

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.

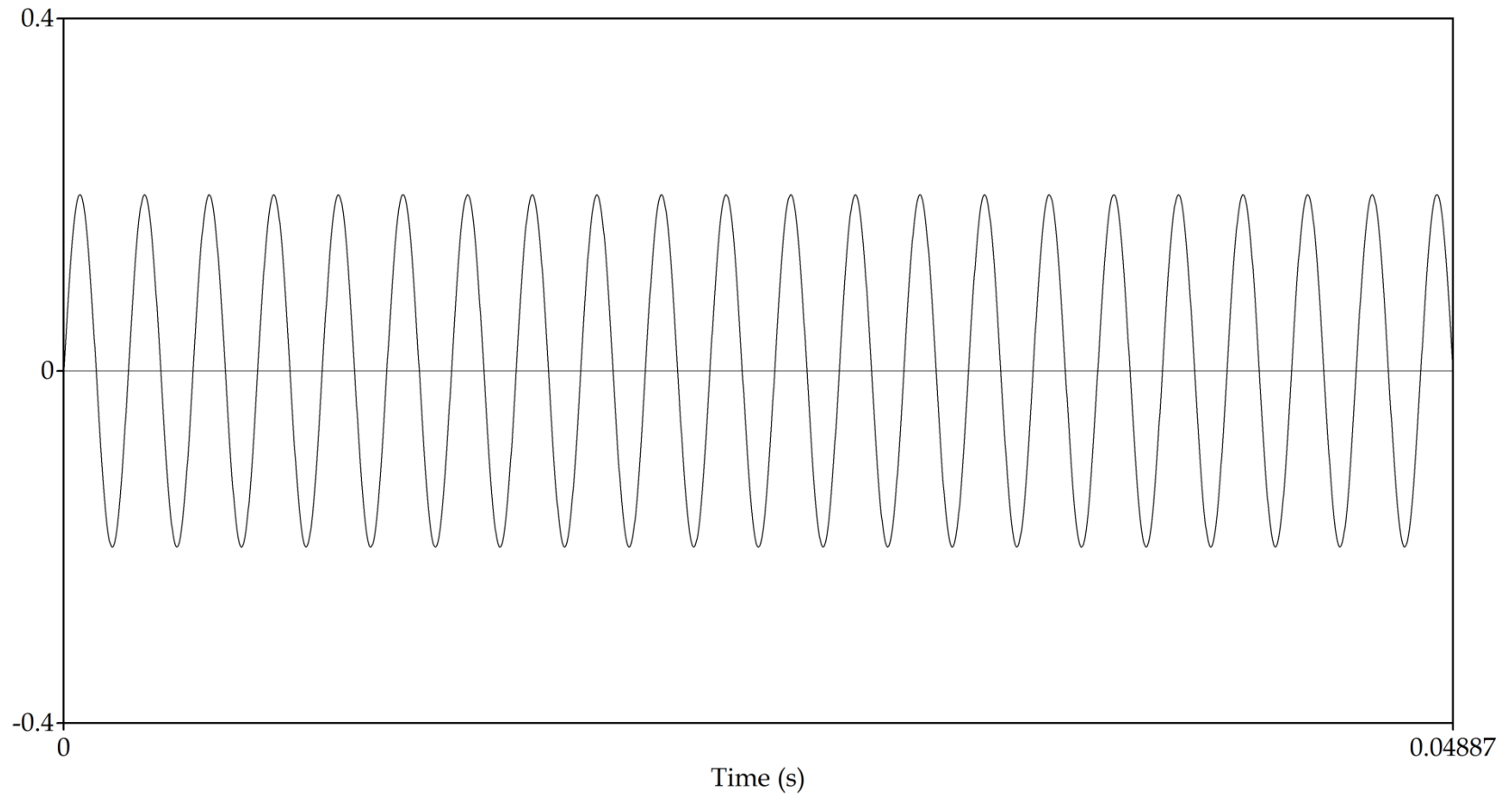
- Se llama la **periodicidad**.

Periodicidad

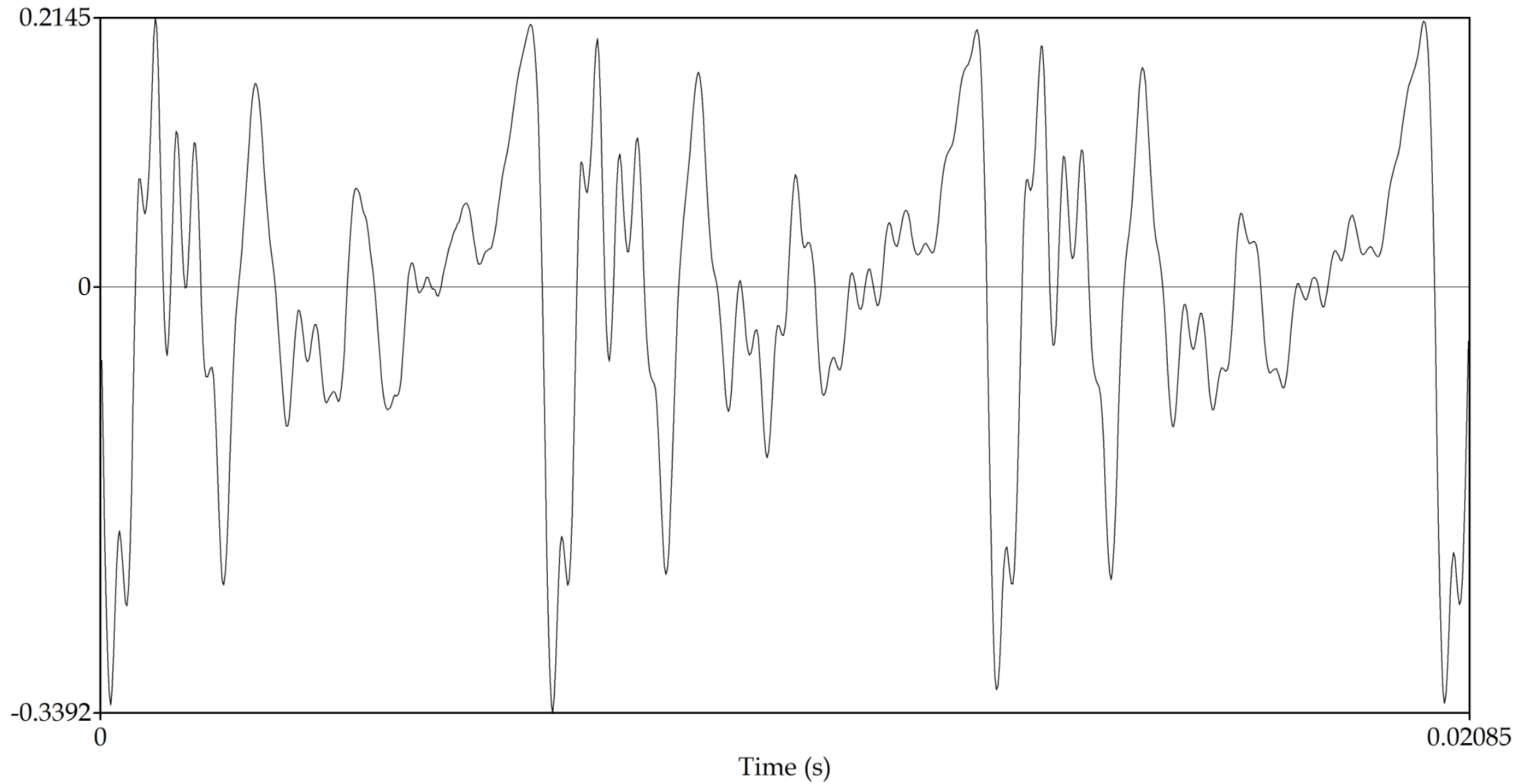
Sonido periódico:

- 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]

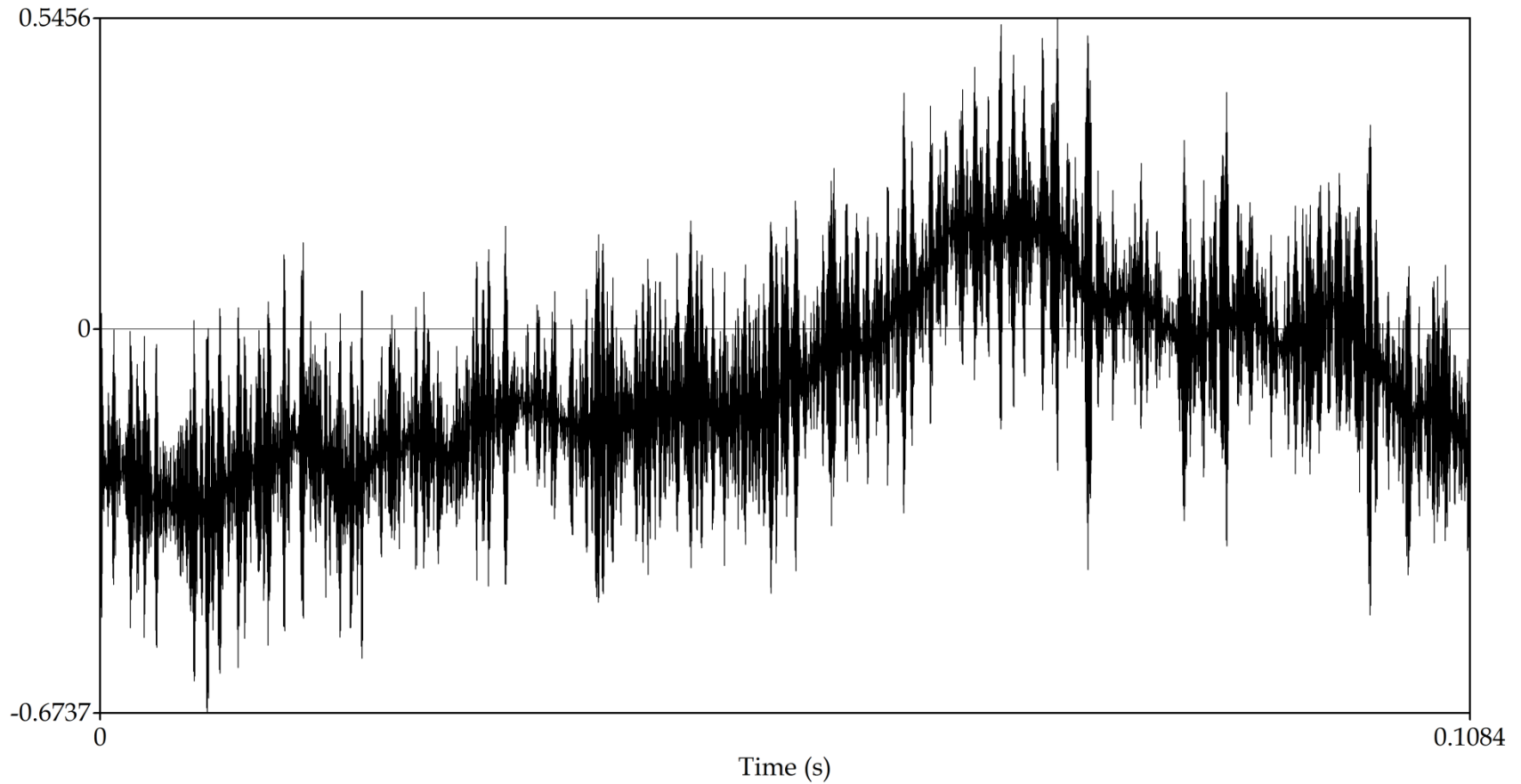


Periodicidad

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.

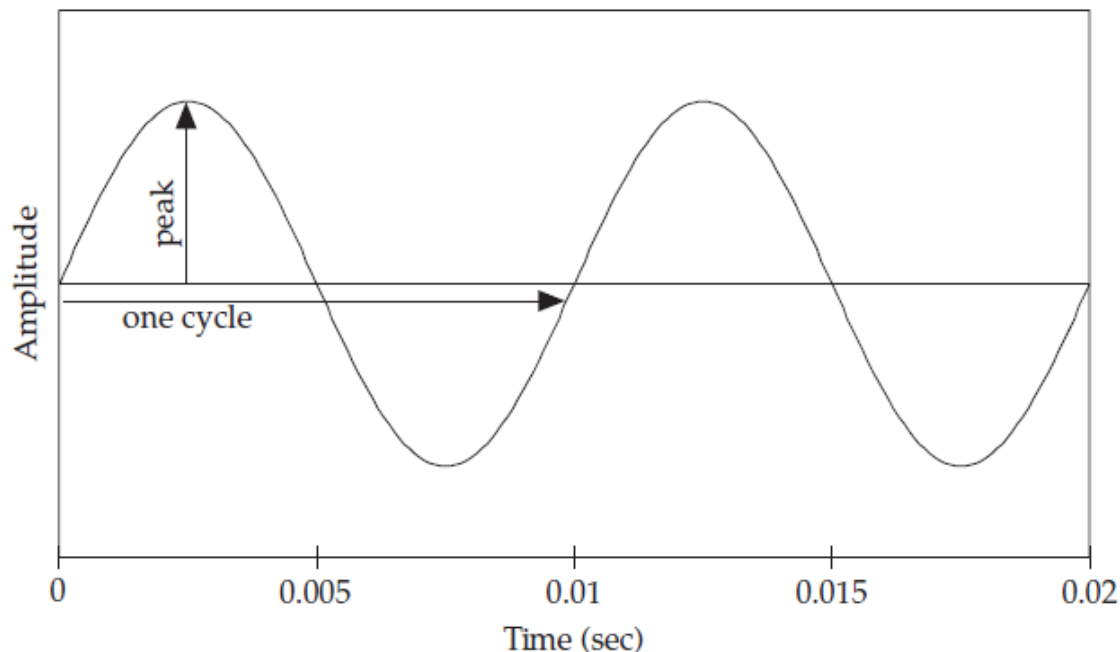
Sonidos aperiódicos: ruido gris



Periodicidad

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

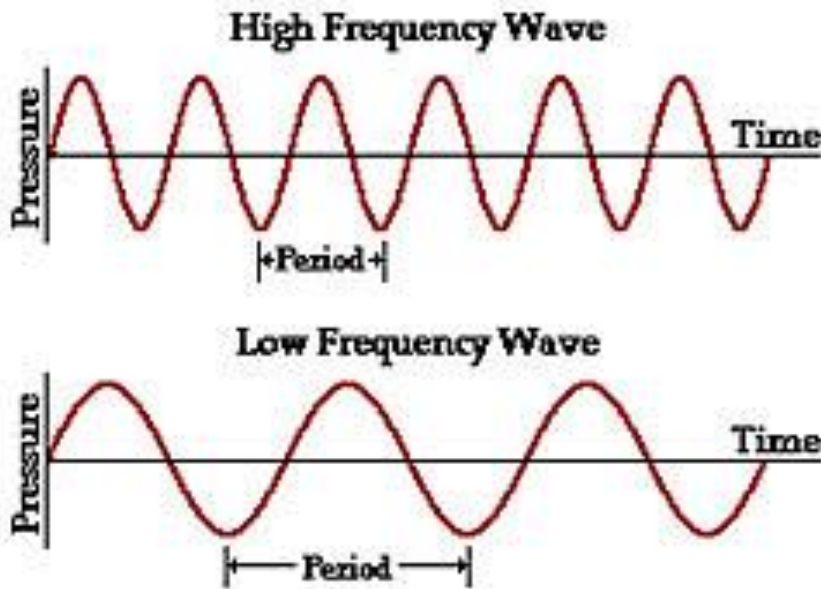
- El tiempo que dura un ciclo se llama un **período**: segundos/ciclo



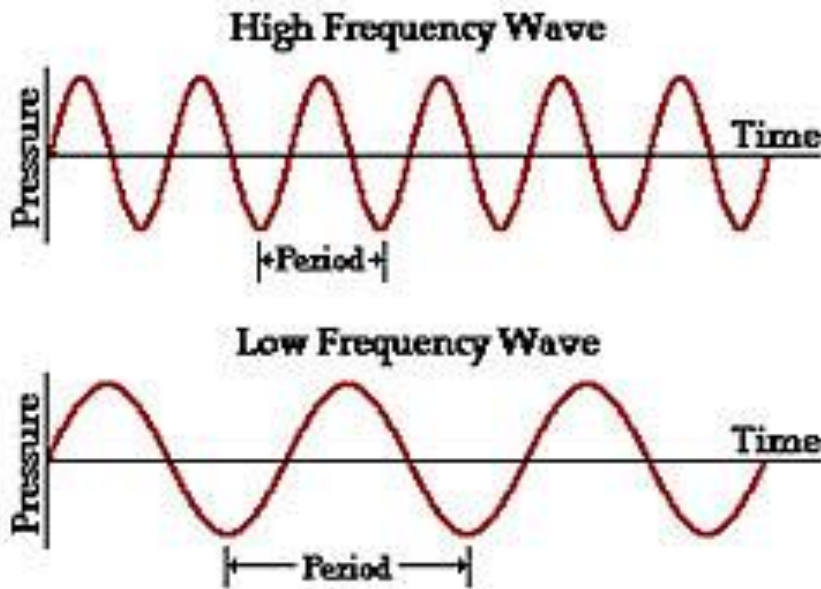
Frecuencia

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

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



Frecuencia

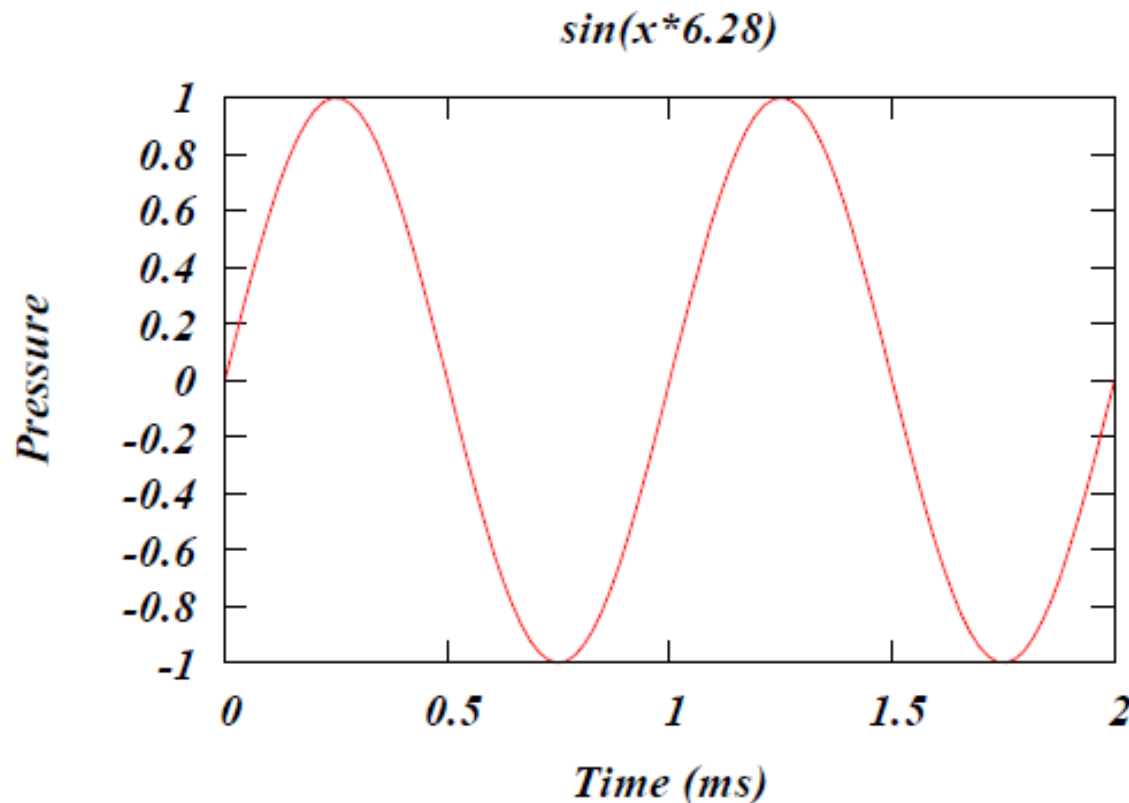


La frecuencia se percibe como la tonía.

- Frecuencia más alta = tonía más alta

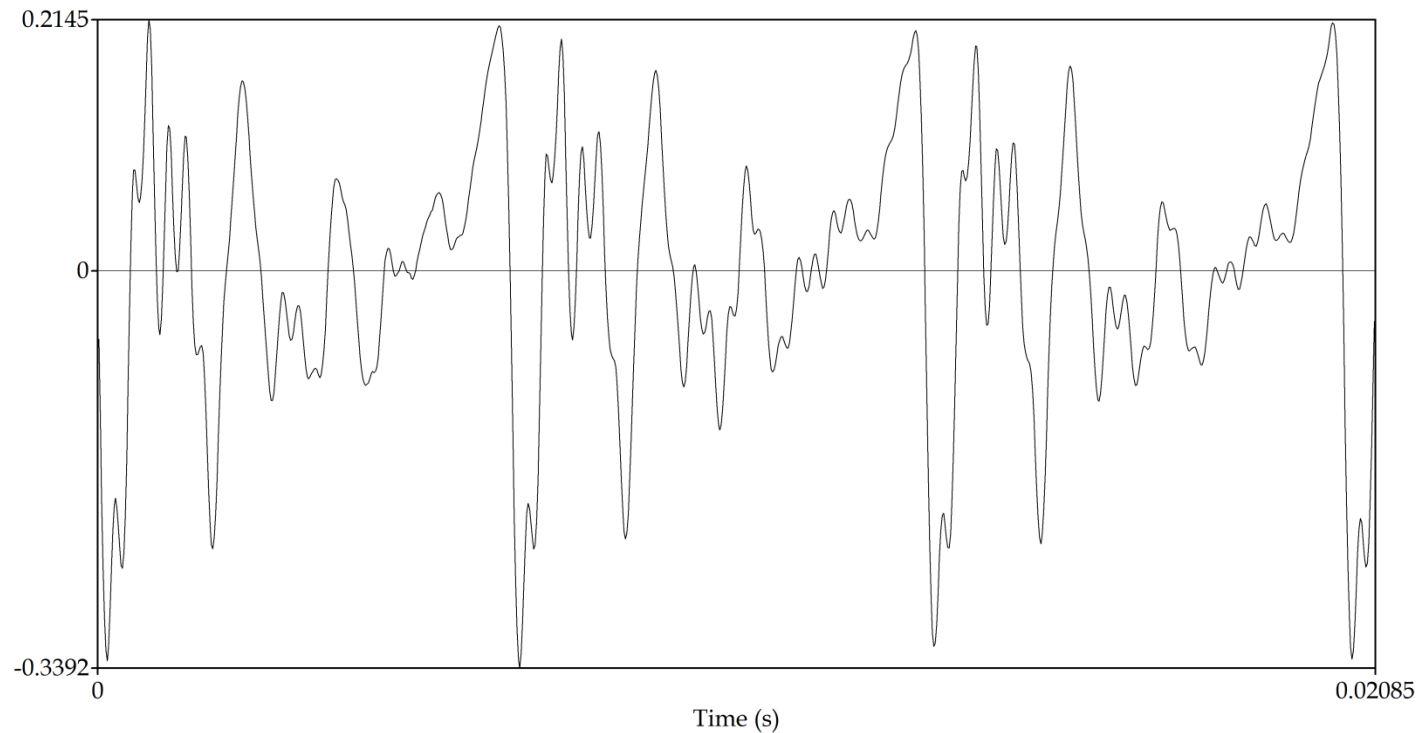
Ondas periódicas sencillas

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



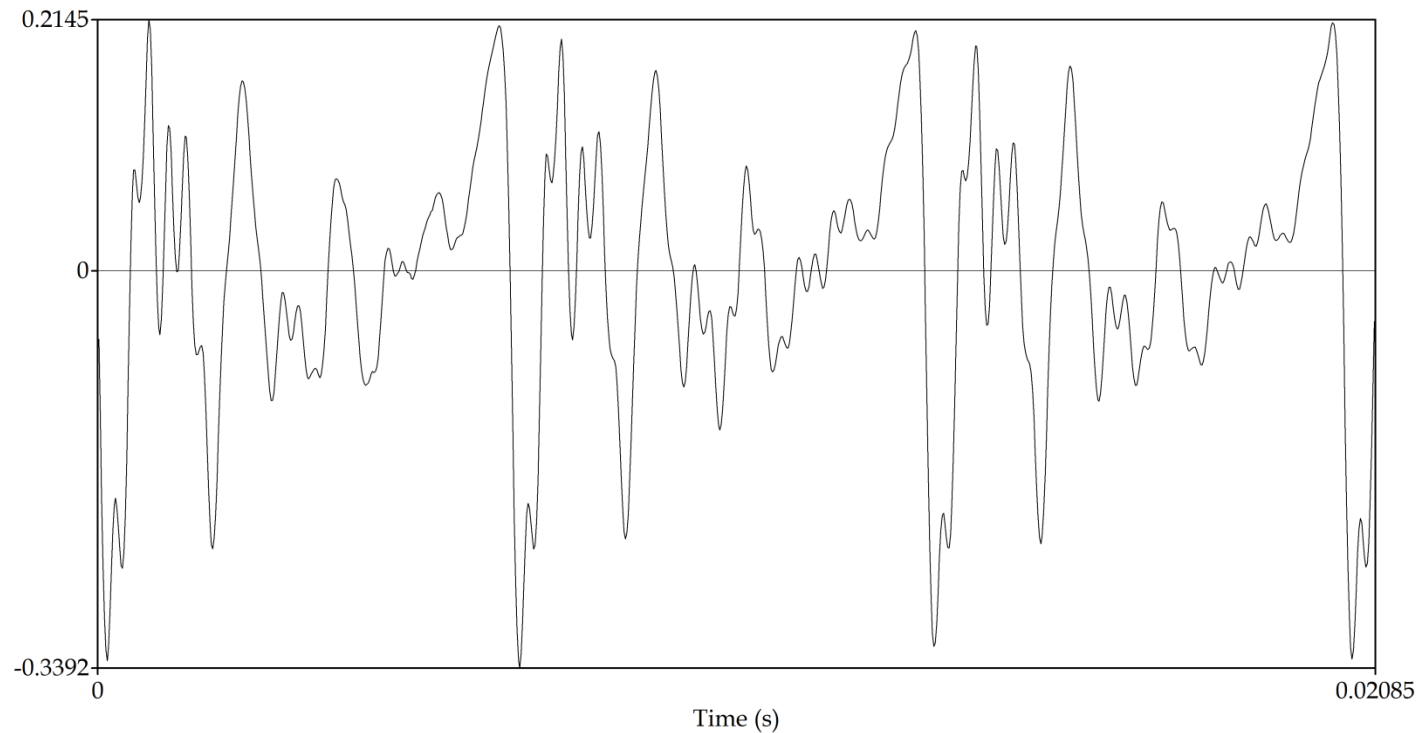
Ondas periódicas complejas

En la naturaleza, las ondas acústicas con más complejas.



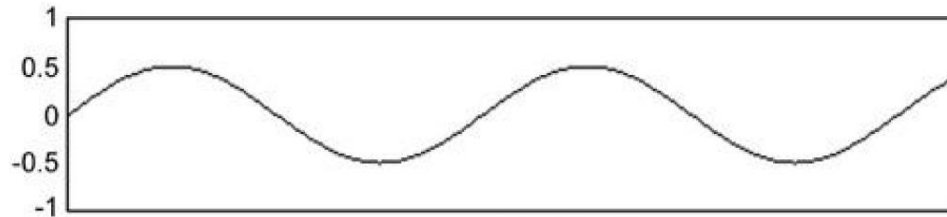
Ondas periódicas complejas

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

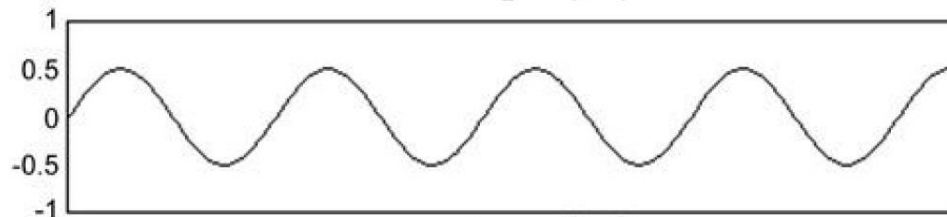


Ondas periódicas complejas

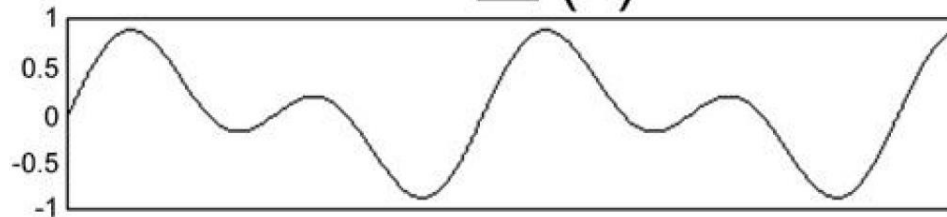
Las ondas periódicas complejas se componen por patrones **múltiples** de fluctuación.



+ (=)



= (-)



Análisis de Fourier

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

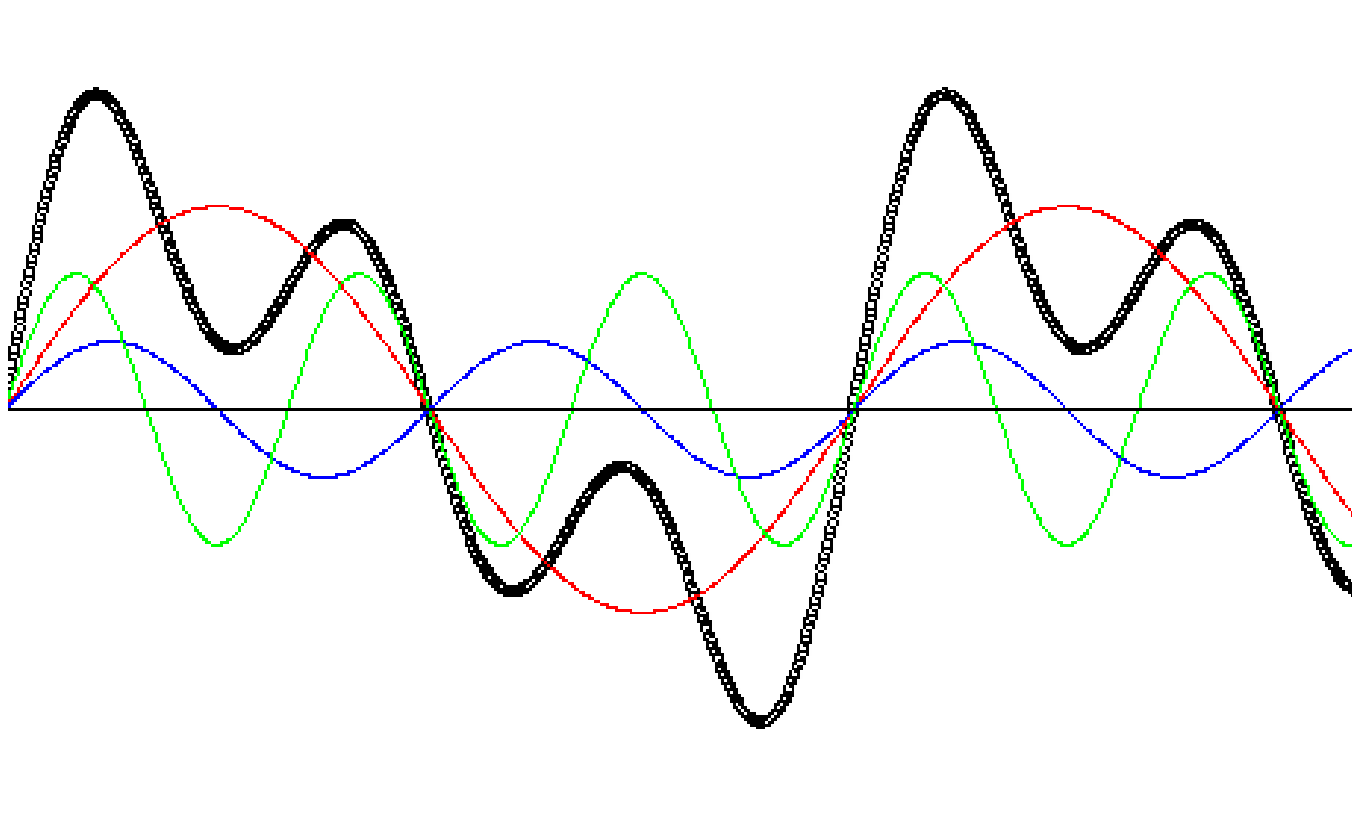
$$\begin{aligned} F(\omega) &= \int f(x) e^{-2\pi i \omega x} dx \\ &= \int_0^X A e^{-2\pi i \omega x} dx \\ &= \frac{-A}{2\pi i \omega} e^{-2\pi i \omega x} \Big|_0^X \\ &= \frac{-A}{2\pi i \omega} [e^{-2\pi i \omega X} - 1] \\ &= \frac{A}{2\pi i \omega} [e^{\pi i \omega X} - e^{-\pi i \omega X}] e^{-\pi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

Análisis de Fourier

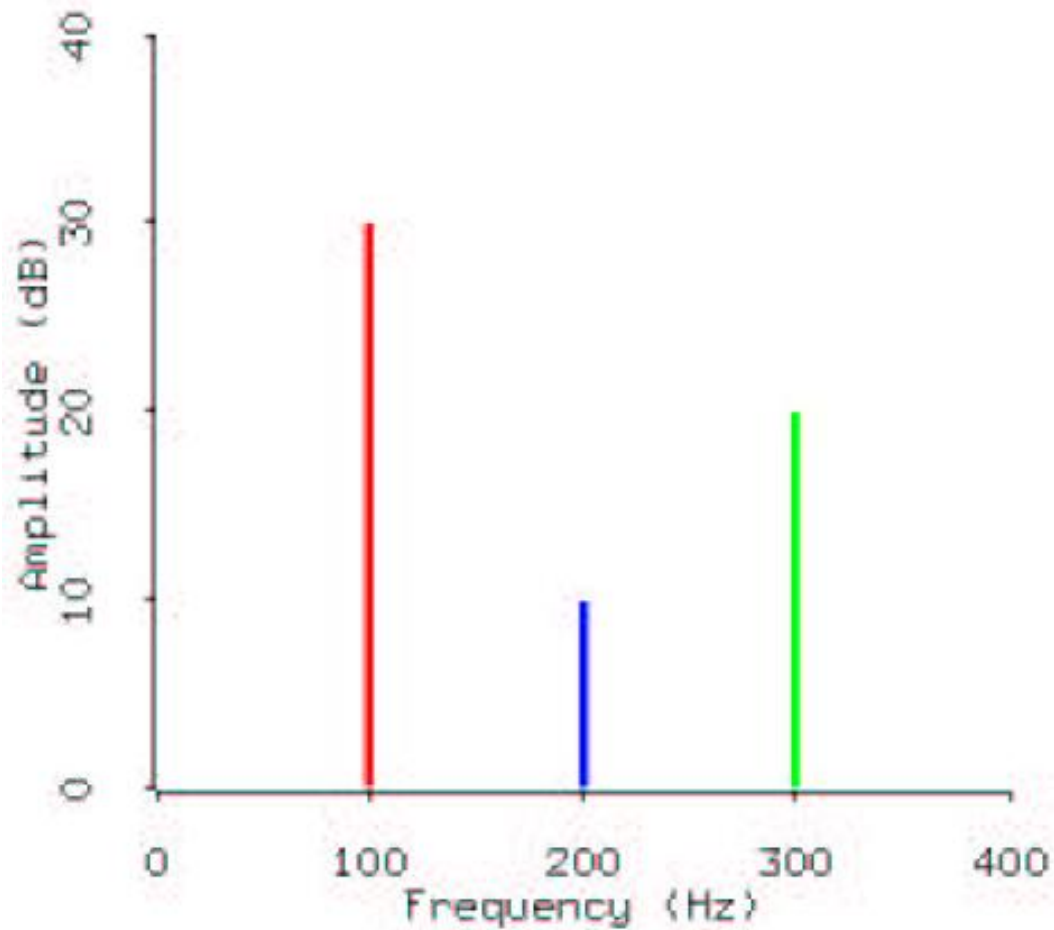
El resultado: un **espectro de potencia** (o solamente 'espectro').

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

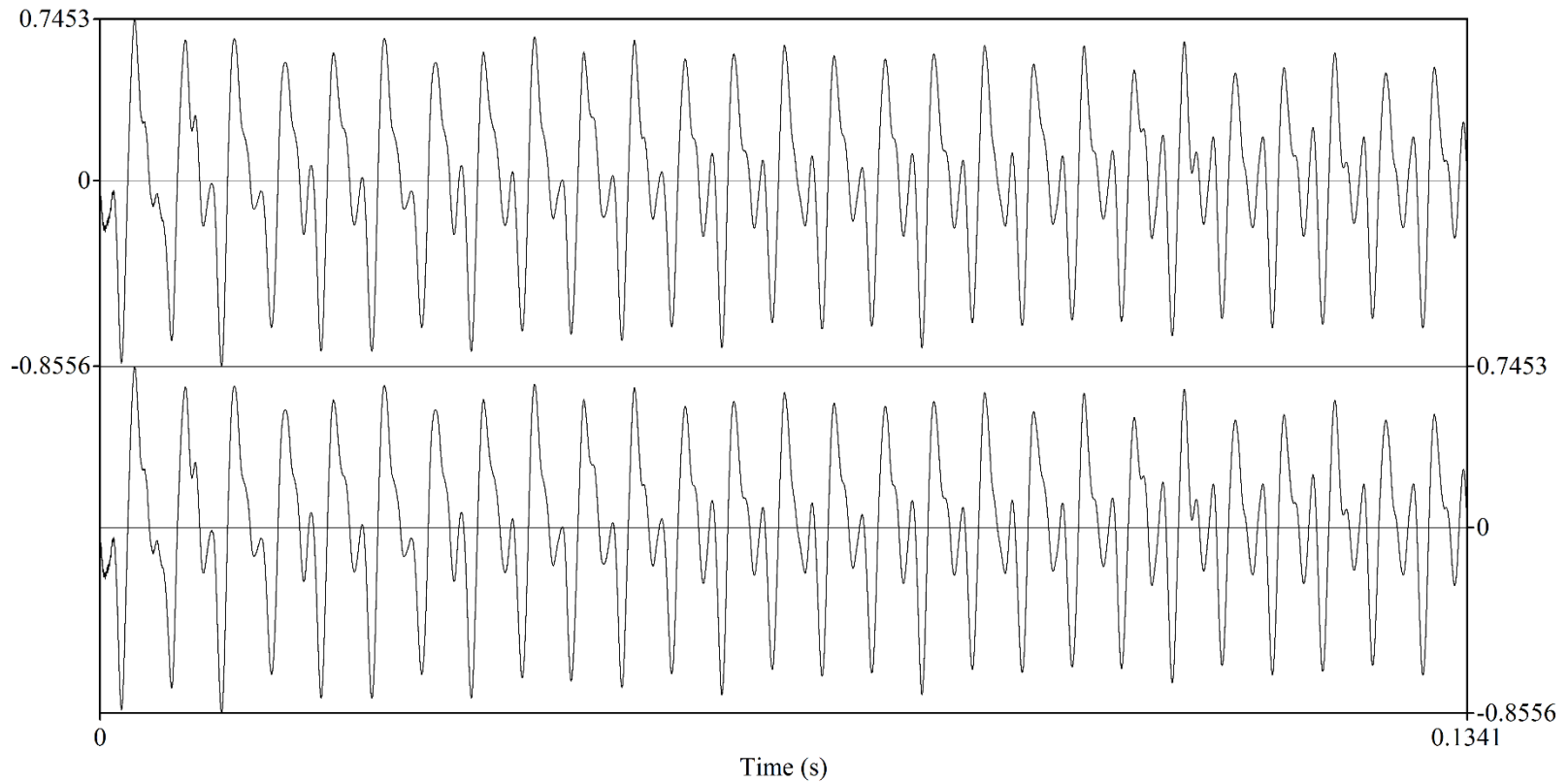
Espectro de potencia



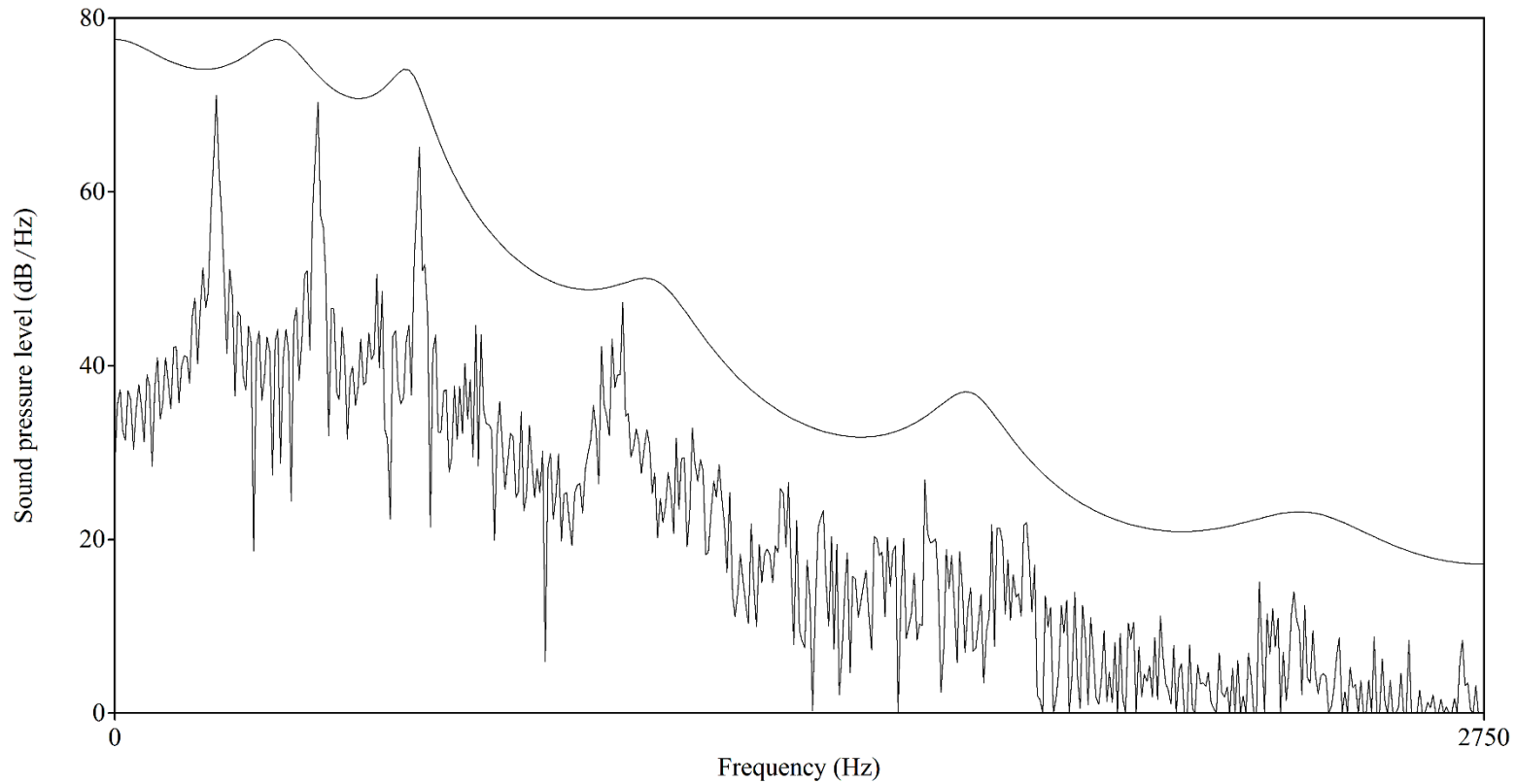
Espectro de potencia



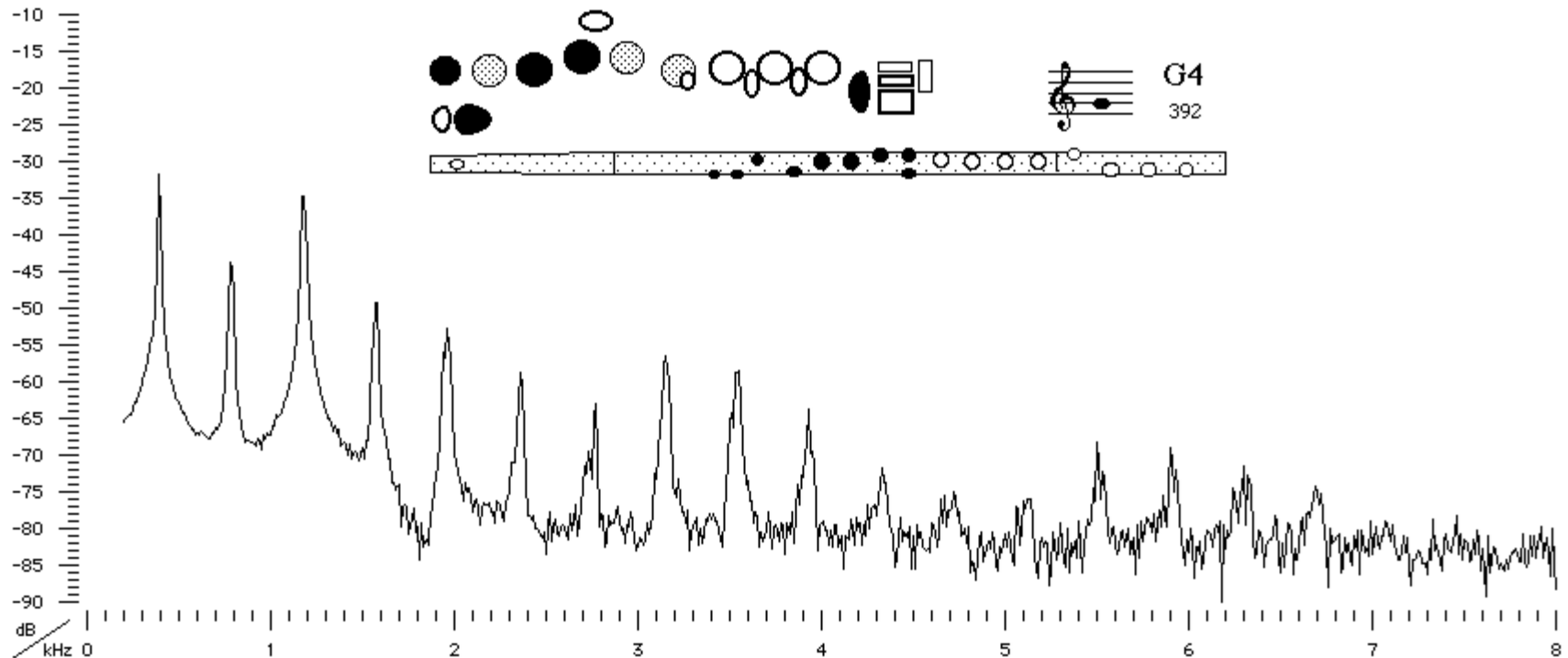
Onda acústica: campana de templo



Espectro de potencia: campana de templo



Espectro de potencia: una flauta (G4)

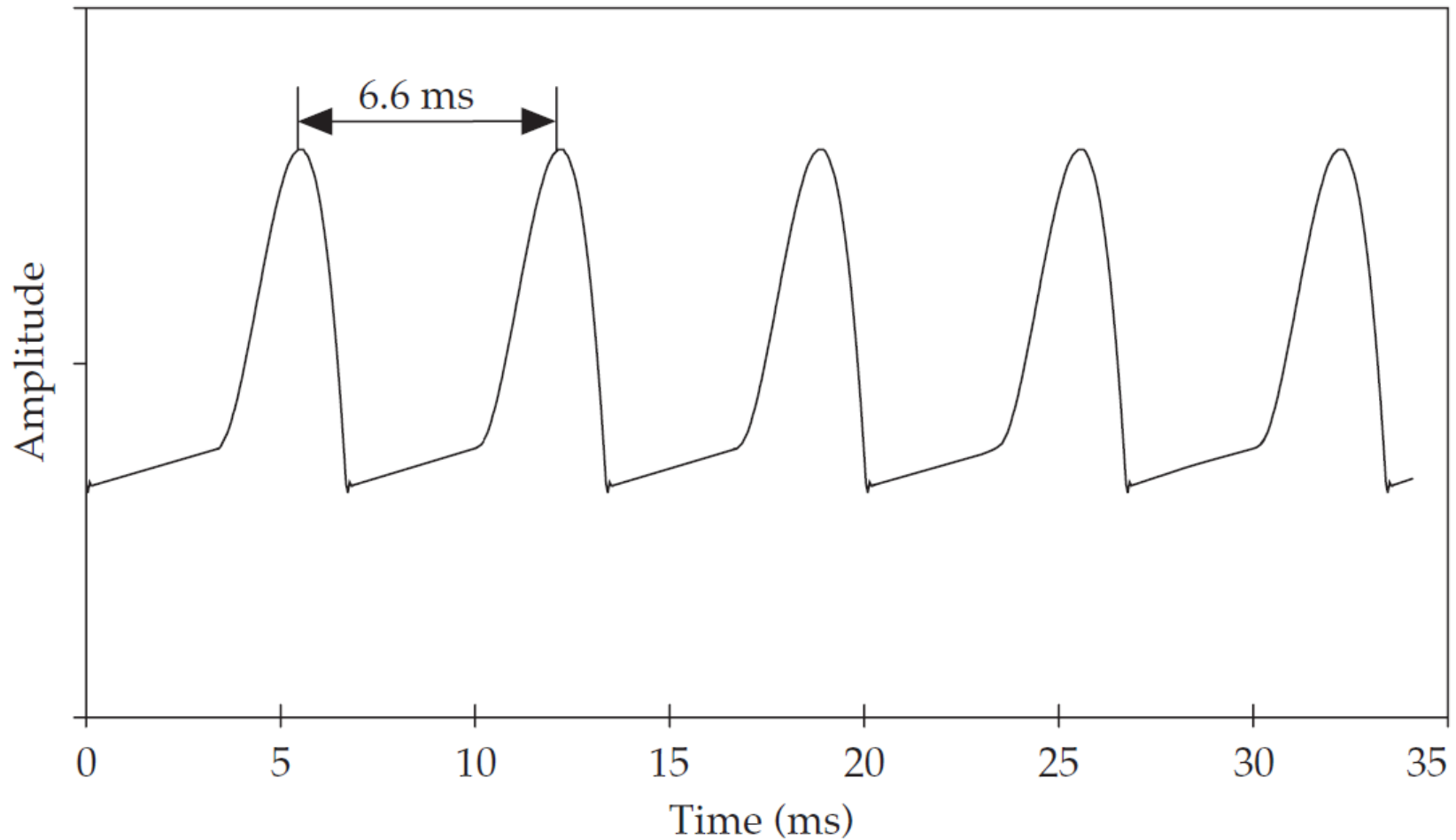


La teoría fuente-filtro

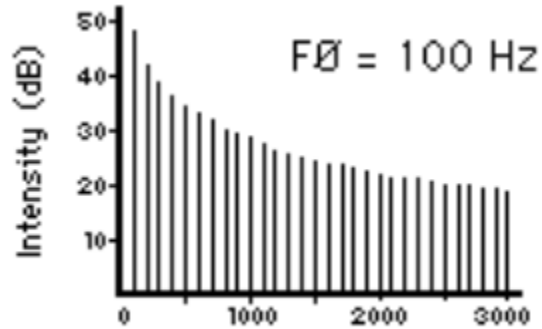
La **teoría fuente-filtro de la producción del habla**:

- Una **fente** (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**.

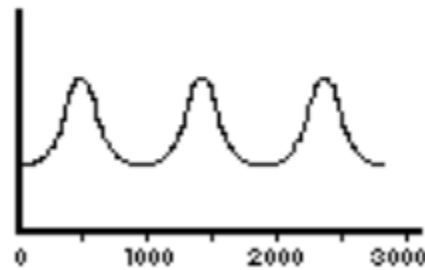
La teoría fuente-filtro: Voz modal (150 Hz)



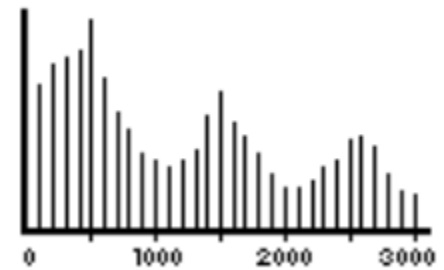
La teoría fuente-filtro



Fuente



Filtro



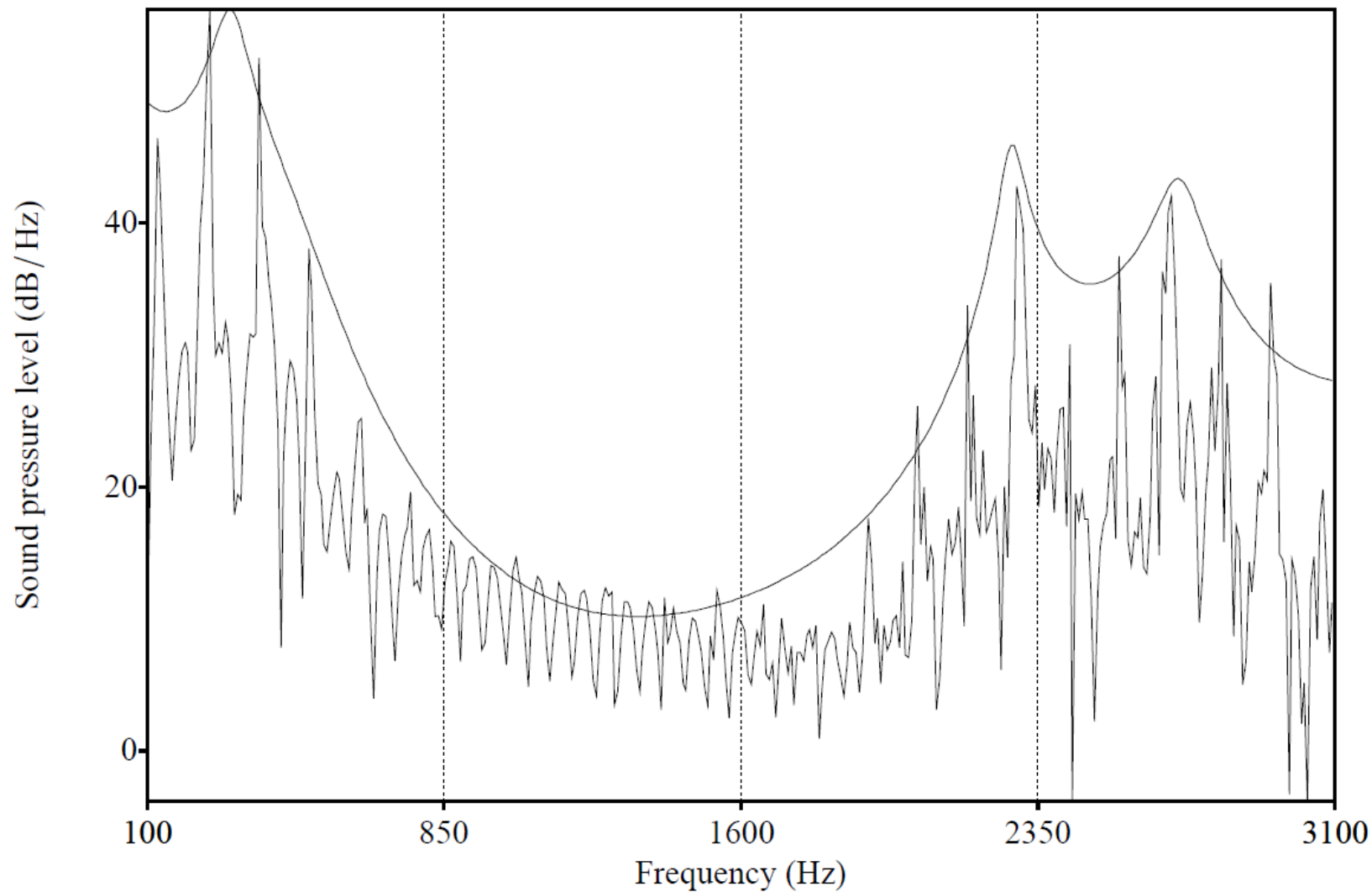
Resultado

La teoría fuente-filtro

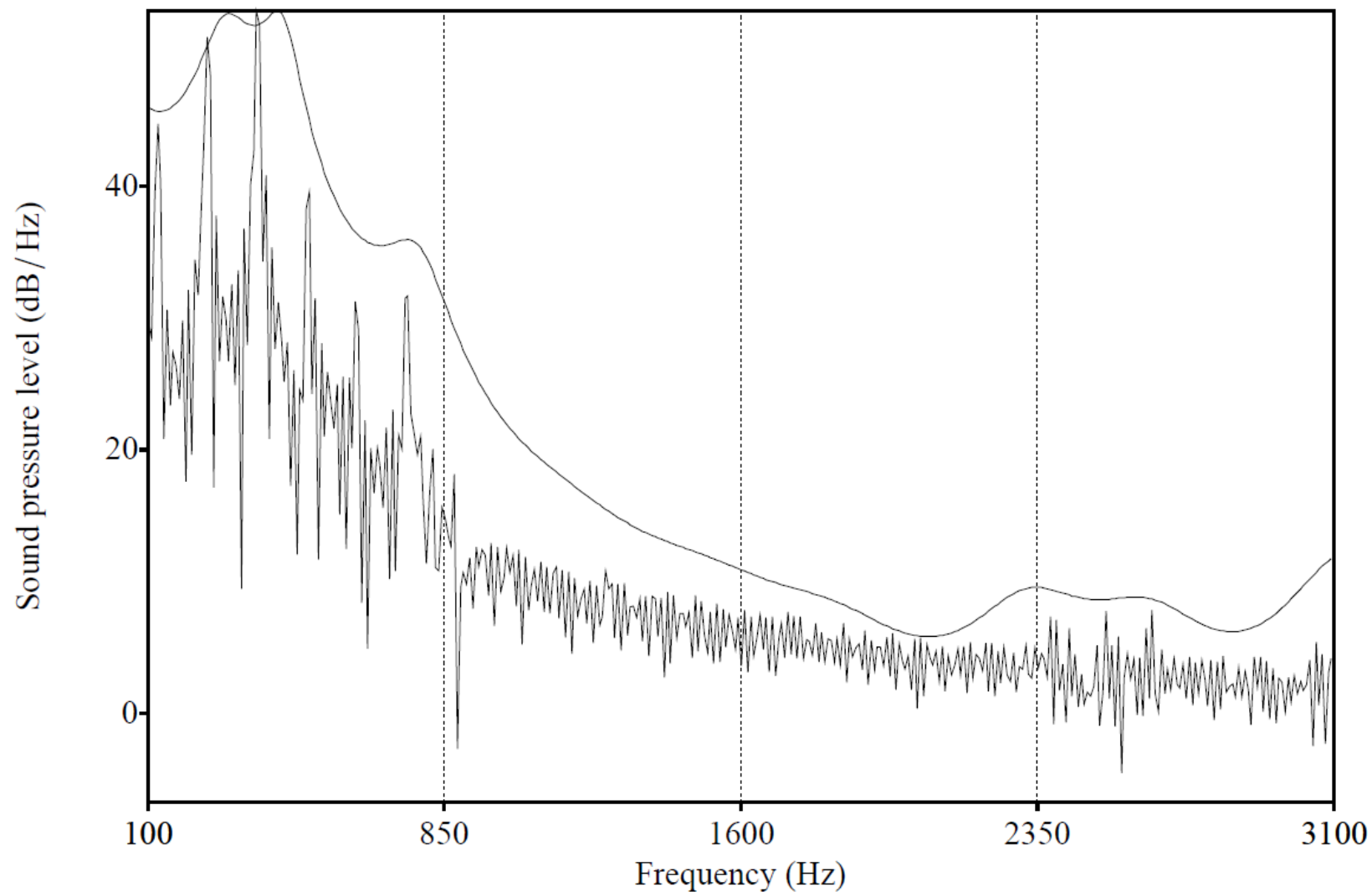
La misma fuente (p.e. las cuerdas vocales) puede resultar en diferentes sonidos dependiendo de las propiedades del filtro (el tracto vocal).

- 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]



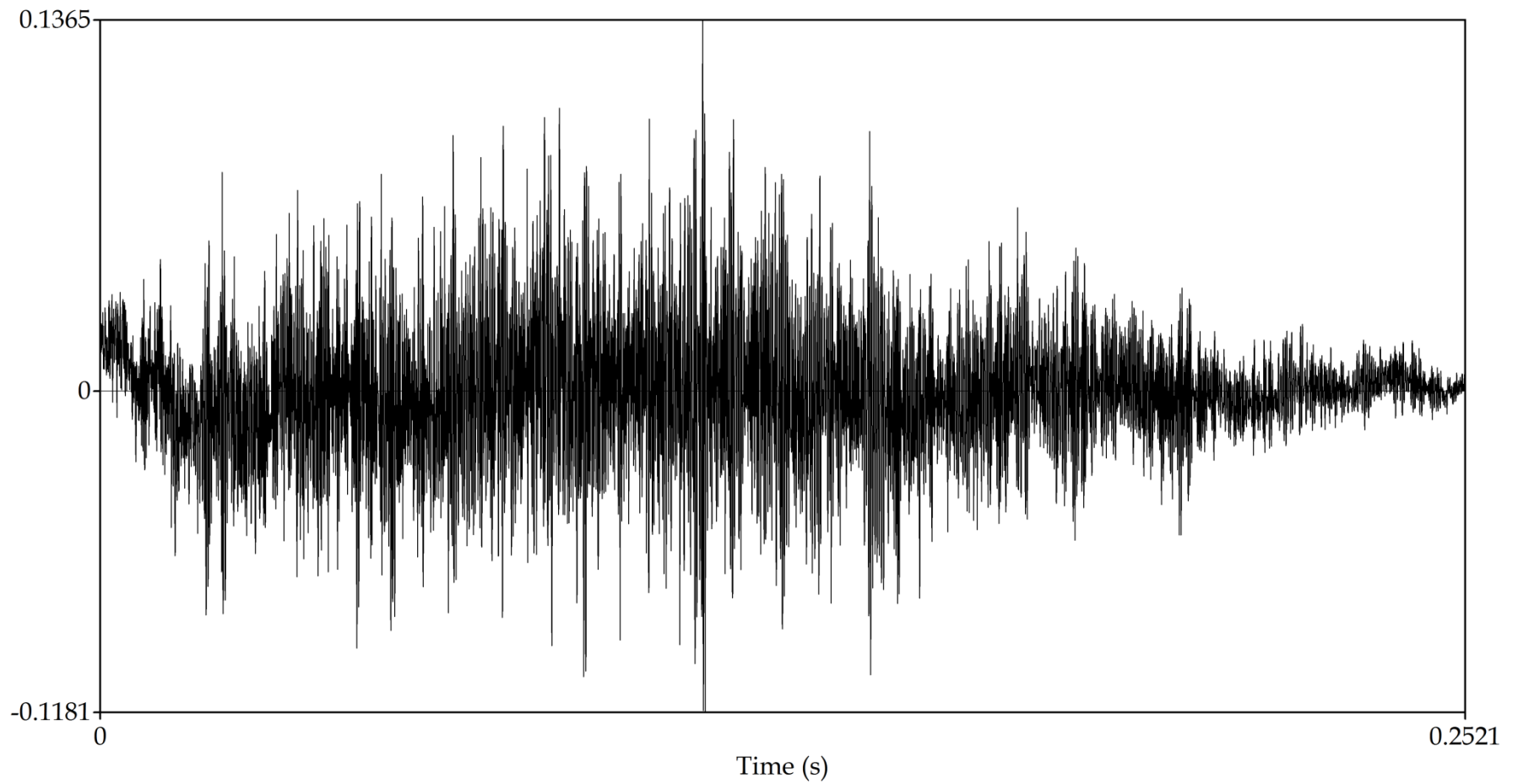
Espectro de [u]



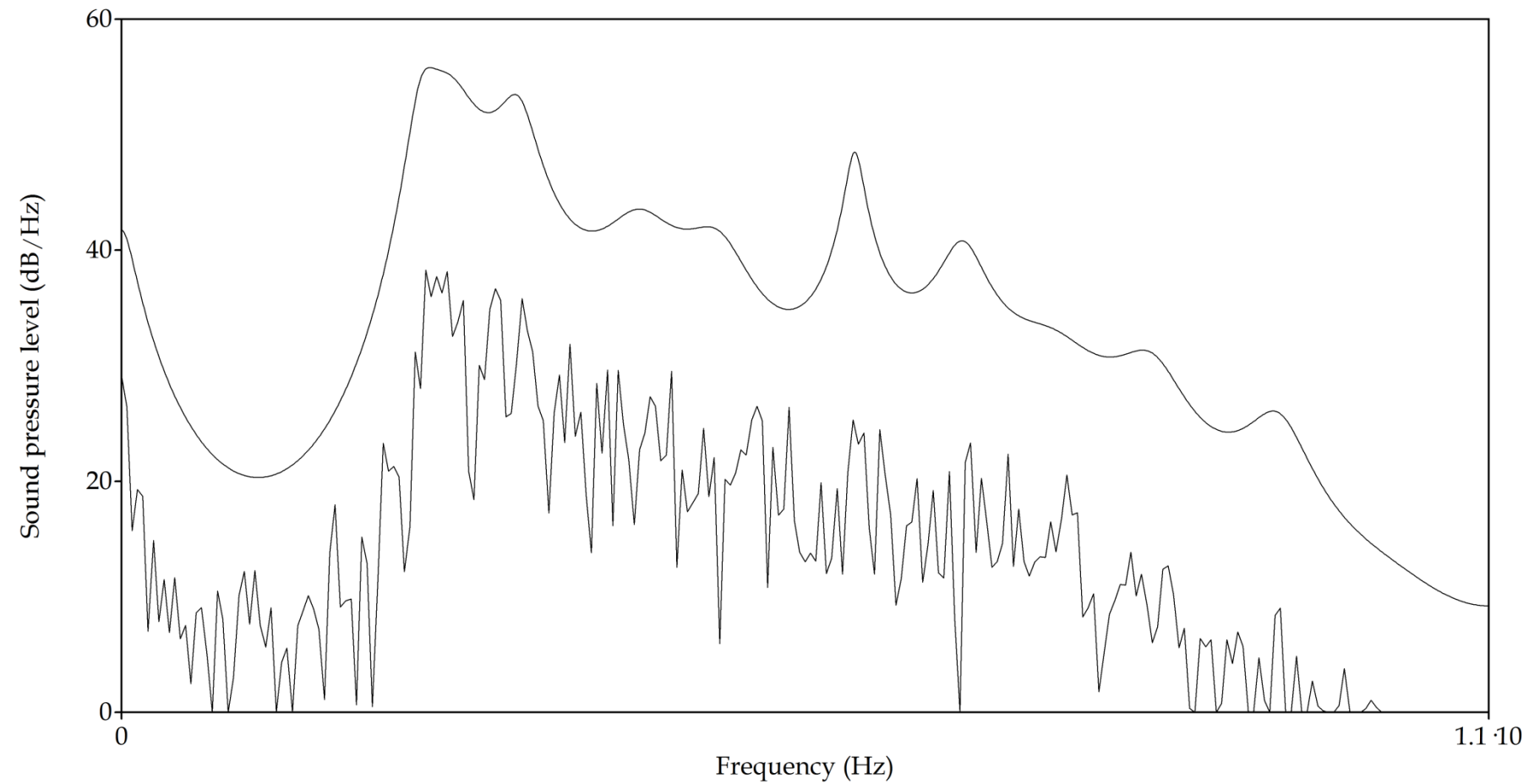
Sonidos aperiódicos

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

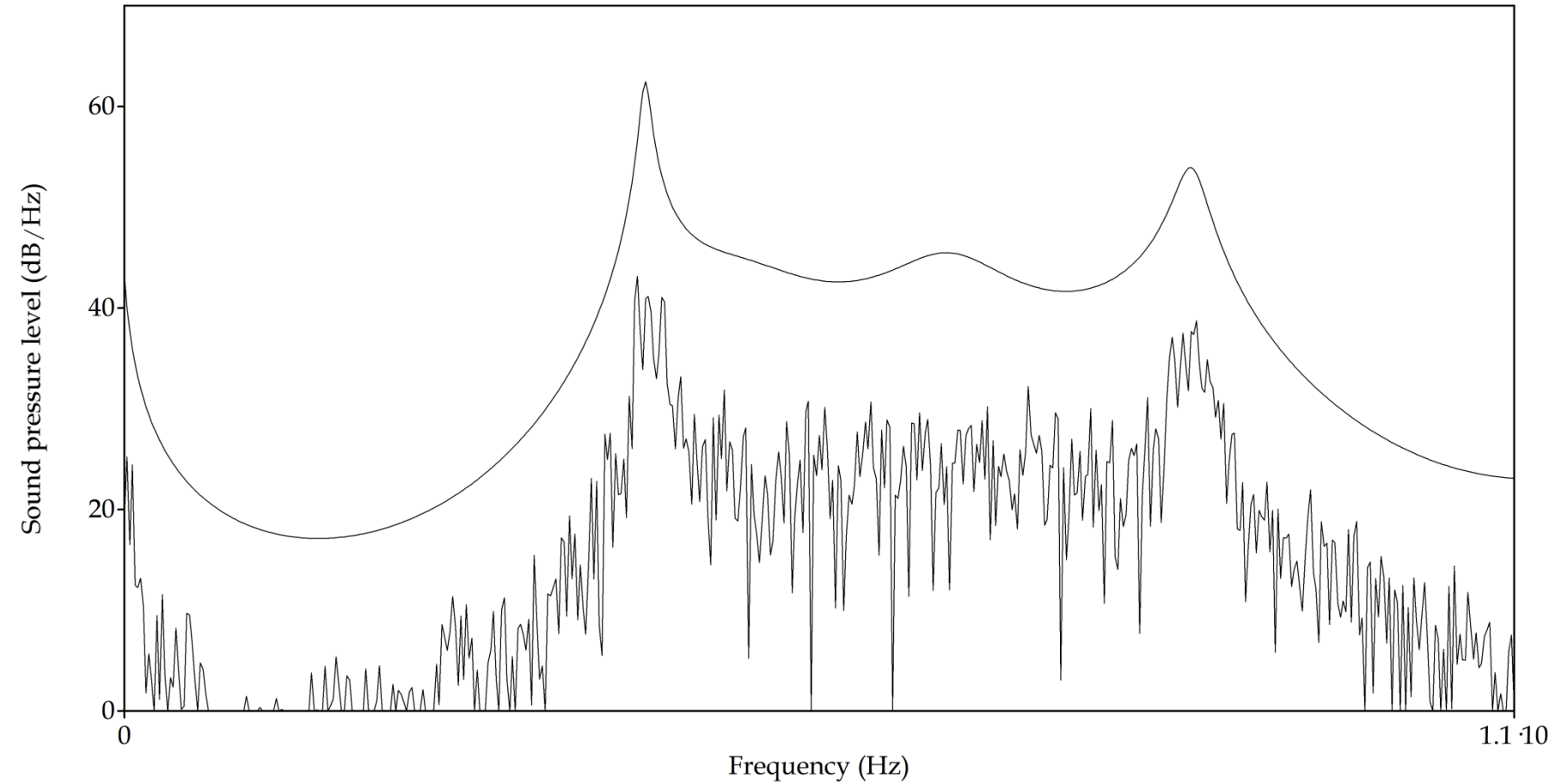
Onda acústica de [ʃ]



Espectro de [ʃ]



Espectro de [s]

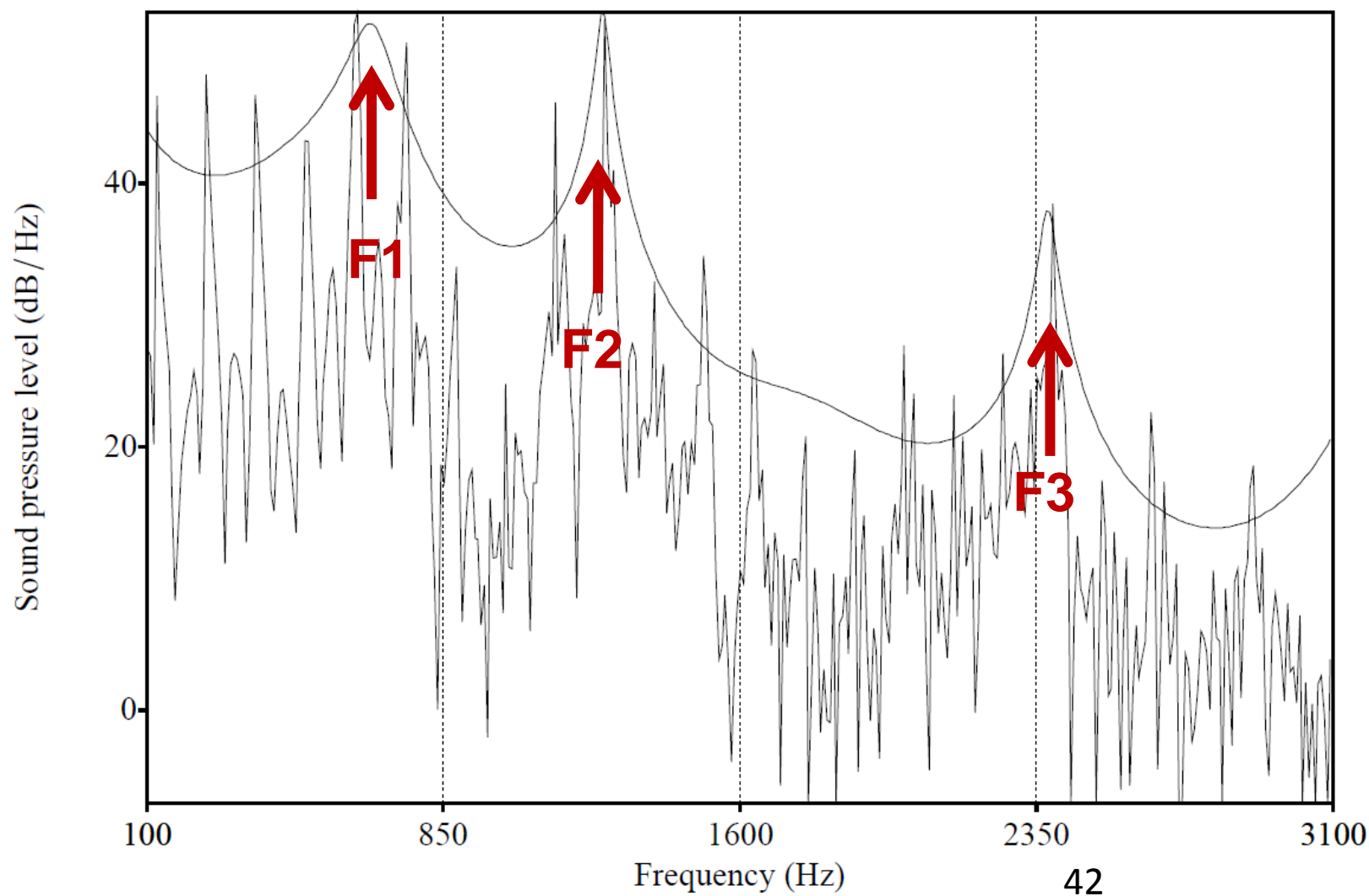


La acústica de las vocales

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

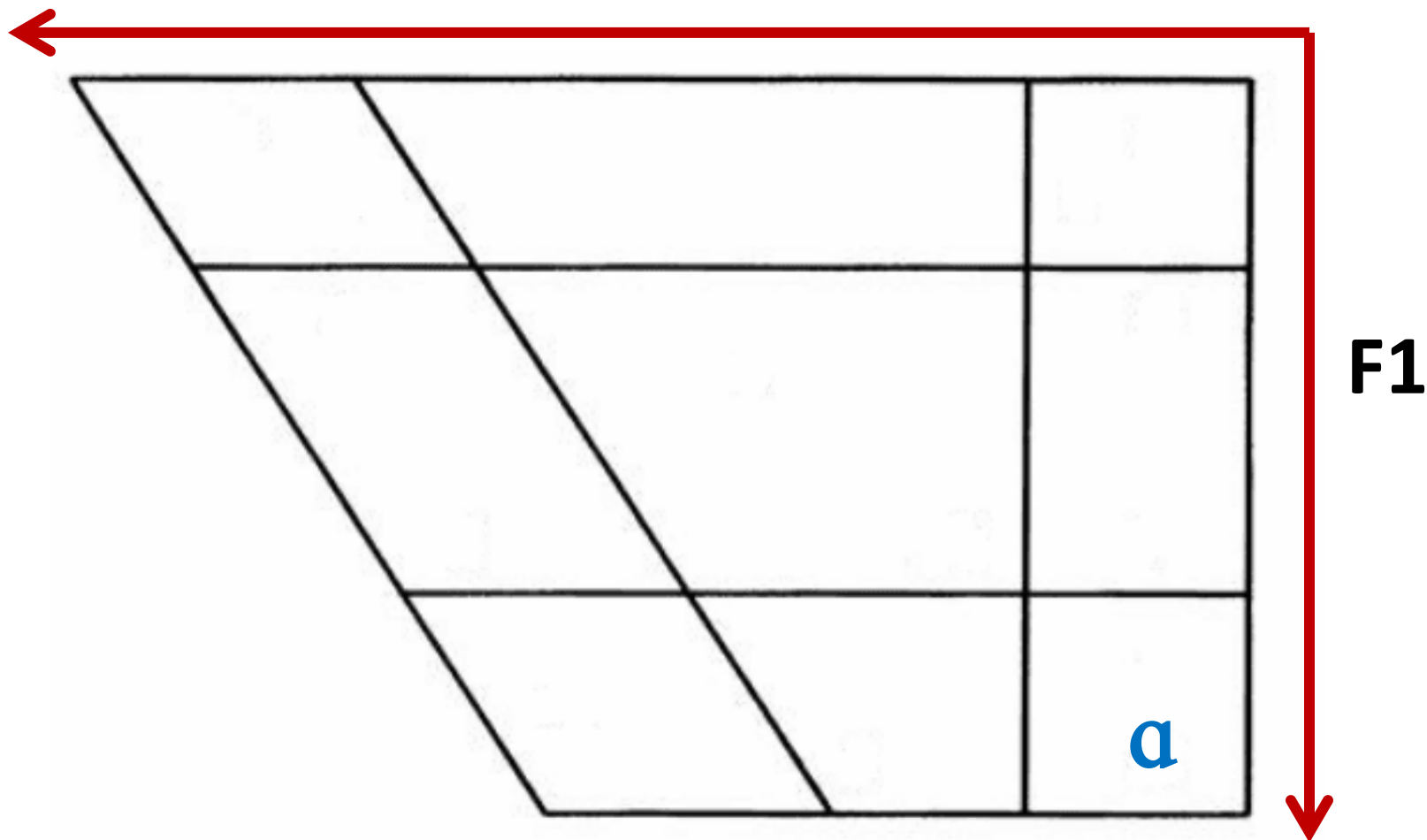
- Esta filtración se llama **resonancia**.
- Los picos de amplitud en el espectro de una vocal se llaman **formantes**.

Espectro de [a]

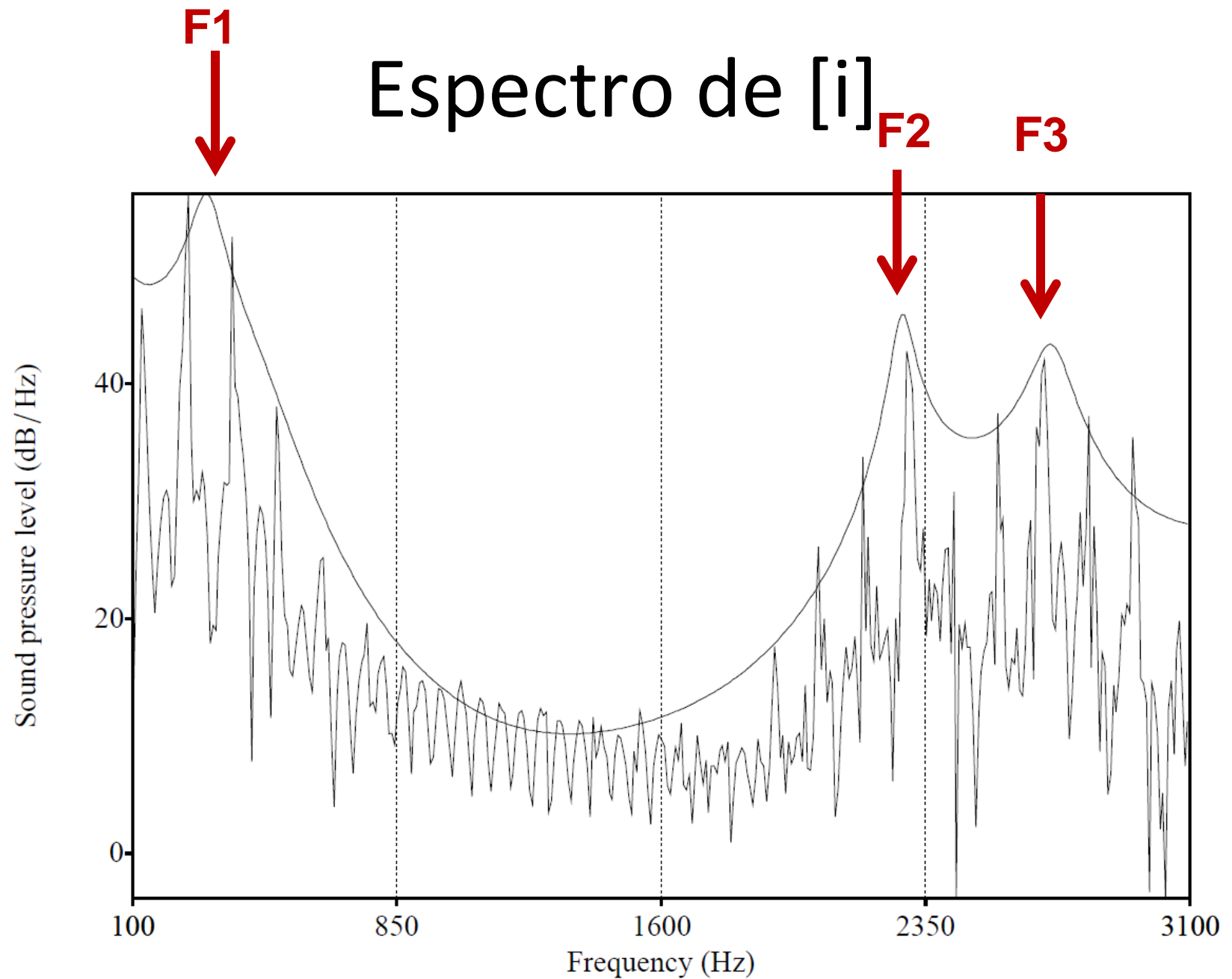


La acústica de las vocales

F2

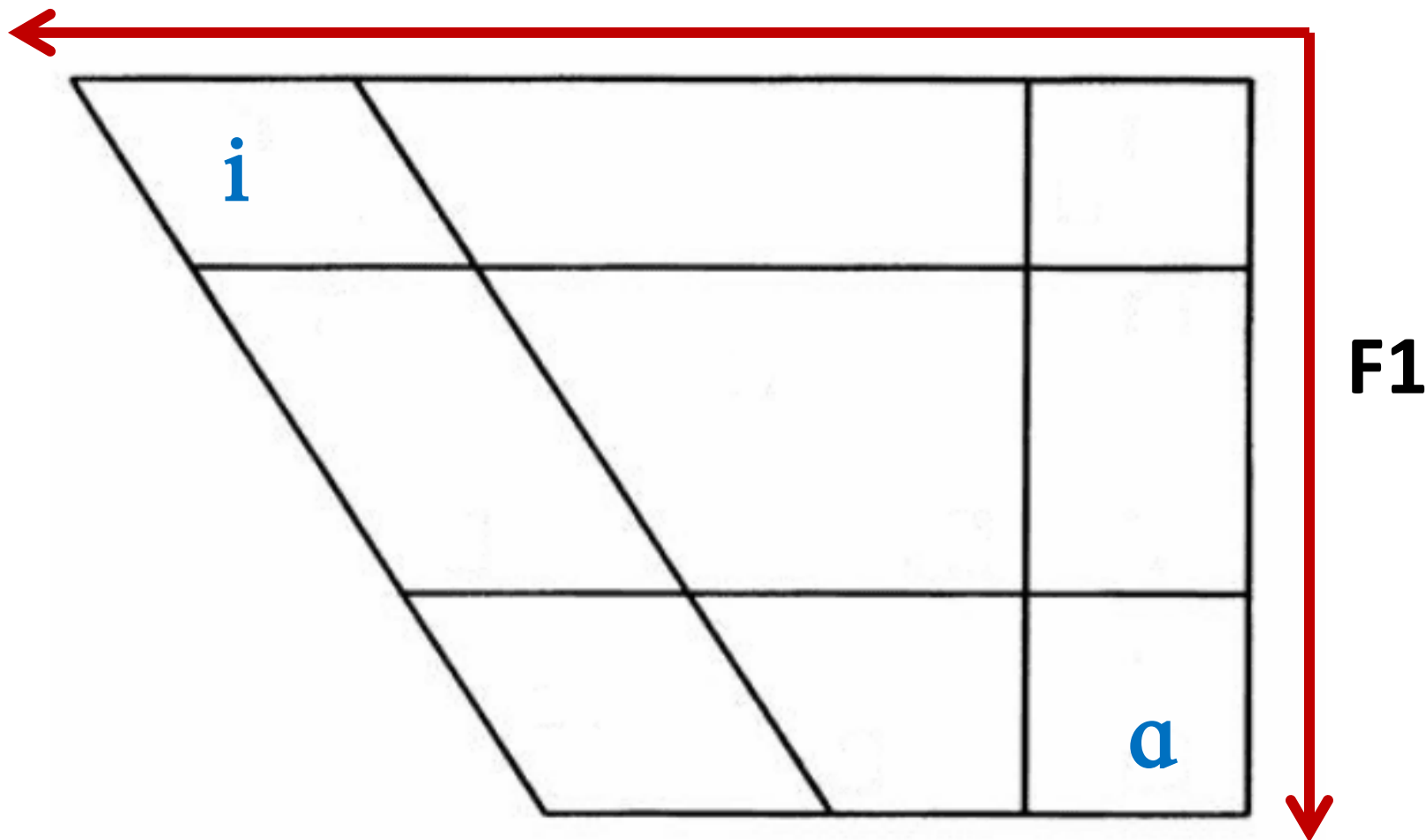


Espectro de [i]

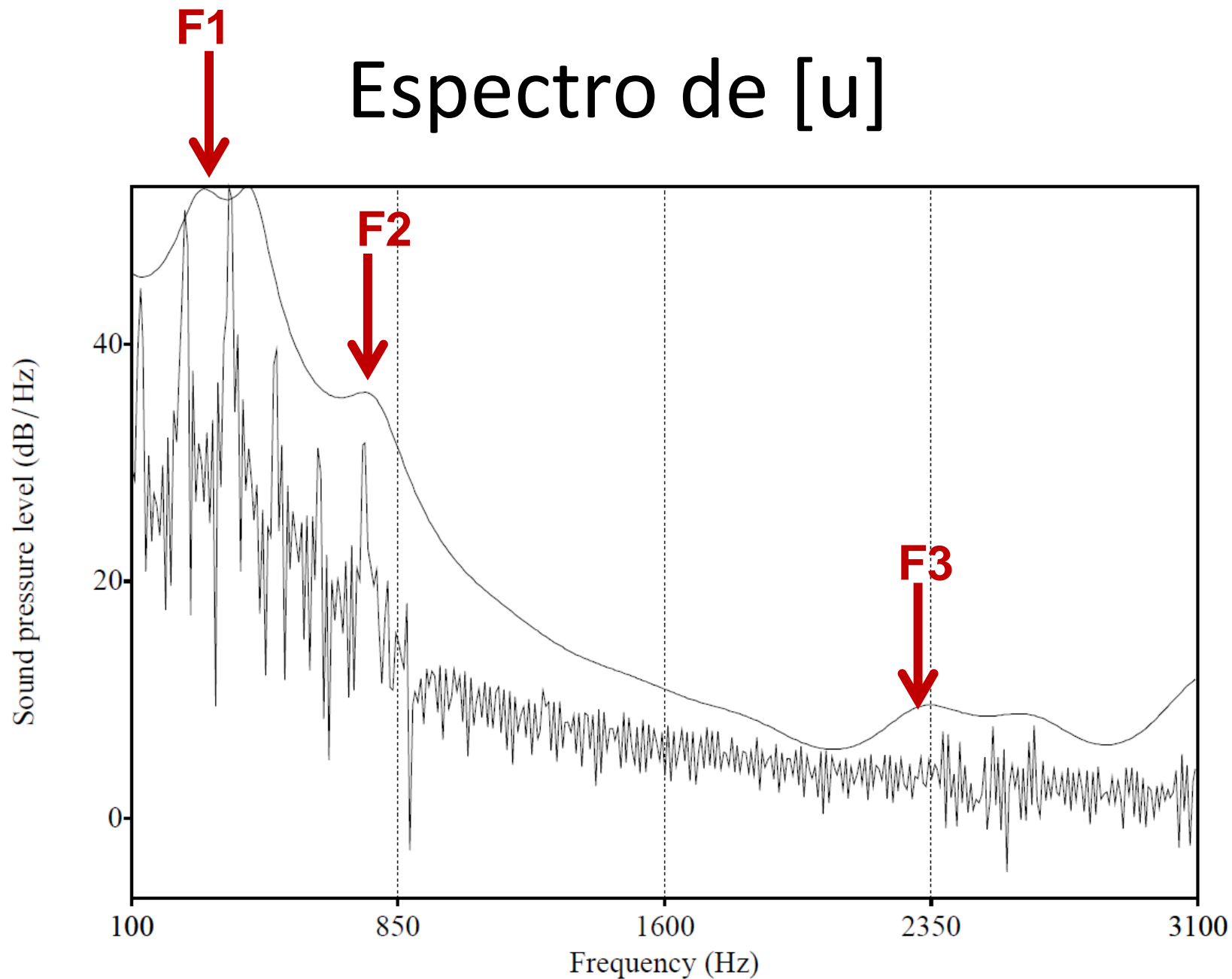


La acústica de las vocales

F2

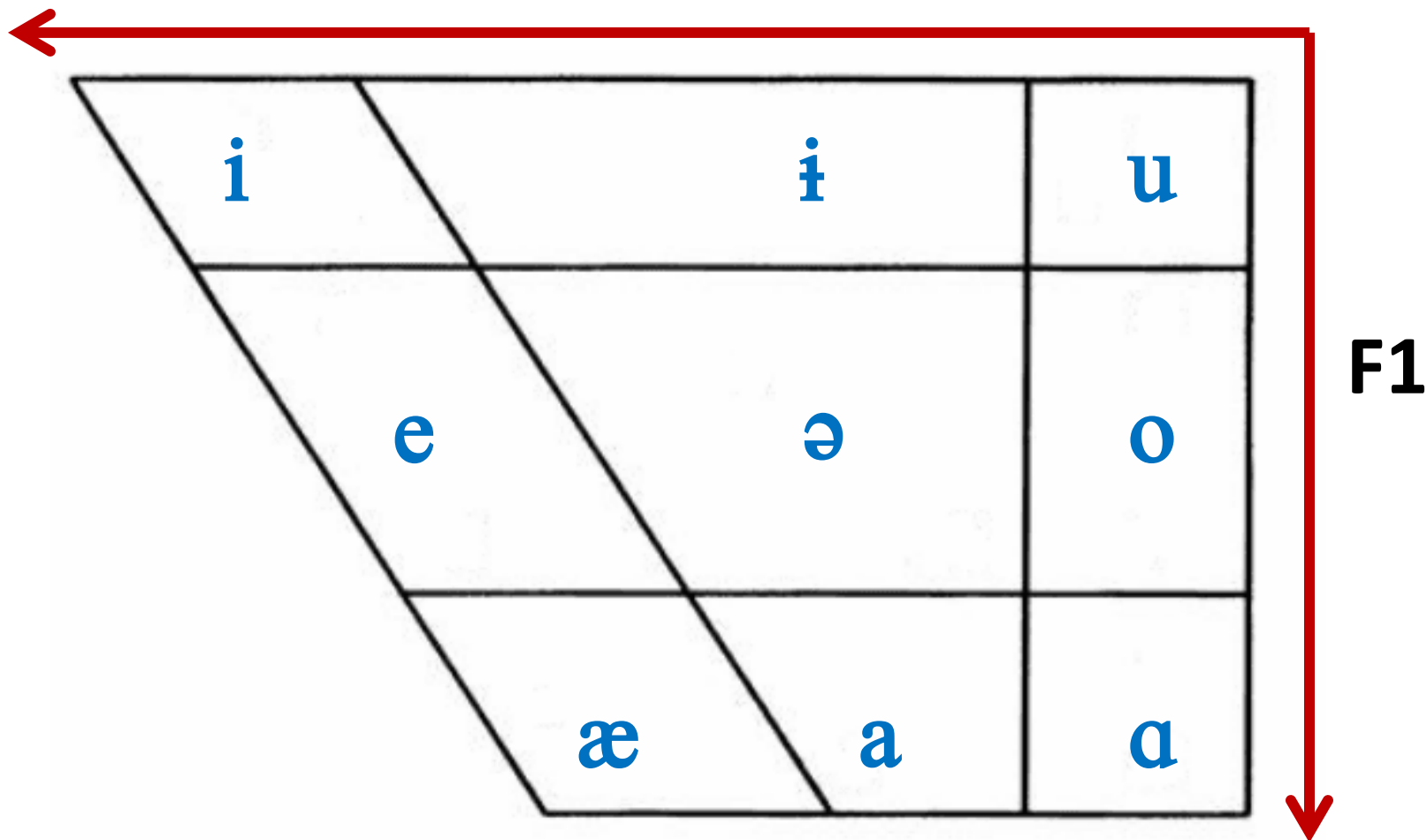


Espectro de [u]



La acústica de las vocales

F2



El primer formante (F1)

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

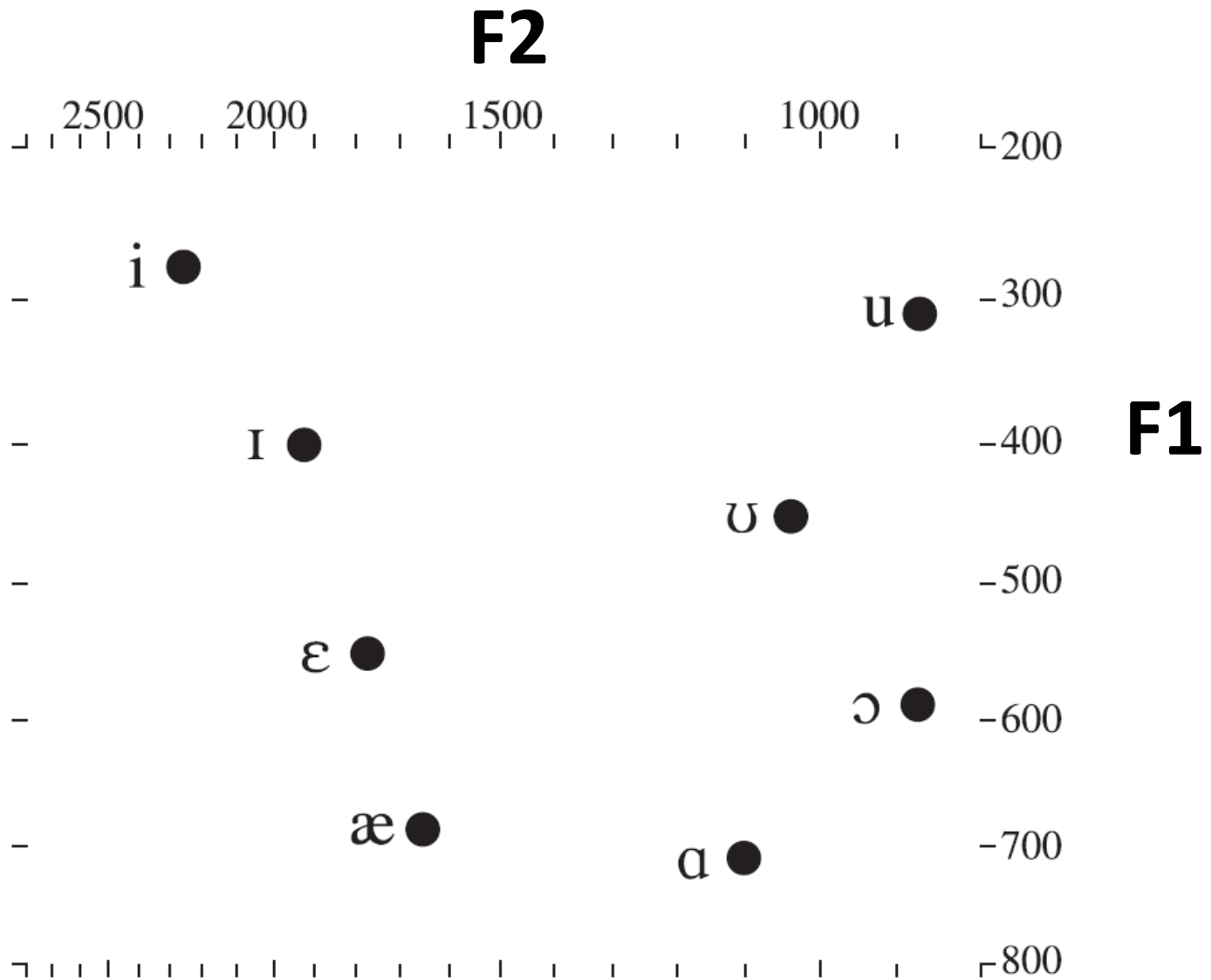
- Tiene una relación inversa con la altura vocálica.
- Vocal más alta → F1 más baja

El segundo formante (F2)

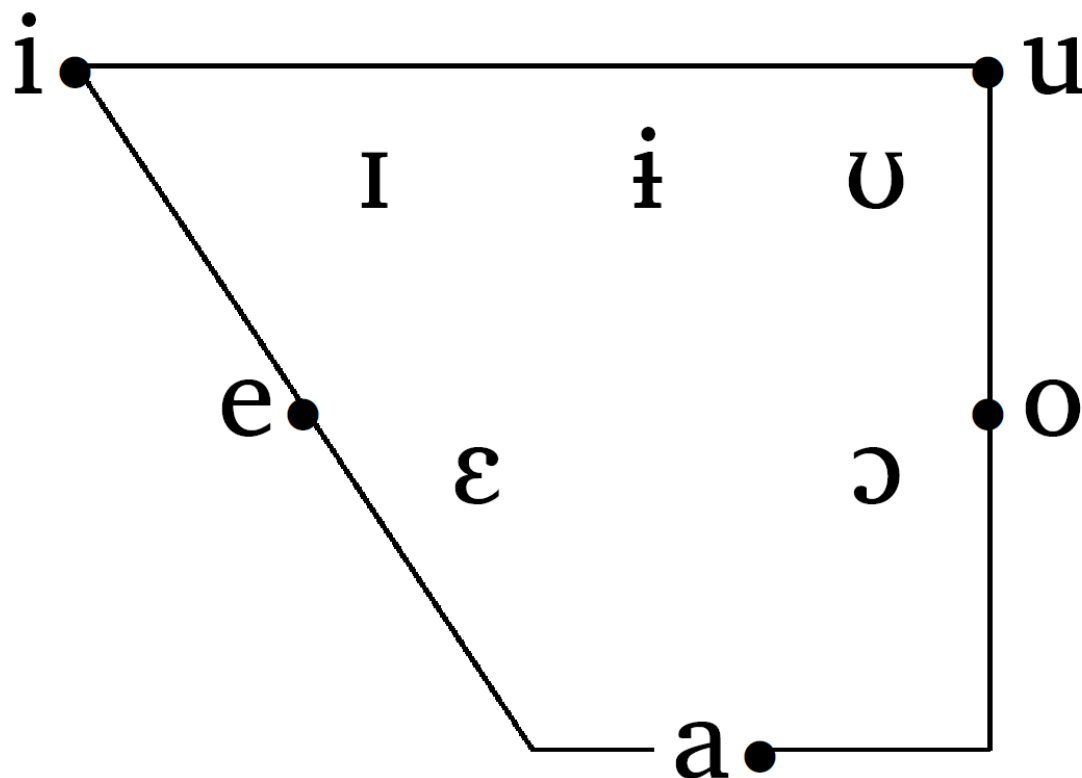
F2: el pico de la resonancia del tracto vocal segundo bajo.

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

La acústica de las vocales

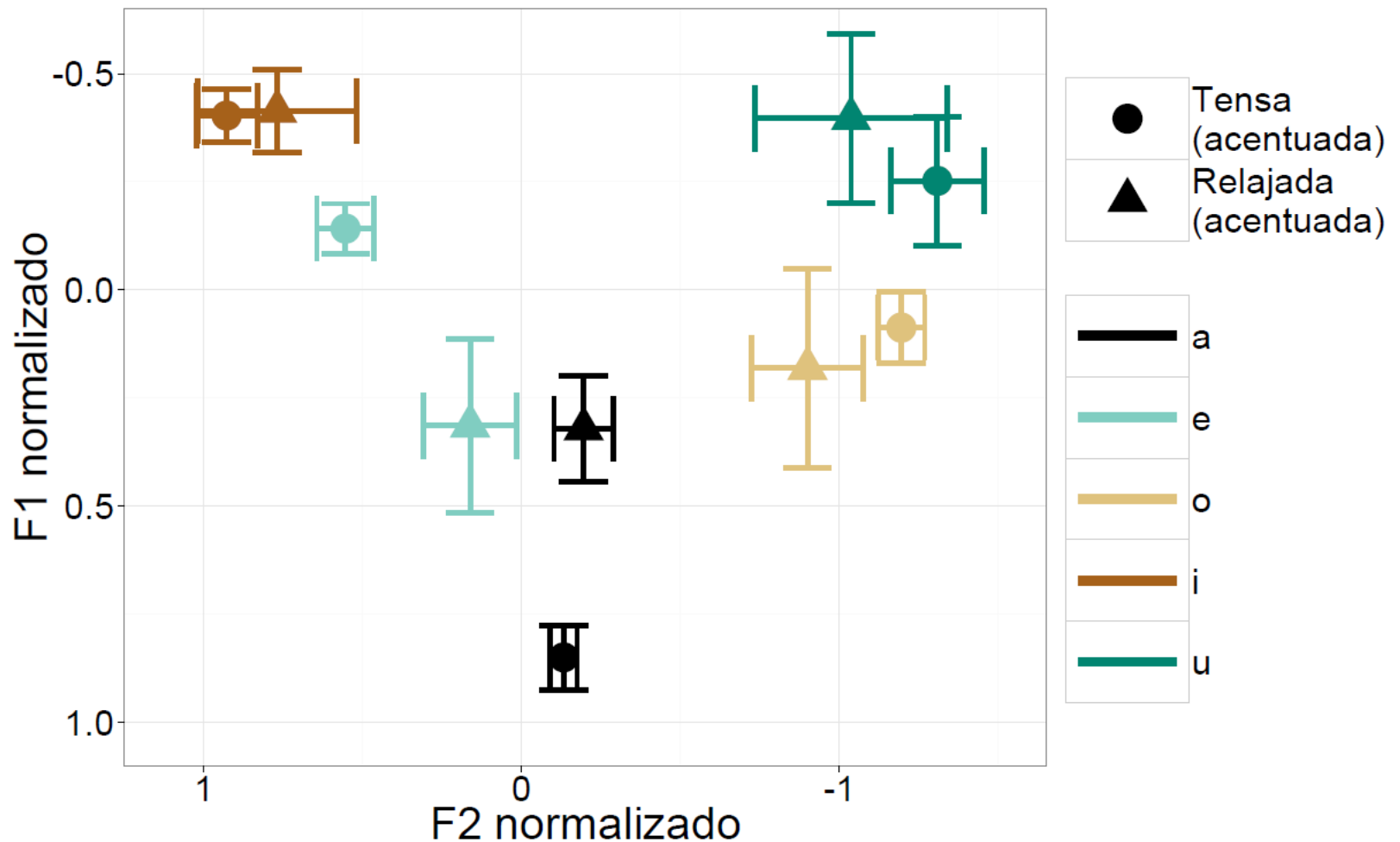


Las vocales del kaqchikel



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)

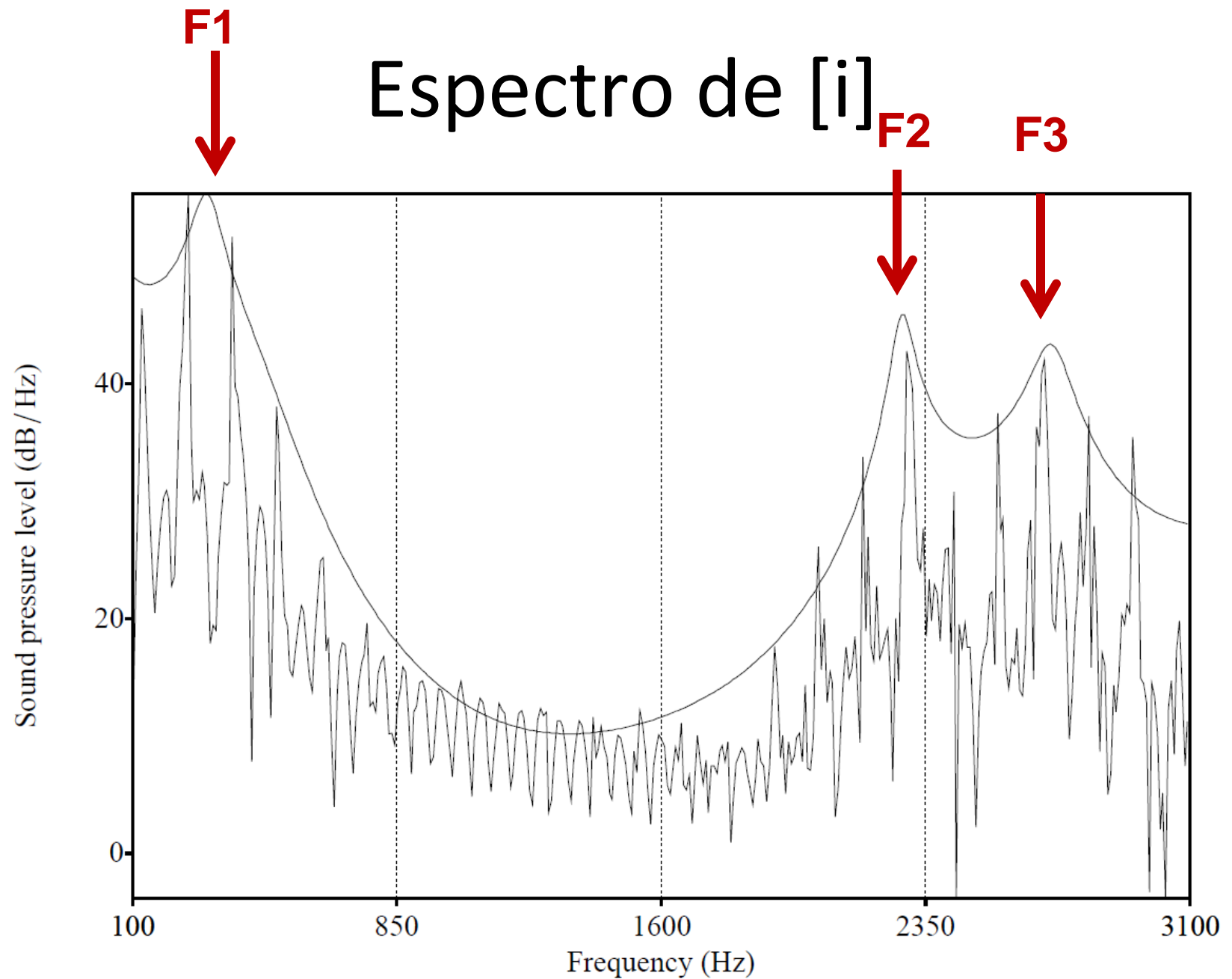
Son solo estimaciones, y pueden variar con factores como el tamaño del cuerpo.

El tercer formante (F3)

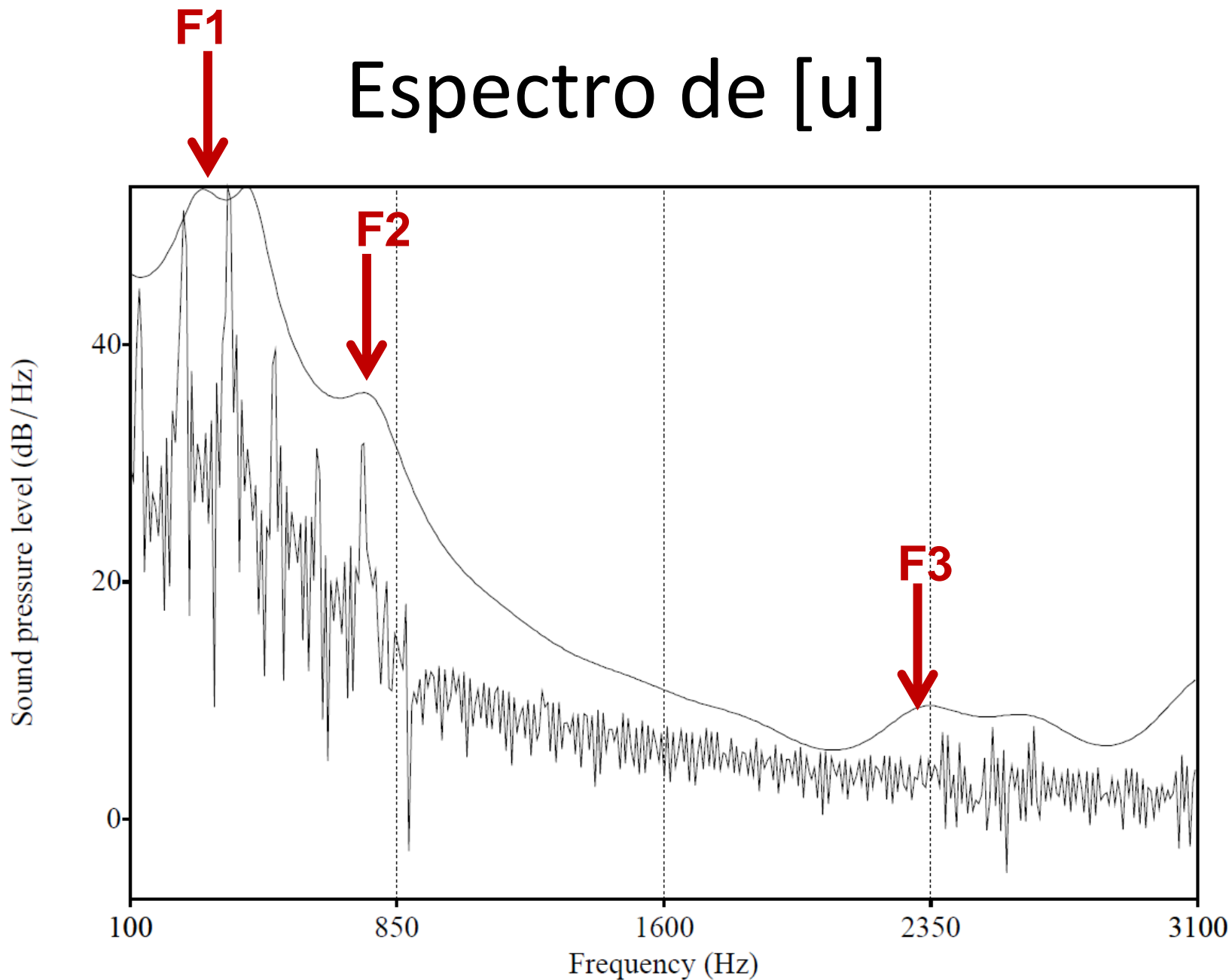
El F3 puede indicar el redondeamiento vocálico.

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

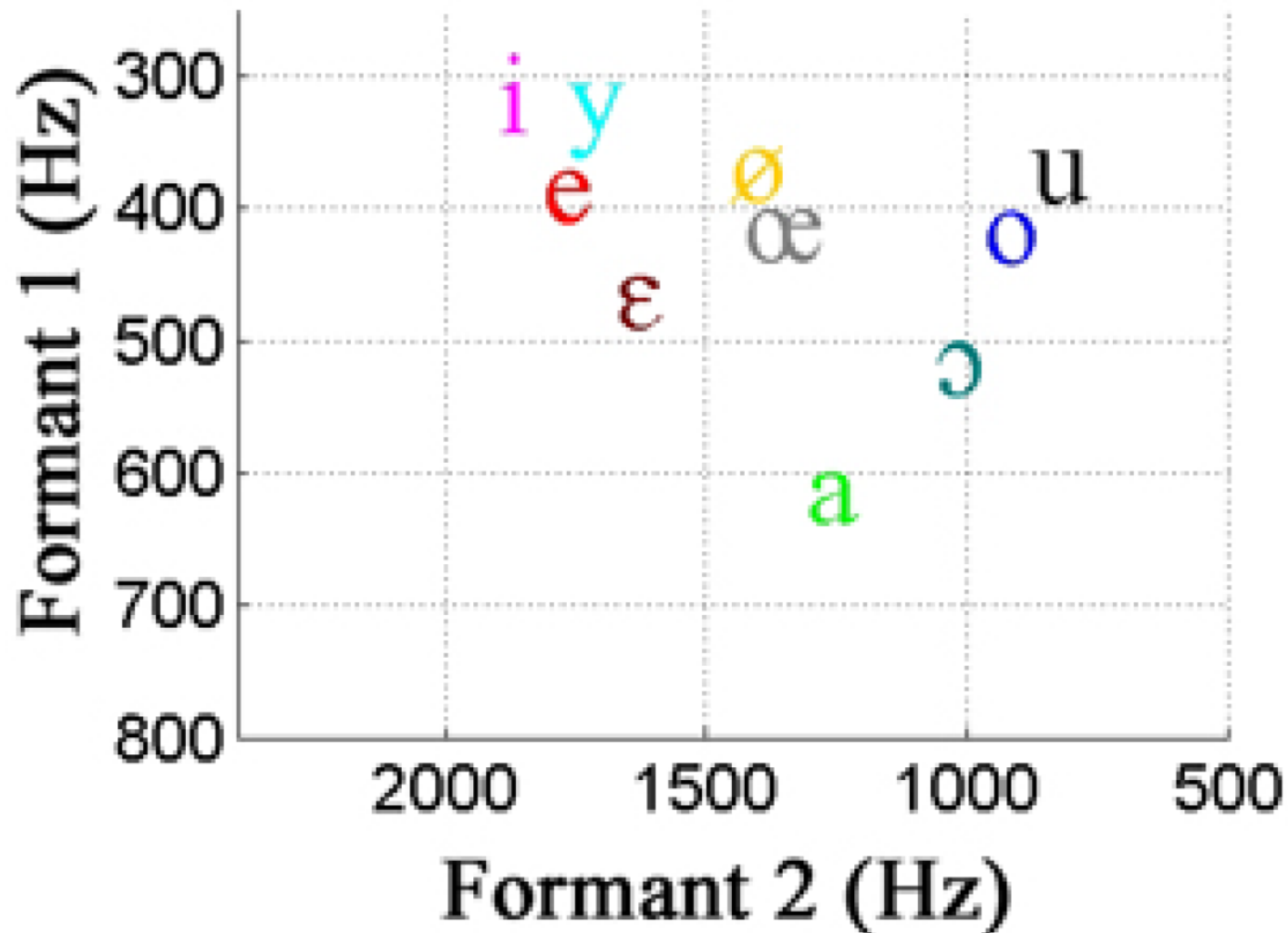
Espectro de [i]



Espectro de [u]



Redondeamiento contrastivo: El francés



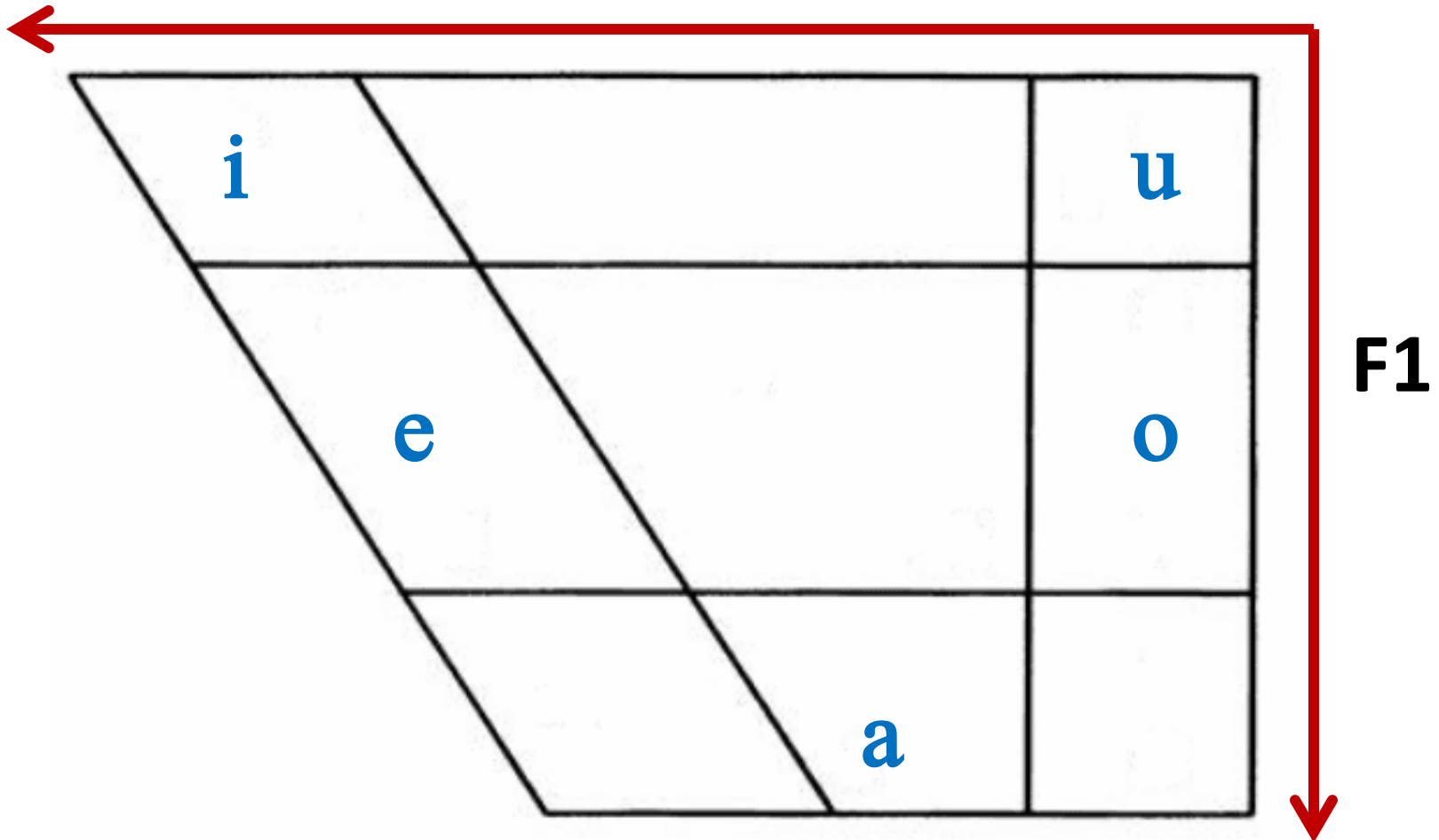
Redondeamiento

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

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

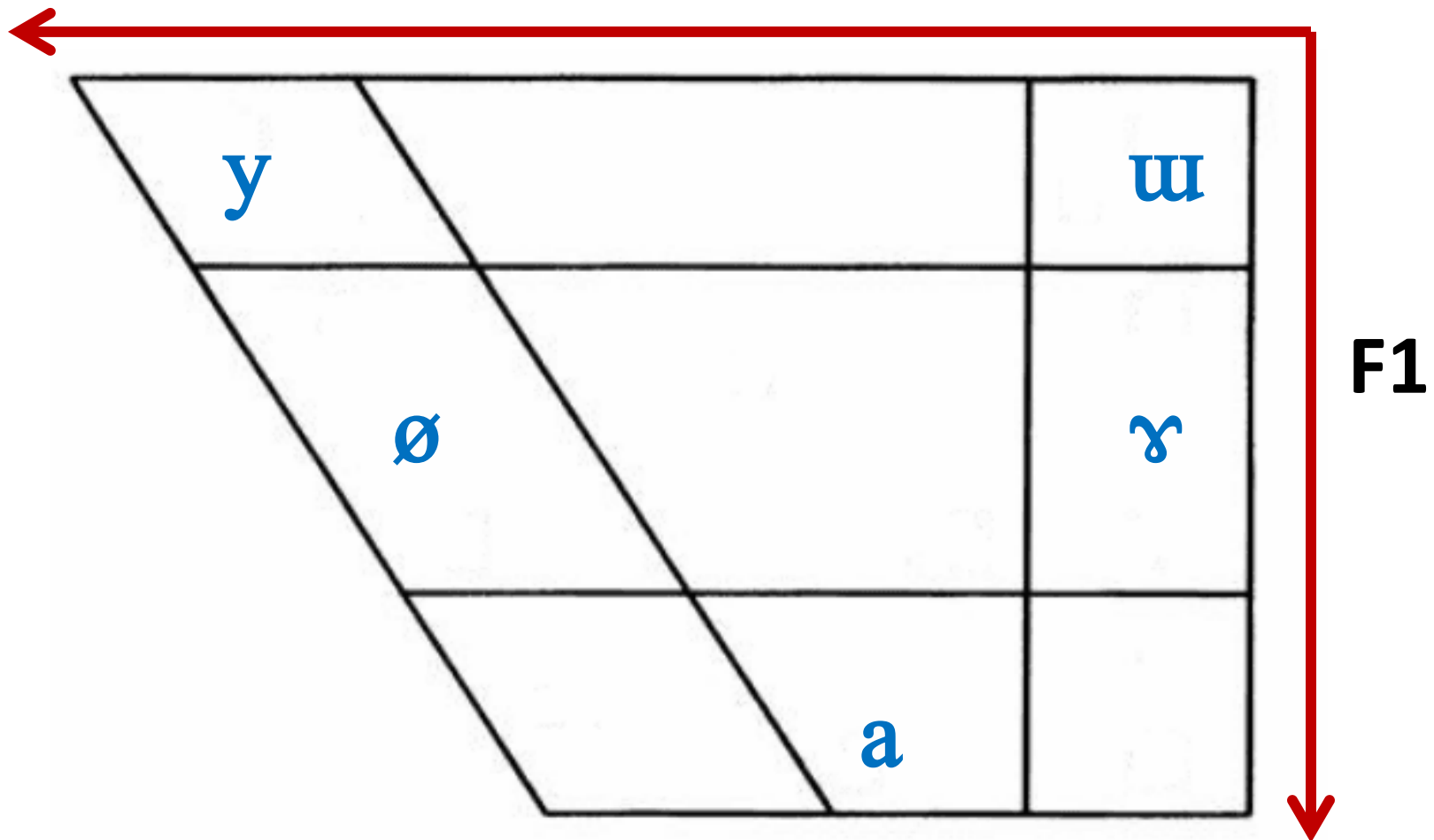
Sistema común

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

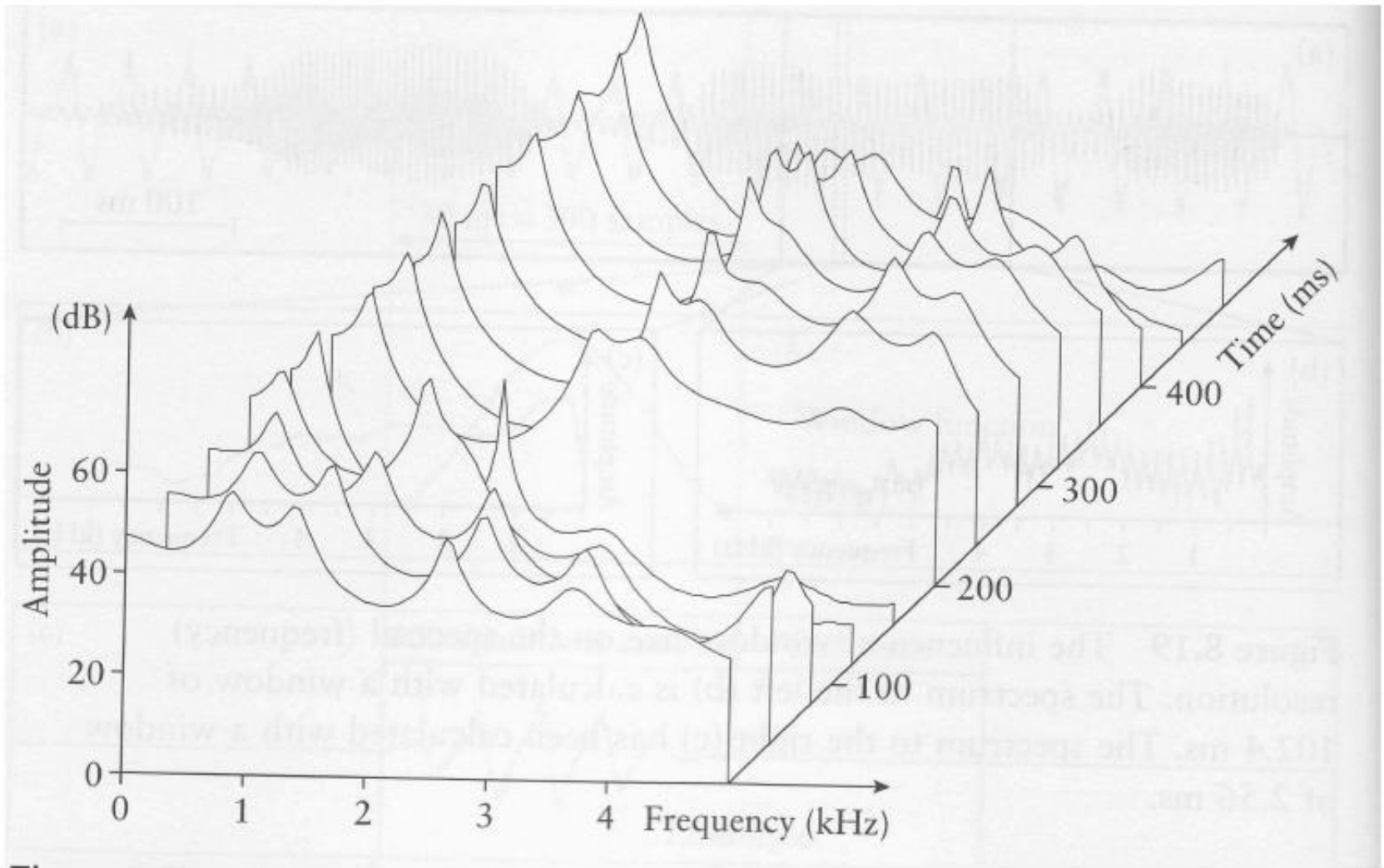
Espectrogramas

Espectrogramas

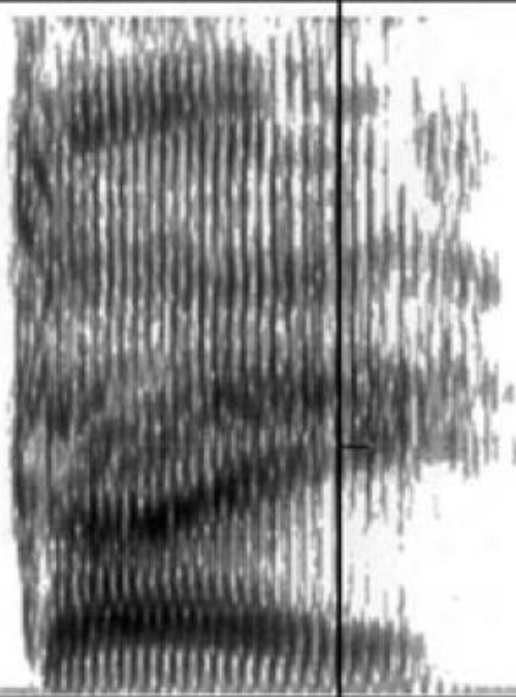
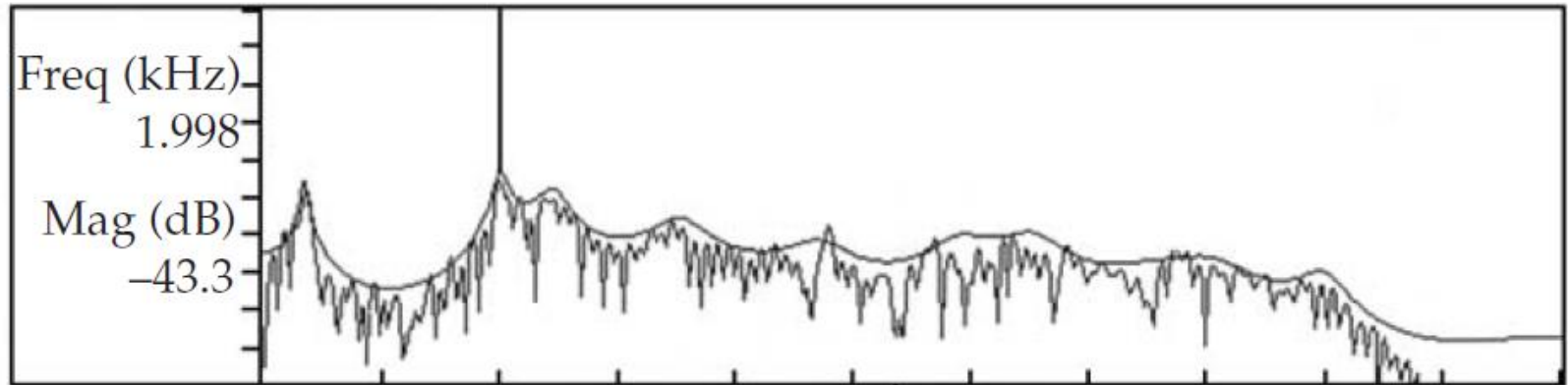
La acústica del habla cambia rápidamente con los movimientos de los articuladores.

- 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

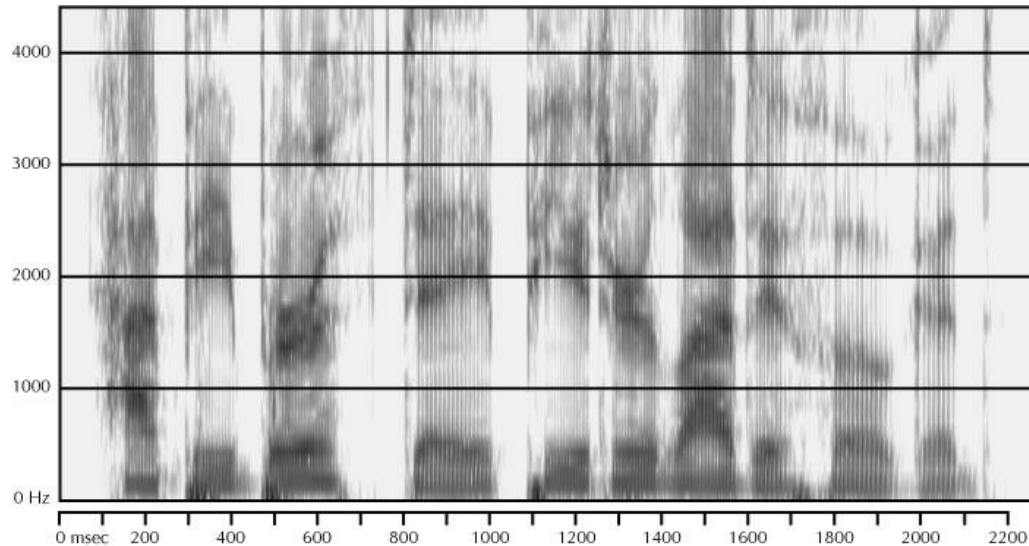


Espectrogramas



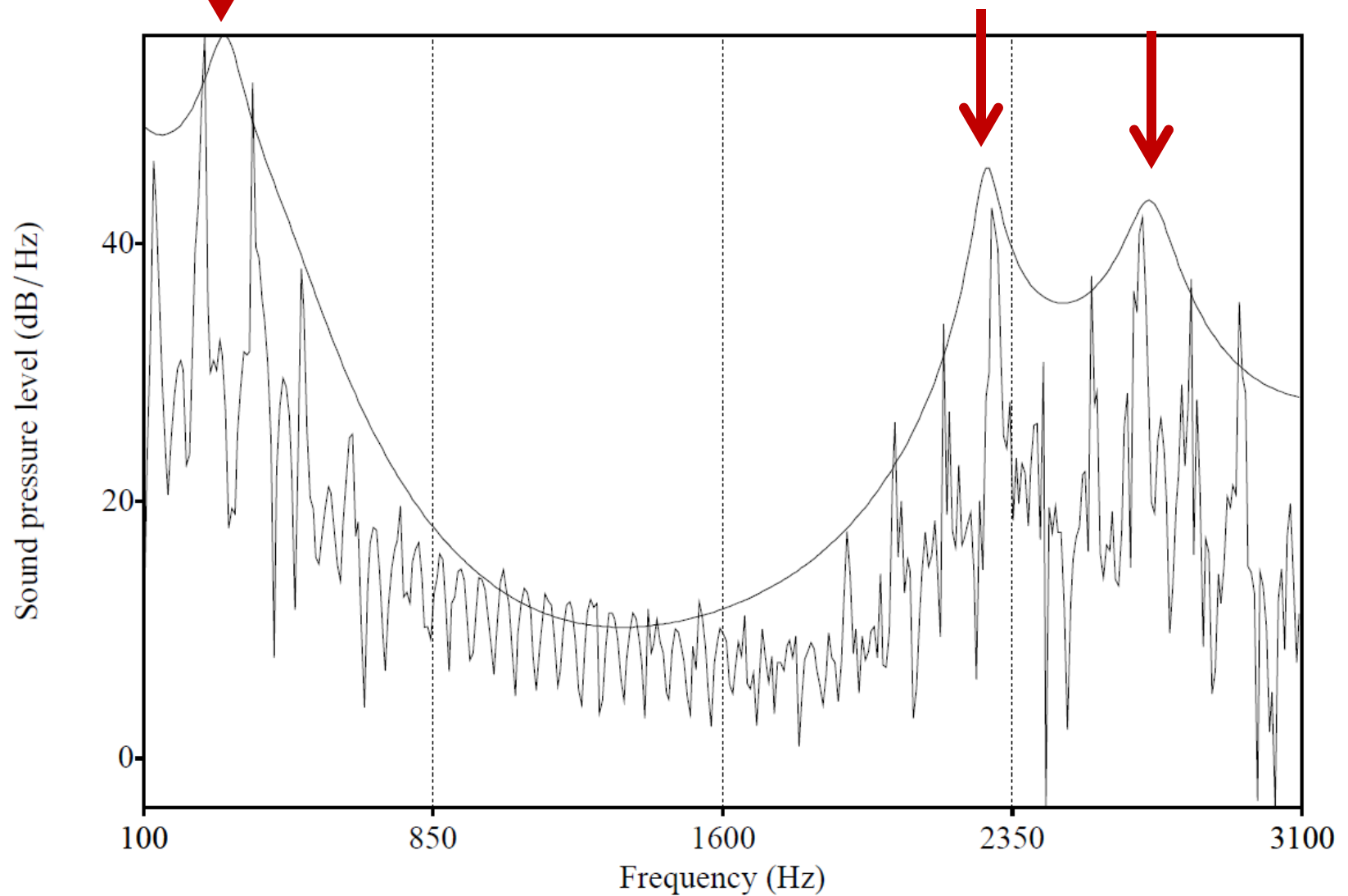
Time →

Espectrogramas

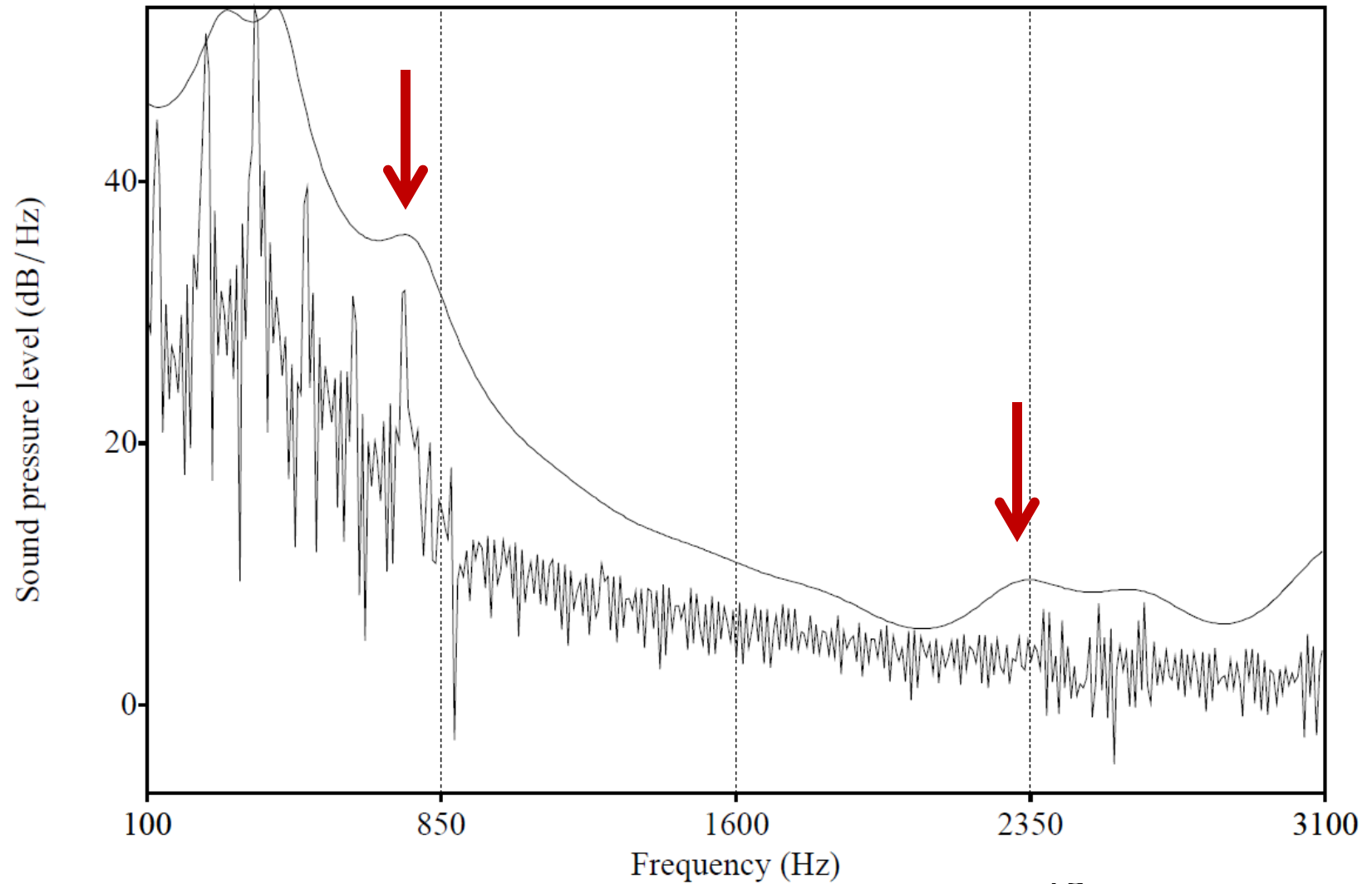


- Eje X: tiempo
- Eje Y: frecuencia
- Eje Z (color/oscuridad): amplitud

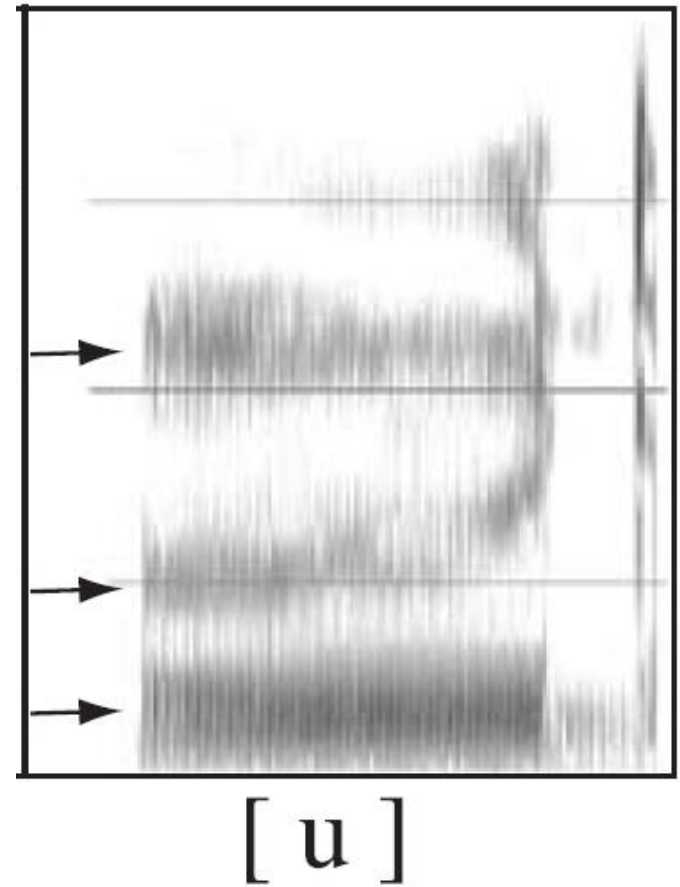
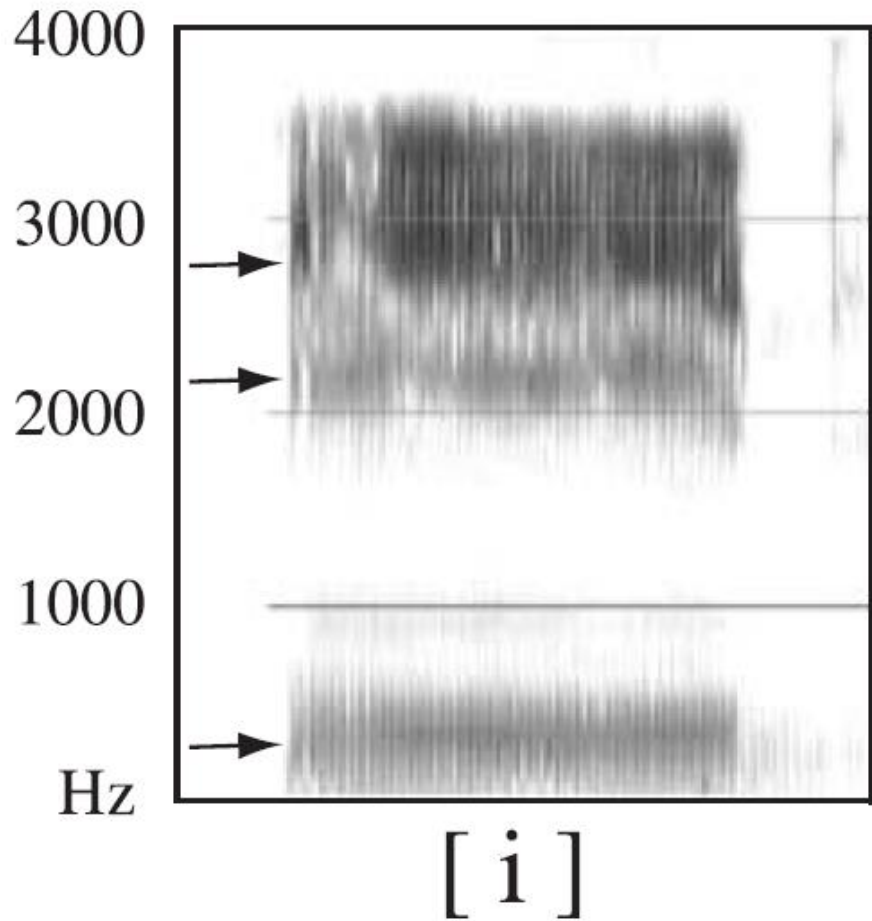
Espectro de [i]



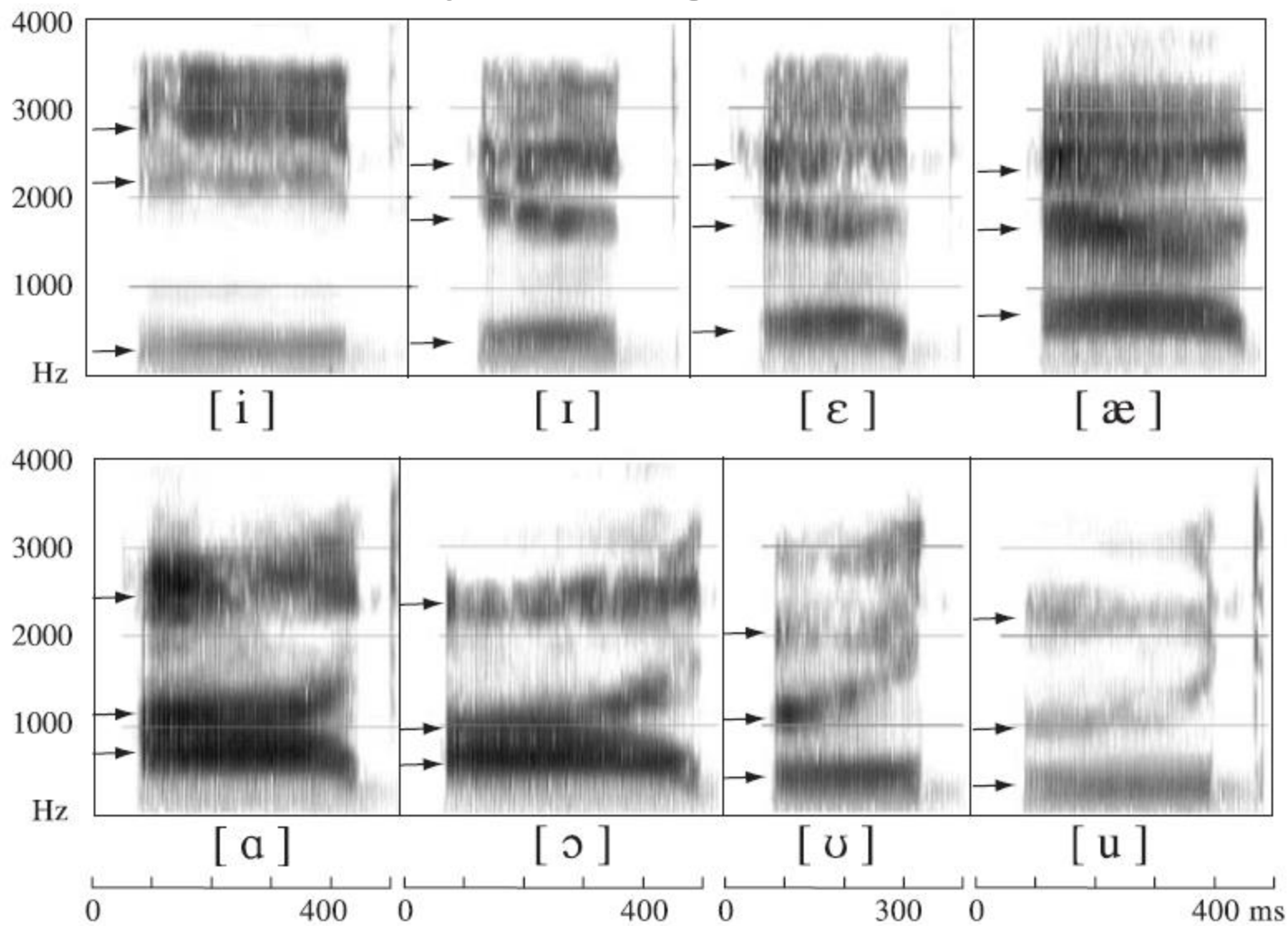
Espectro de [u]



Espectrogramas de [i u]



Espectrogramas



Espectrogramas

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

Diptóngos

