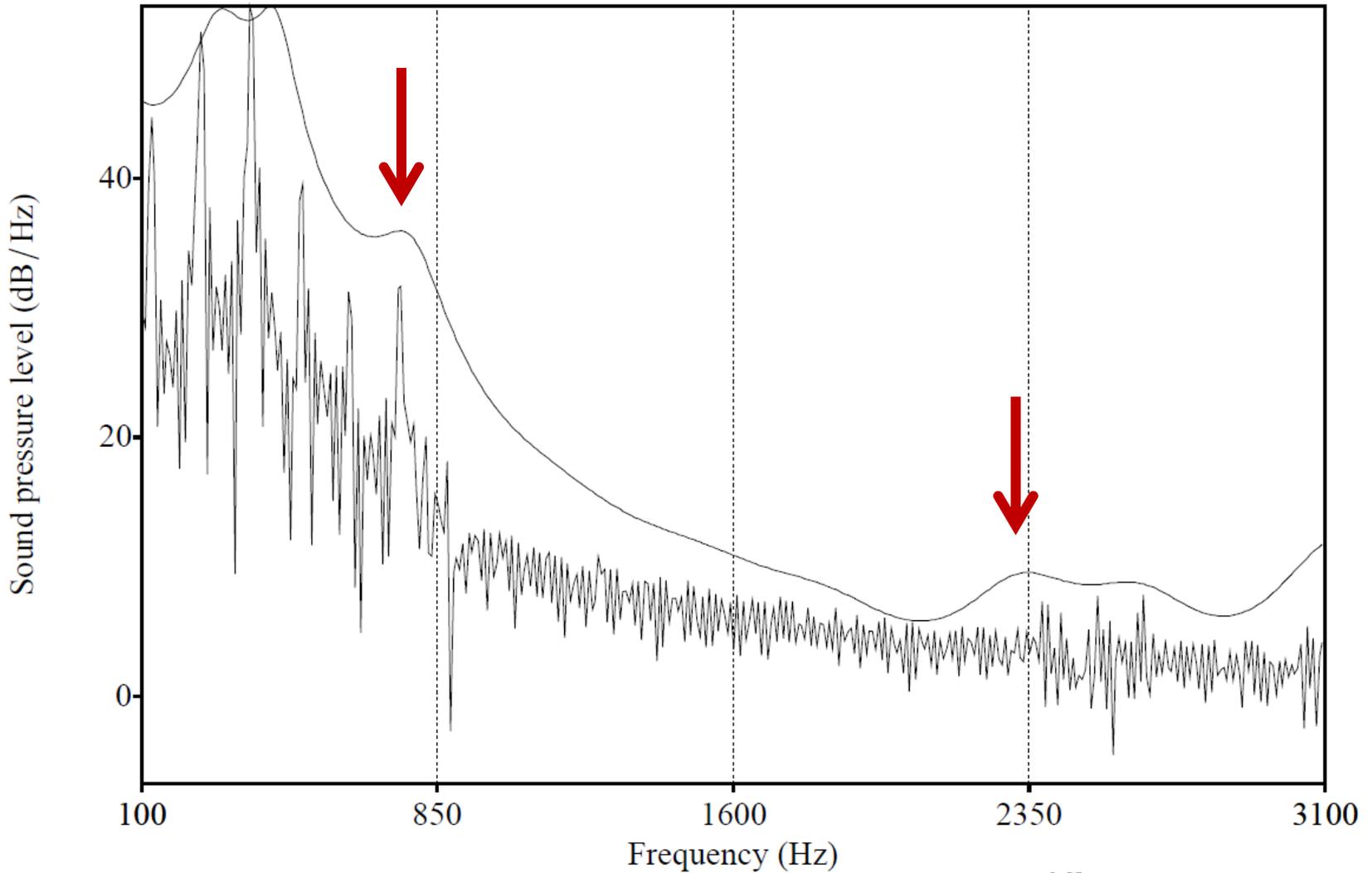


- Eje X: tiempo
- Eje Y: frecuencia
- Eje Z (color/oscuridad): amplitud

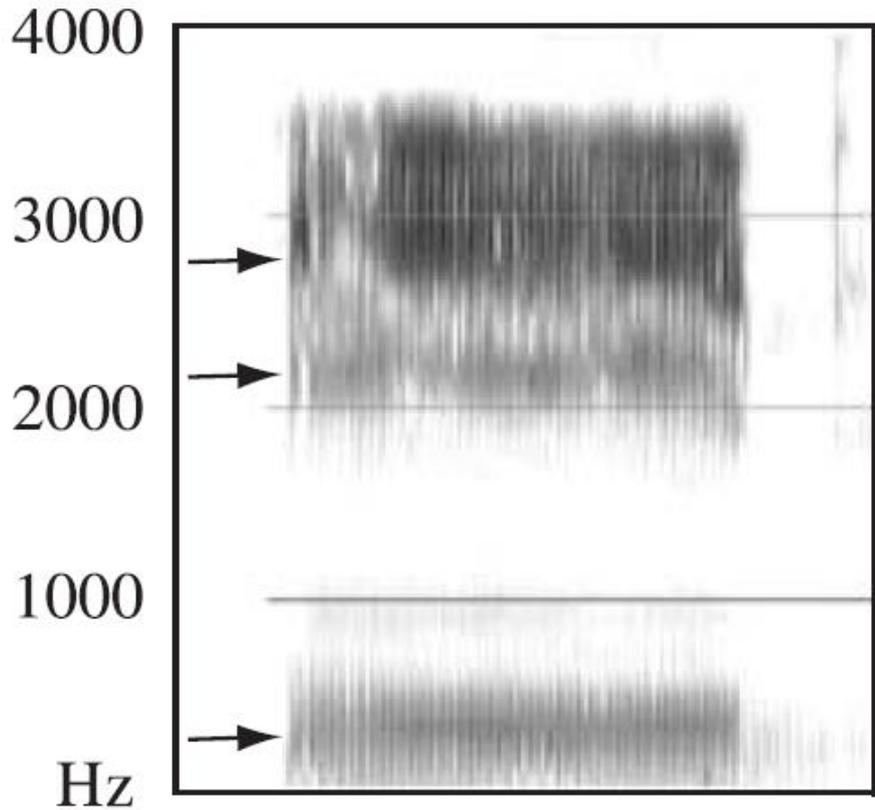
# Espectro de [i]



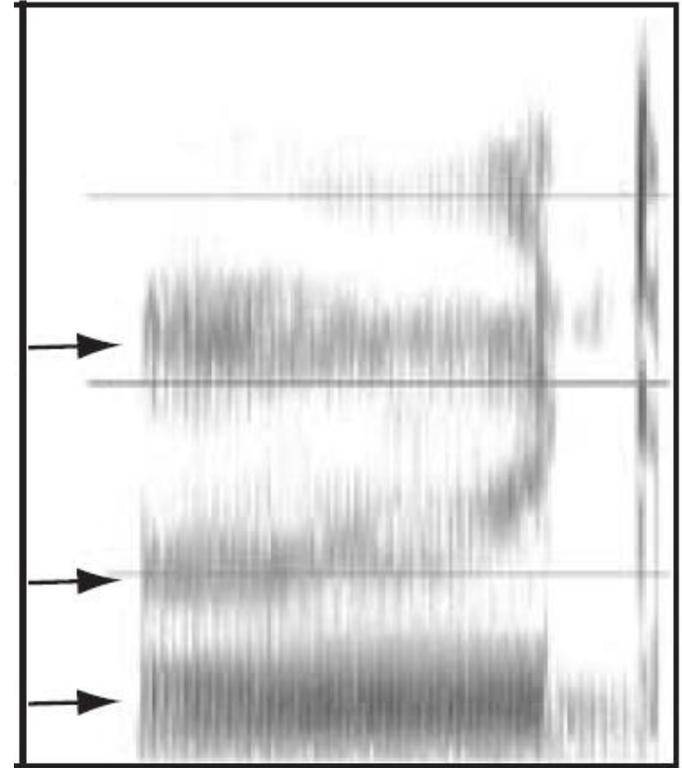
# Espectro de [u]



# Espectrogramas de [i u]

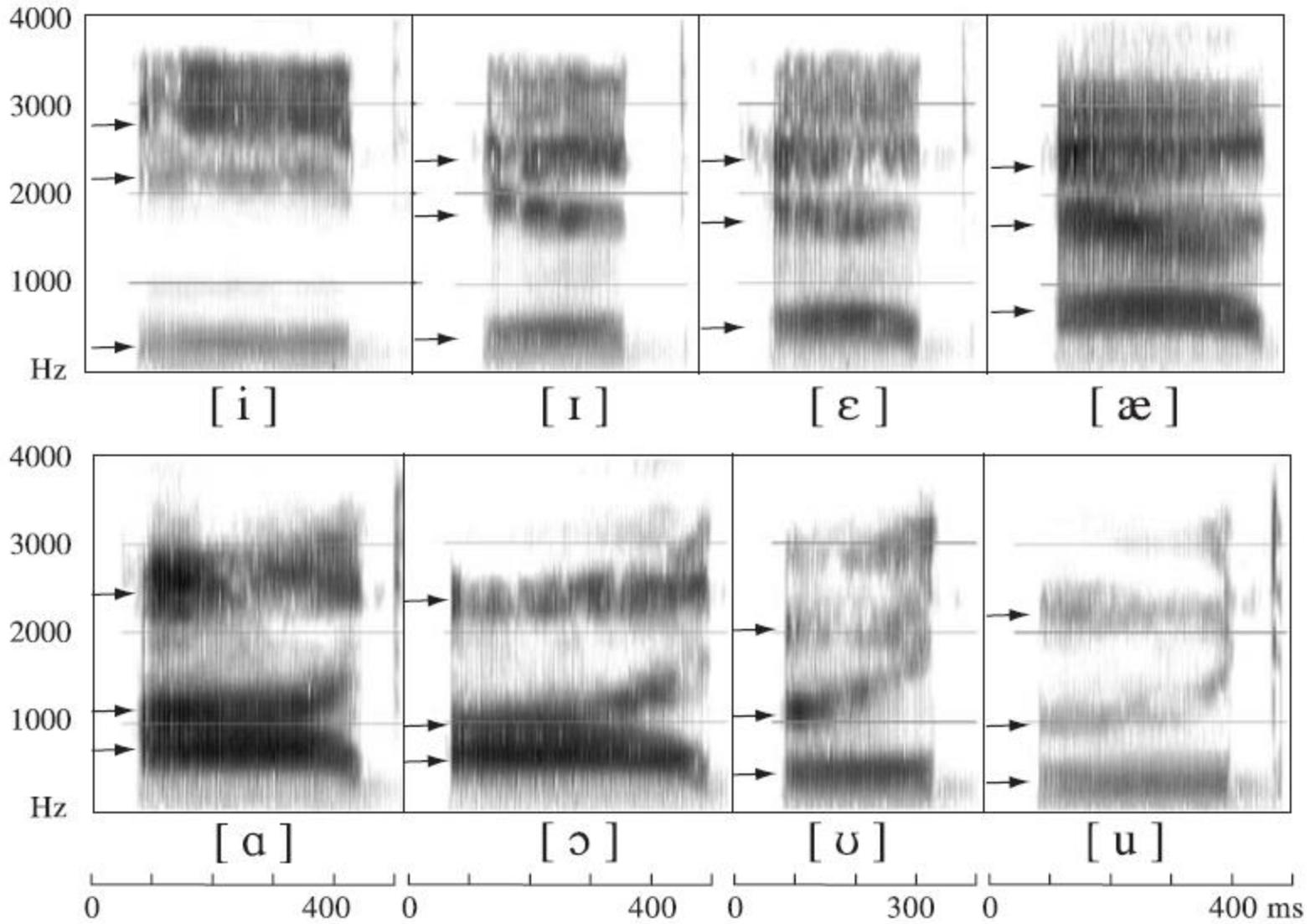


[ i ]



[ u ]

# Espectrogramas



# Espectrogramas

Las espectrogramas son importantes para sonidos que cambian a través del tiempo, como los diptógonos.

# Diptóngos

