

# La fonética acústica I: la fuente, el filtro, y las vocales

Dr. Christian DiCanio  
cdicanio@buffalo.edu

Universidad de Búfalo

20/6/18

# Por qué se debe hacer estudios fonéticos?

- La producción de habla - cómo funciona?
- La percepción de habla - cuales son las cosas importantes en la percepción?
- Cuestiones sociolingüísticas y pragmáticas.

# La producción - temas

- 1 La variación y los factores que la explica (fonéticas, fonológicas, etc)
- 2 Limitaciones fonológicas y su influencia en la producción
- 3 Los correlatos de un constraite fonológico y sus interacciones
- 4 Cómo funciona la reducción fonológica?
- 5 Cómo se controla los articuladores?
- 6 Cúal es la relación entre aspectos suprasegmentales y aspectos segmentales?

# La percepción - temas

- 1 Cómo se aprende los contrastes fonológicos?
- 2Cuál es la representación neurológica de detalles fonéticos?
- 3Cómo se maneja modalidades diferentes en el habla?
- 4Cómo se prioriza las señales diferentes de un contraste?

## Contextos/Poblaciones - temas

- 1 El habla de comunidades multilingües y el multilingüismo
- 2 Cuáles factores externos afectan la producción y la percepción?
- 3 La inteligibilidad
- 4 Se adaptan los oyentes a otros hablantes, oyentes, y contextos?

# Se debe establecer los contrastes!

Es necesario identificar los contrastes fonológicos antes de su análisis. No se debe “mirar los resultados en Praat para identificarlos.”

Various instruments which record speech--for example, the phonograph, the dictaphone, and magnetic-wire or magnetic-tape recorders<sup>3</sup>--can be of considerable aid to the investigator, since they permit the repetition of phrases. The use of such machines, however, has two grave dangers: (1) The investigator tends to deprive himself of hearing the natural range of key and free variation which comes in repetition by the informant and may, therefore, record as different some utterances of tonemes which are functionally the same in spite of temporary slight, free, pitch divergences. Sufficient recordings of repetitions by the informant himself would overcome this danger.<sup>4</sup> (2) The investigator is tempted to be too "accurate," that is, to transcribe (just because he can find them with instruments) details which do not reflect the system, but are changes within tonemes.<sup>5</sup> Here the danger can be avoided if the investigator uses such data to describe the tonal variants but for publication of grammatical and phonetic studies uses a written transcription which records only the significant tone units (tonemes).

(Pike, 1948:43)

Hay varios instrumentos que graban el habla – por ejemplo la grabadora de discos, etc y pueden ayudarle bien al investigador porque permiten la repetición de las frases. Sin embargo, el uso de estas máquinas lleva dos peligrosidades: (1) El investigador se priva de oír el rango natural de variación que aparece en las repeticiones y se puede notar como diferentes unas repeticiones que son (fonológicamente y) funcionalmente iguales, y (2) El investigador está provocado a *sobre*-transcribir. Es decir, desde que se puede identificar diferencias en la señal acústica, se nota detalles en la transcripción que no son relevantes.

# Metas de hoy - fonética acústica I

1. Entender el básico de la señal acústica al respecto de vocales y consonantes.
2. Aprender etiquetar la señal acústica para extraer valores acústicos.

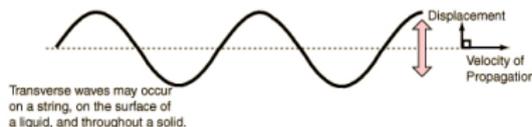
# Ondas

- El sonido se consiste de movimientos de presión que cruza por el medio, p.ej. el aire, el agua, la tierra.
- Estos movimientos causan regiones de compresión y rarefacción (donde se desplaza las partículas).
- Si la onda tiene movimientos periódicos, la separación de estas regiones de compresión es regular.
- Despazamientos pequeños extienden en el aire fuera de su fuente. Cuando tocan sus oídos, causan movimientos pequeños de los membranos auriculares.
- Demo:  
<http://www.acs.psu.edu/drussell/demos/waves/wavemotion.html>

- *Ondas longitudinales* involucran un desplazamiento del medio que es paralelo a la dirección de la onda. Ondas de sonido son ondas longitudinales.

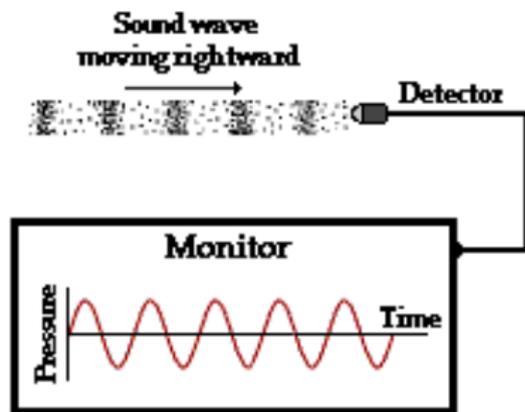


- *Ondas transversas* involucran un desplazamiento del medio que es perpendicular a la dirección de la onda, p.ej. el superficie de una laguna.



# Oscilogramas

- Cuando se detecta y se dibuja estos cambios de presión en el aire por el tiempo, se produce una *oscilograma* de la onda.



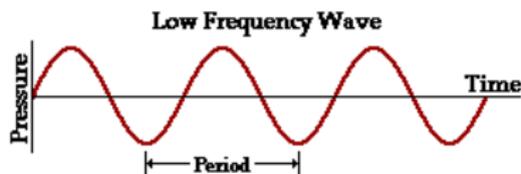
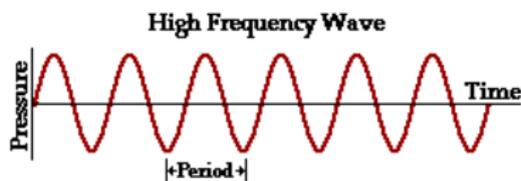
- El oscilograma refleja los desplazamientos de presión (amplitud, el eje y) por tiempo (el eje x).

- Los instrumentos (como la trompeta, el piano) y las cuerdas vocales producen *ondas periódicas* con repeticiones regulares y autoreforzadas. Se percibe estas repeticiones como un tono.
- Ondas de sonido que son *aperiódicos* no tienen repeticiones regulares y predecibles. No llevan un tono. Se los percibe como *ruido*, p.ej. el cierre de una puerta, el soplo del aire, la caída de lluvia.



# Frecuencia

- En una onda periódica, se repite el mismo ciclo de desplazamiento de presión.
- La frecuencia es el número de ciclos cada segundo y se lo mide en Hertz (Hz).
- Un período es el tiempo necesario para un ciclo.

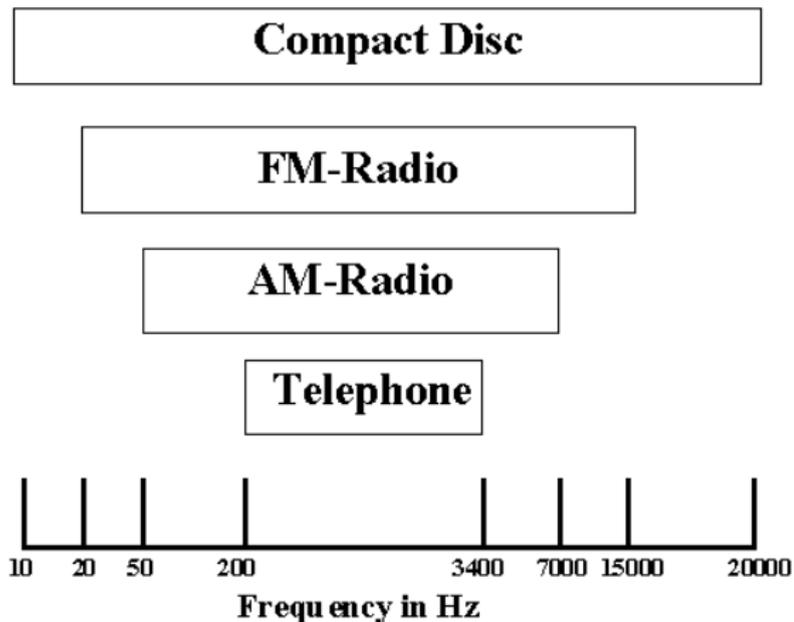


- La frecuencia es el inverso de la duración de un ciclo.
- Se lo mide en milisegundos.
- $FT = 1$ ,  $F = \frac{1}{T}$ , y  $T = \frac{1}{F}$
- Ejemplo: si  $T = .01$  segundos,  $F = \frac{1}{.01\text{s}} = 100 \text{ Hz}$

- El rango de frecuencia de humanos es  $\sim 25 - 16,000$  Hz (pero más alto con niños).

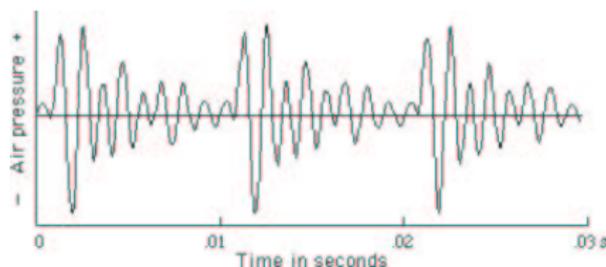
Sonido	Frecuencia $F$	Longitud de la onda $\lambda$
El C lo más bajo en el piano	32.7 Hz	10.51 m
El C medio en el piano	262 Hz	1.29 m
A de violín	440 Hz	0.76 m
4 octavos más altos de C medio	4,186 Hz	8.25 cm
$F_0$ de hombres	70 - 250 Hz.	5 - 1.4 m
$F_0$ de mujeres	120 - 350 Hz.	2.9 - 1 m
El tono más alto que se percibe	20,000 Hz	1.7 cm

## La banda de frecuencias de medias diferentes



# La física y la percepción de sonido

- La frecuencia es una medida física pero *la tonía* es psicoacústica. Se basa la tonía percibida en la frecuencia.
- Se oye la tonía pero se produce la frecuencia.
- El *amplitud* de la onda es su desplazamiento de "0." Refleja que tanto las moléculas se desplaza en el aire.
- Se lo mide en micro-Pascals ( $\mu\text{Pa}$ ), pero se usa deciBel normalmente como medida de *intensidad*
- Se oye la intensidad pero se produce la intensidad.



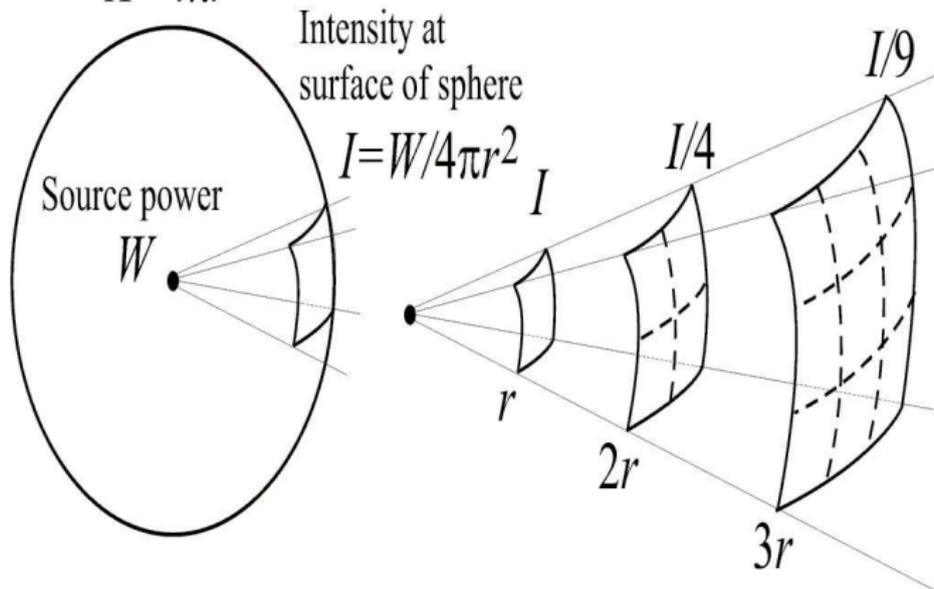
Sonido	Presión ( $\mu\text{Pa}$ )
El límite de oír	20
Un susurro	200
Una oficina quieta	2,000
Una conversación	20,000
El autobús	200,000
El metro	2,000,000
Un concierto	20,000,000

- La *escala decibel* refleja la diferencia de dos intensidades –  $I_1$  y  $I_2$  – como  $10 \log \frac{I_2}{I_1}$  dB
- P.ej, un susurro es  $10 \log \frac{200^2}{20^2} = 20$  dB

Ejemplo Sonido	La presión $\mu Pa$	La intensidad $\mu Pa^2$	Decibels $dB$
El límite de oír	20	400	0
Un susurro	200	40000	20
Una oficina quieta	2,000	4000000	40
Una conversación	20,000	400000000	60
El autobús	200,000	40000000000	80
El metro	2,000,000	$4 \times 10^{12}$	100
Un concierto	20,000,000	$4 \times 10^{14}$	120
Un avión	$2 \times 10^8$	$4 \times 10^{16}$	140

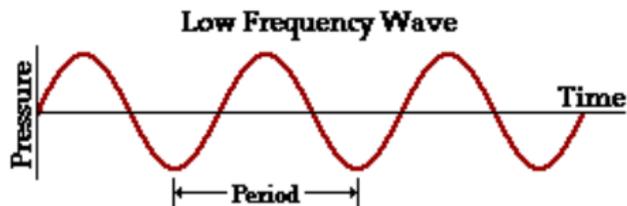
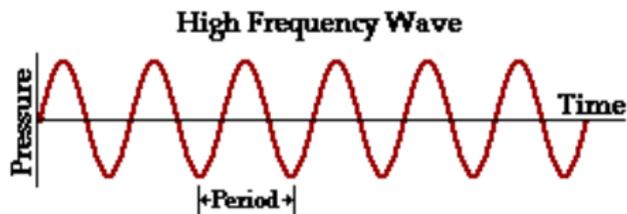
Imaginary sphere area

$$A=4\pi r^2$$

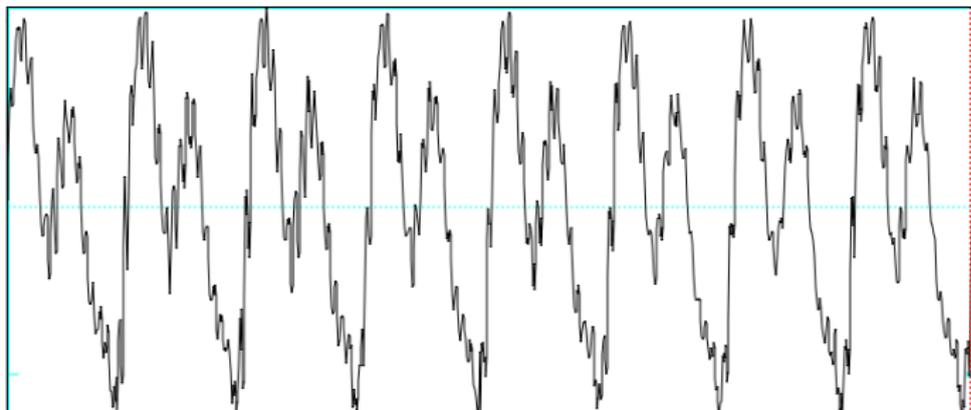


## Ondas sencillas y complejas

Una onda de seno es una onda con solamente un componente de frecuencia. Es sencilla.

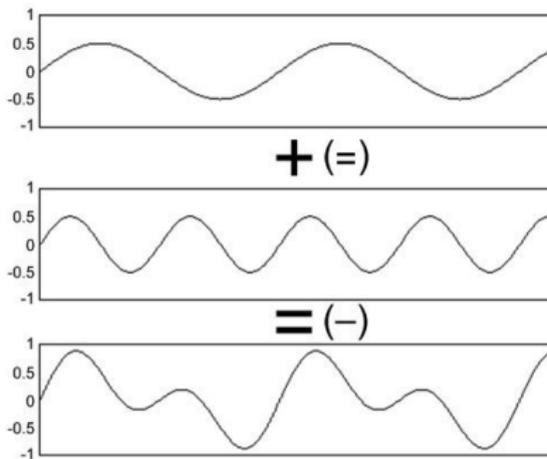


- No se encuentran ondas sencillas mucho en la naturaleza. La mayoría de ondas de sonido es compleja.



- Observa que hay un patrón regular en esta onda, pero es más compleja que una onda sencilla. Los movimientos adicionales significan que la presión del aire cambia en una manera más complicada.

- Cuando se combina dos o más ondas de frecuencias diferentes, se produce una onda compleja.
- Se puede también descomponer una onda compleja en ondas sencillas (análisis Fourier).
- Una onda compleja es la suma de ondas sencillas.

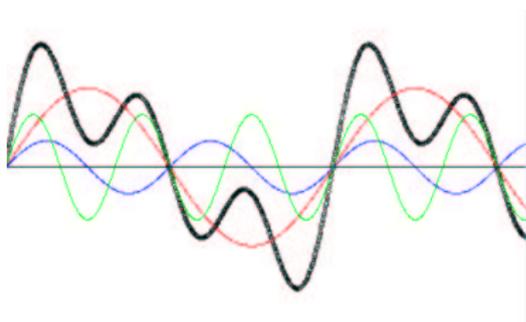
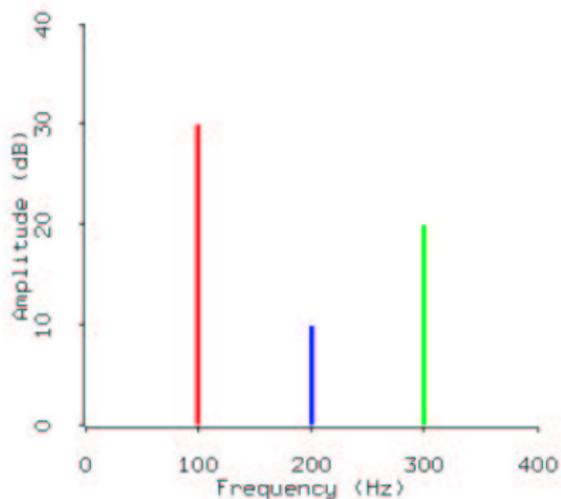


# Cómo se combina ondas sencillas?

- Interferencia constructiva: cuando se combina dos maxima o dos minima, crea una onda de más amplitud.
- Interferencia destructiva: cuando se combina un maximum con un minimum, crea una onda de menos amplitud.
- Ejemplo en Praat.

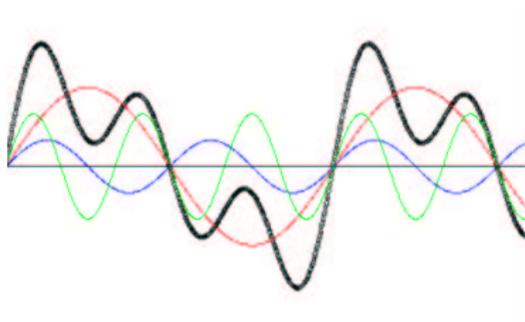
- Las ondas complejas poseen varios componentes de frecuencias diferentes; unos o todos pueden ser periódicos.
- Se representa cada componente como un solo valor de frecuencia en un espectro de sonido. El espectro dibuja la frecuencia en el eje  $x$  y el amplitud en el eje  $y$ .

Un espectro de sonido (a la izquierda) y una oscilograma de sonido (a la derecha). Los dos muestran la misma onda compleja.

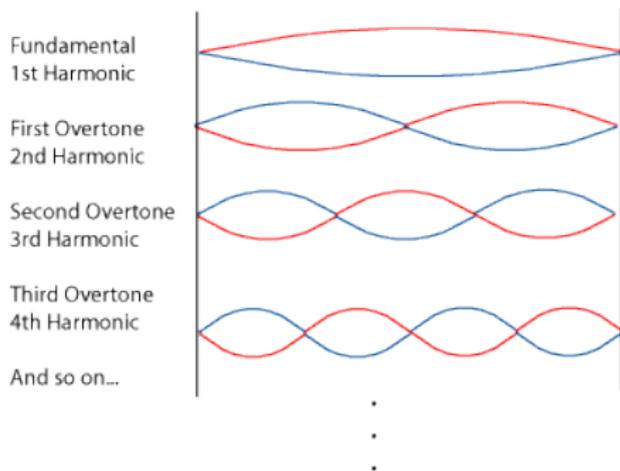


# La frecuencia fundamental y las armónicas

- Una onda periódica posee una **frecuencia fundamental** ( $F_0$ ) que es la frecuencia con que se repite la onda entera.
- Las ondas complejas pueden poseer más frecuencias armónicas que son los múltiplos enteros de  $F_0$ .
- La **frecuencia fundamental** de una onda periódica determina la tonía que se percibe.
- Por ejemplo, esta onda tiene una  $F_0$  de 100 Hz y dos armónicas.

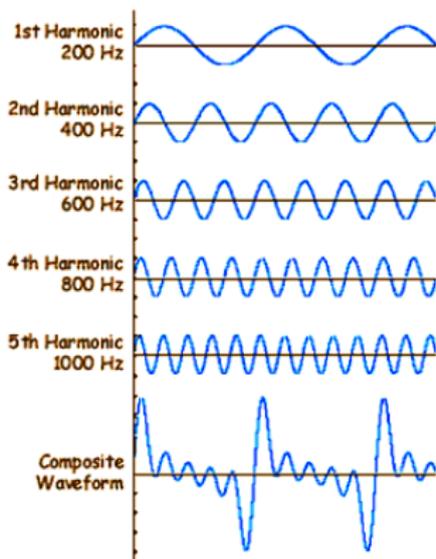


- Una cuerda vibra con muchas frecuencias a la misma vez.
- Produce un serie de *armónicas*.

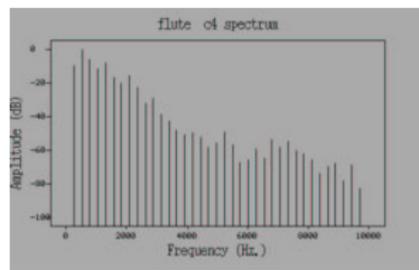
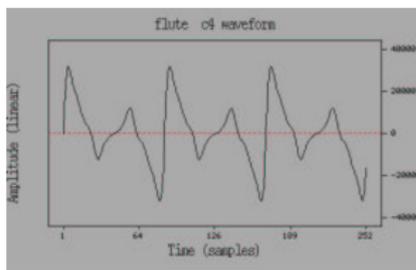


- La calidad de estas frecuencias cambia el timbre del sonido (pero no la tonía).

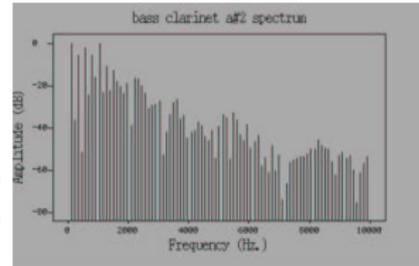
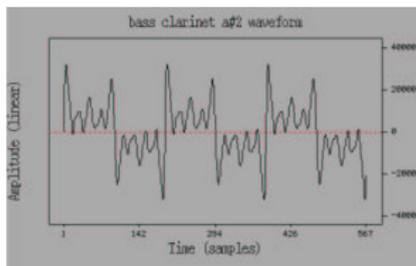
# Las armónicas en una onda compleja



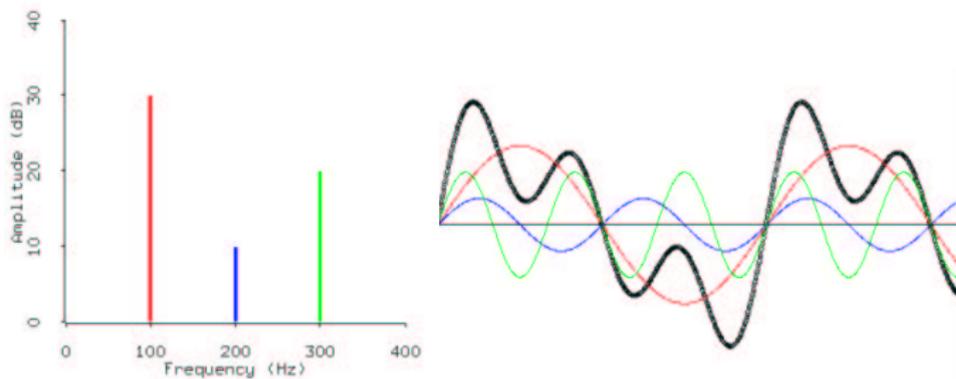
- C medio (262 Hz) de una flauta:



- A $\sharp$  (116.5 Hz) de un clarinet

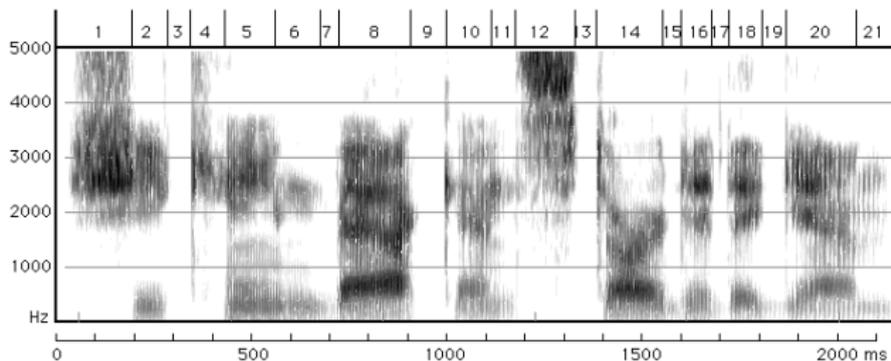


- En realidad, se percibe *la tonía* por el espacio entre armónicas, no solo por la  $F_0$ .
- Si quitamos el componente de 100 Hz, la tonía percibida no cambia (sino el timbre cambia).



- En teléfonos, la banda de frecuencia no incluye valores más bajos de 250 Hz. El rango de tonía para muchas voces humanas está entre 80-250 Hz.

# Espectrogramas



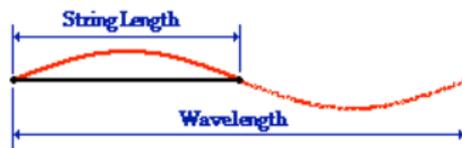
- El *espectrograma* muestra
  - *Tiempo* por el eje  $x$
  - *Frecuencias* por el eje  $y$
  - La *intensidad* (amplitud) por la oscuridad (el eje  $z$ ).
- Es más compleja de una oscilograma o un espectro porque muestra tres dimensiones.

## Parte II: Resonancia

Una onda compleja puede tener muchos componentes de frecuencia que se combina.

Pero este aspecto de ondas es solamente una parte de lo que necesitamos entender con el habla humano.

- Cuando se toca la cuerda de una guitarra, la frecuencia fundamental ( $F_0$ ) es la frecuencia de resonancia de la cuerda. Corresponde a su tensión.
- En cuerdas, esta onda tiene una longitud exactamente doble de la longitud de la cuerda.
- Si tienen la misma tensión, las cuerdas más largas tienen ondas más largas y frecuencias más bajas de cuerdas cortas.

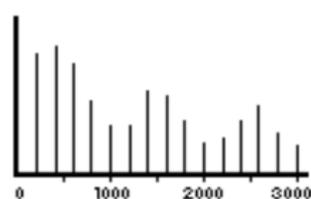
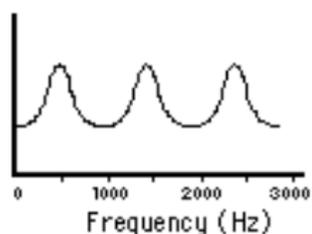
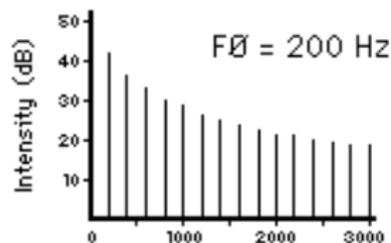
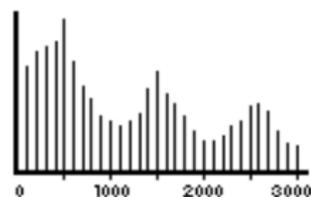
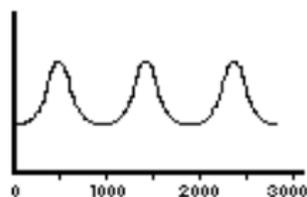
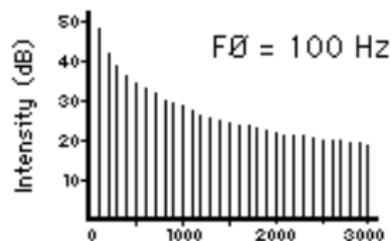


**For the first harmonic of a guitar string, the length of the wave is twice the length of the string.**

Cuando vibran sus cuerdas vocales, producen una onda con armónicas.

Pero su boca (encima de las cuerdas vocales) también tiene características acústicas importantes. Filtra esta onda creada por las cuerdas vocales para formar sonidos que se reconoce (como vocales).

## La fuente y el filtro en el habla

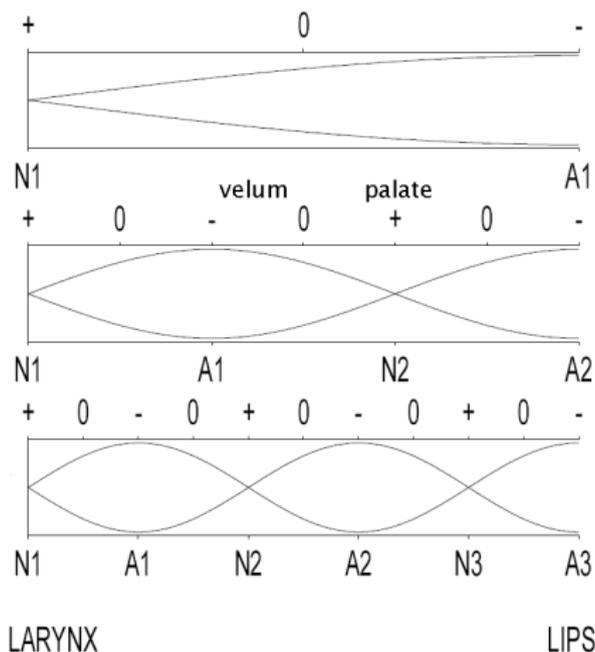


SOURCE SPECTRUM

FILTER FUNCTION

OUTPUT ENERGY  
SPECTRUM

Una constricción de la lengua por lugares diferentes de la boca cambia las frecuencias de resonancia en el filtro. Por eso el sonido [i] suena diferente del sonido [u].



# Vocales

Estas frecuencias de resonancia en el filtro (su boca) se llaman **formantes** y nos permiten distinguir entre vocales y otros sonidos sonoros.

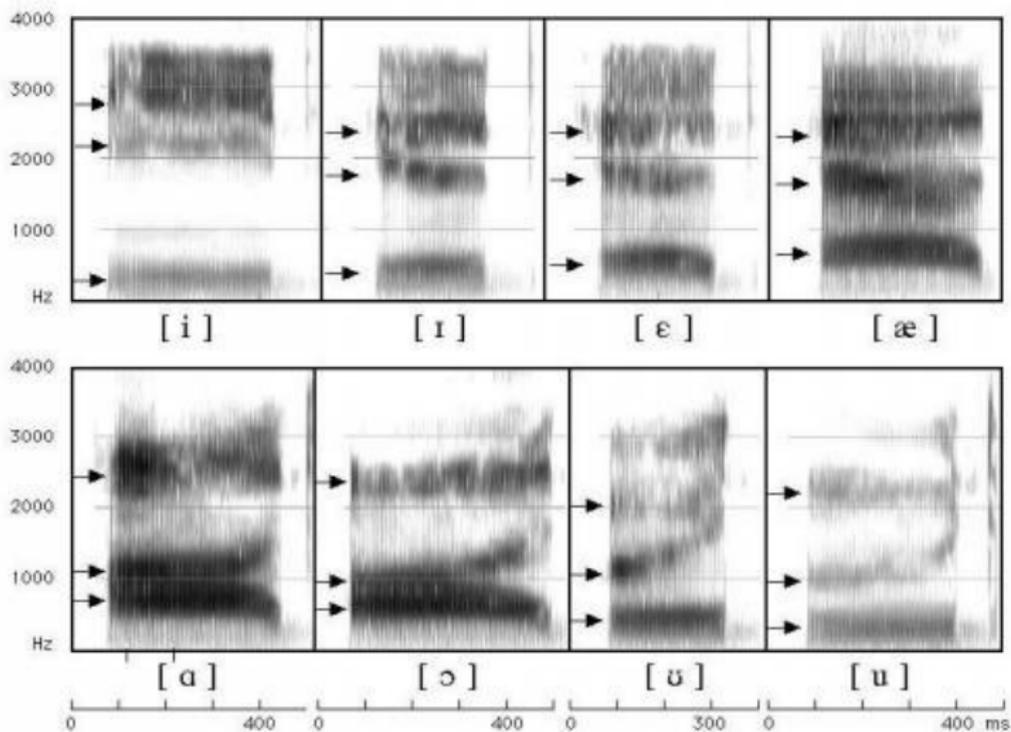
La frecuencia fundamental ( $F_0$ ) y la armónicas pueden ser diferentes pero las constricciones que producimos en nuestras bocas crea el mismo resultado a través de hablantes diferentes.

# La calidad de la vocal y sus formantes

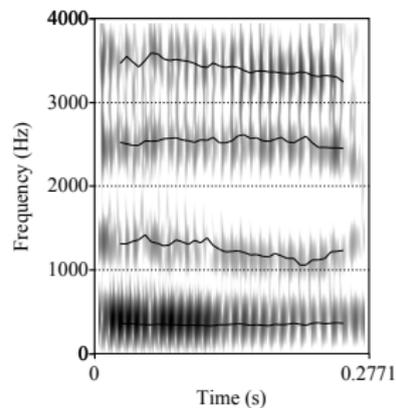
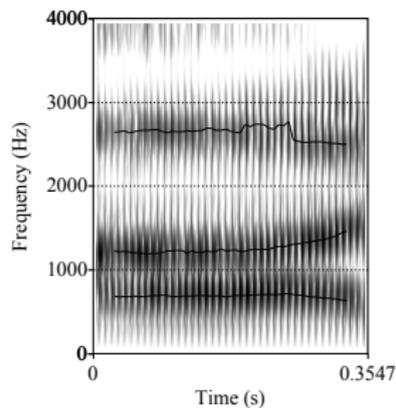
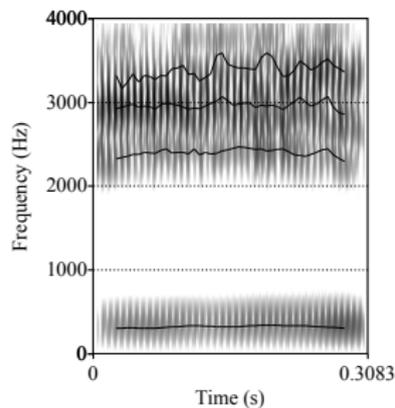
Existe una relación consistente y predecible entre la calidad de la vocal y sus formantes.

- La altura de la mandíbula y la lengua es inversamente proporcional al valor de F1. Vocales altas tienen un F1 bajo. Vocales bajas tienen un F1 alto.
- Vocales anteriores ([i, e]) tienen un valor F2 alto y vocales posteriores ([o, u]) tienen un valor F2 bajo.
- El redondeamiento de los labios baja todos los valores de los formantes.

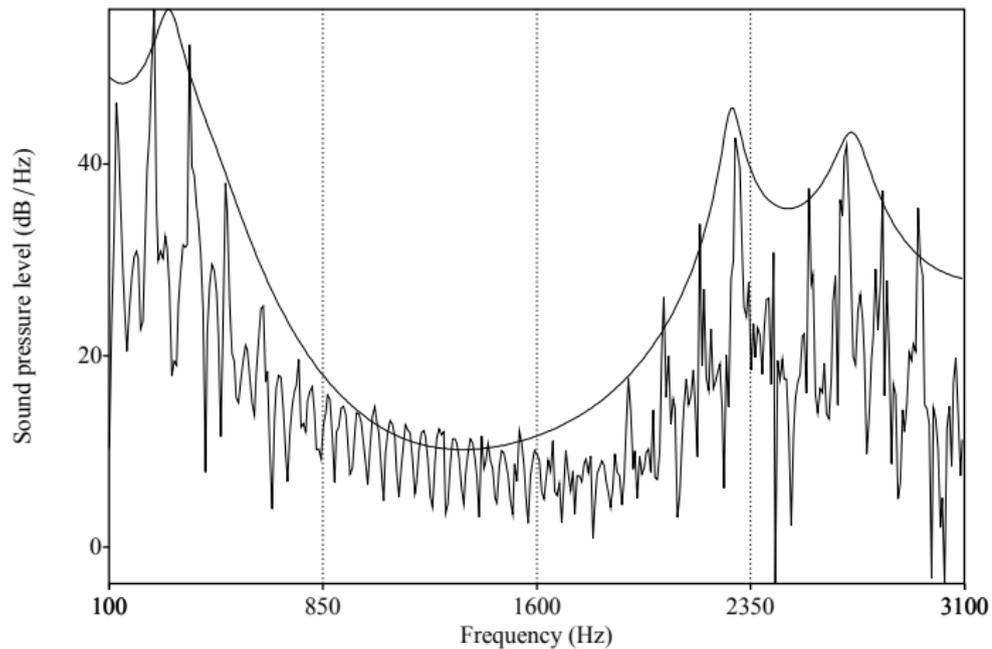
# Vocales en inglés



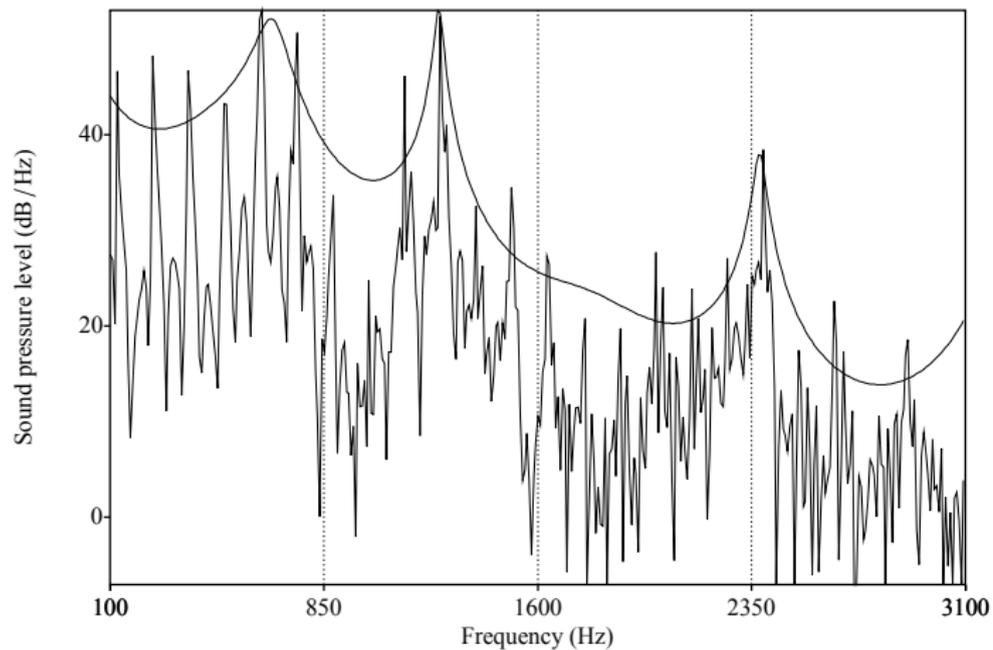
# Vocales en espectrogramas - cuáles son?



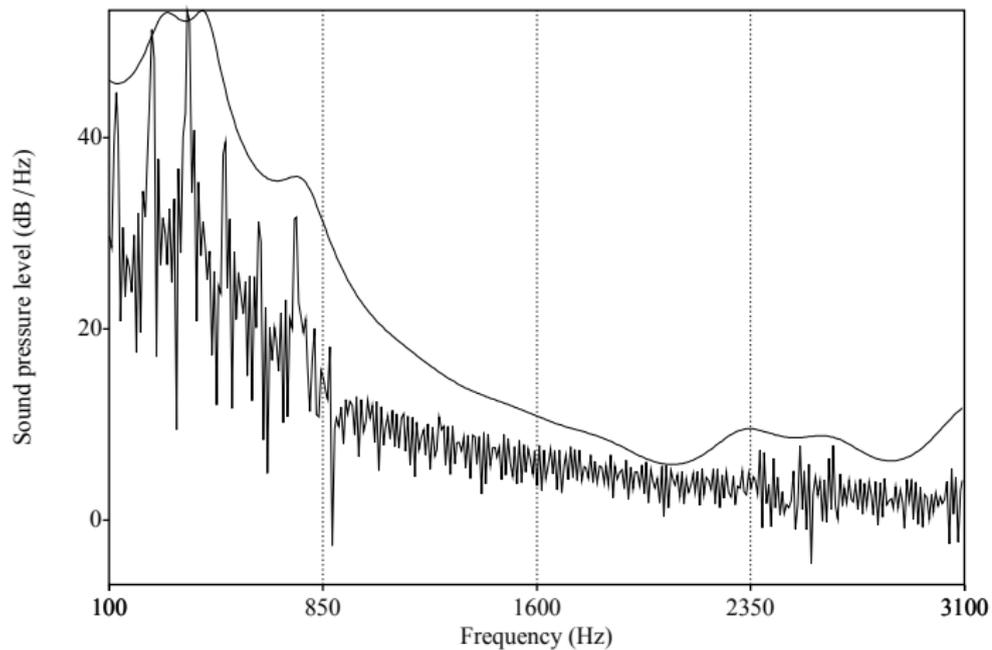
# El espectro de [i]



# El espectro de [a]



# El espectro de [u]



Si extraemos los valores de F1 y F2 del medio de la vocal, podemos dibujar las vocales acústicamente.

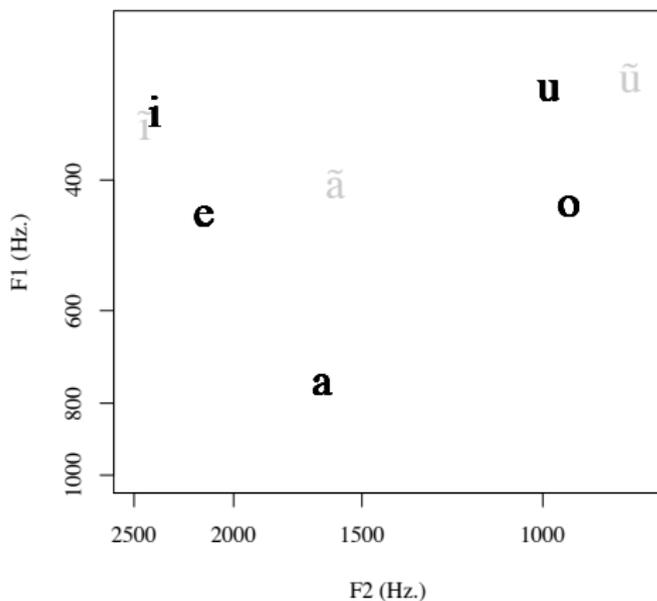
Este espacio de 2 dimensiones se parece a las posiciones articulatorias de las vocales.

Típicamente se usa una escala de log.

Nos permite ver donde se produce las vocales en el espacio!

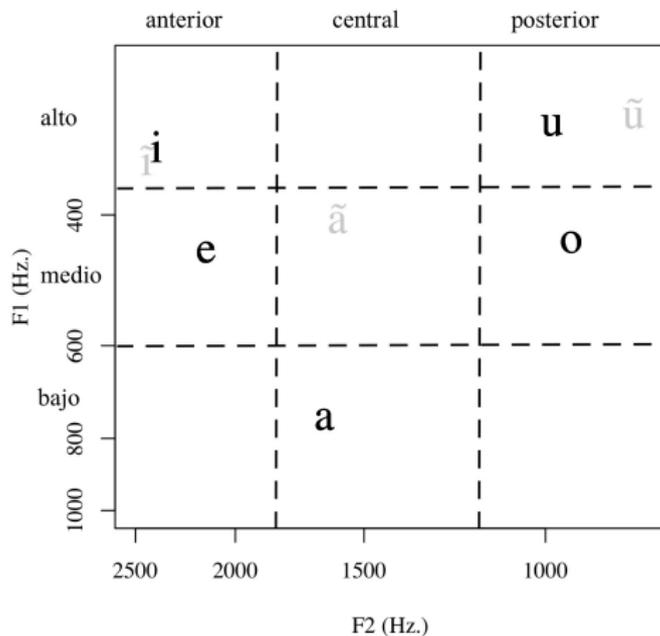
# El espacio vocal de Triqui de Itunyoso

/i, e, a, o, u/; /ĩ, ã, ã/ (DiCanio, 2010).

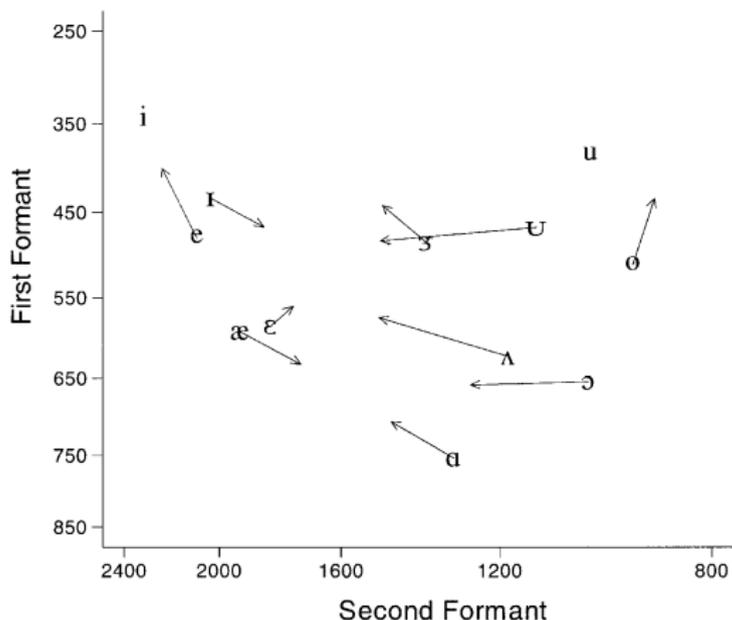


# El espacio vocal de Triqui de Itunyoso

/i, e, a, o, u/; /ĩ, ã, õ/ (DiCanoio, 2010).

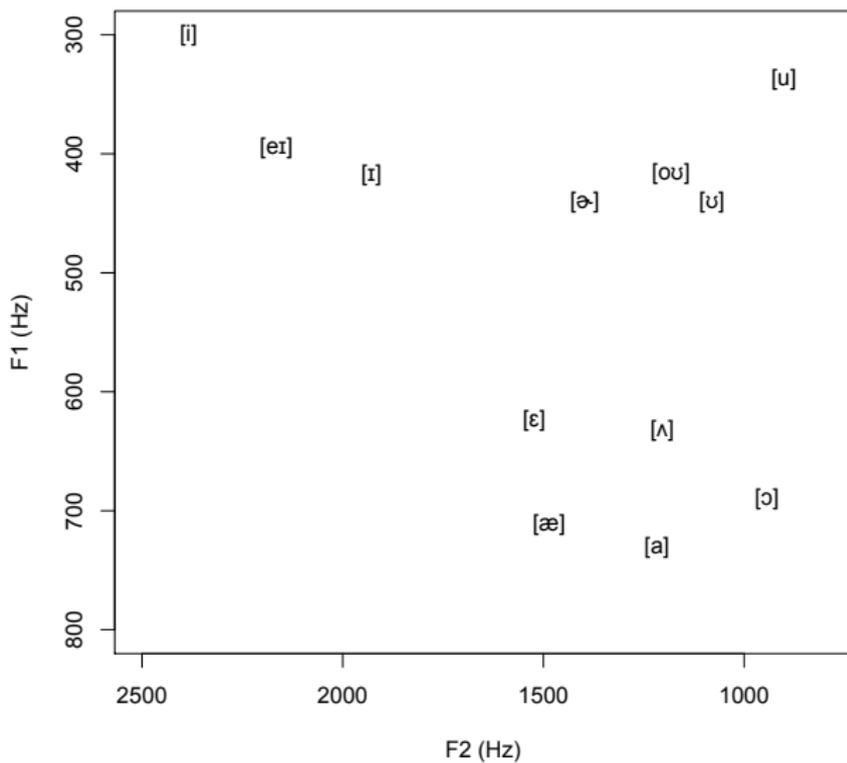


# Vocales de inglés (Hillenbrand, 2003)

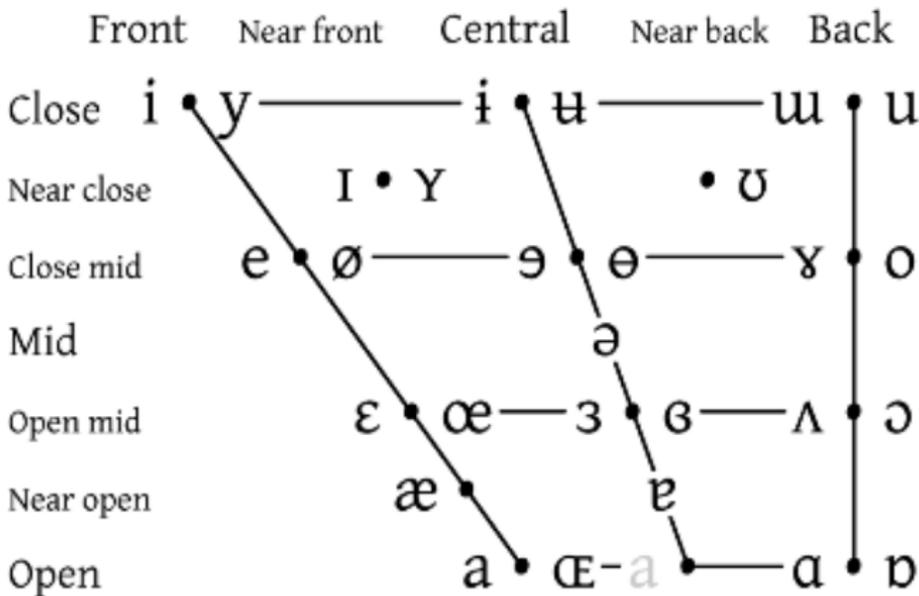


**Figure 2** Spectral-change patterns for the Hillenbrand et al. (1995) vowels. The figure was formed by drawing arrows from the average  $[F_1, F_2]$  measurements measured at 20% of vowel duration (the tail of the arrow) to the corresponding values measured at 80% of vowel duration. Measurements are shown for the adult male talkers only. The scaling of formant values and orientation of the axes is identical to figure 1.

### American English vowels 30-something professor from Buffalo, NY



## VOWELS



Vowels at right & left of bullets are rounded & unrounded.

# Rasgos vocálicos en los idiomas del mundo

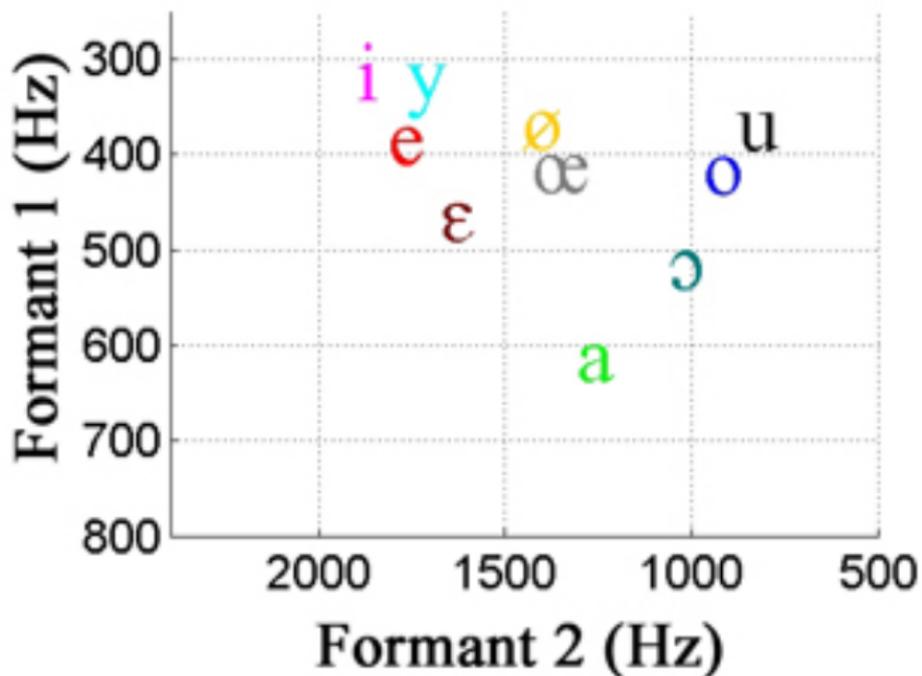
- > Redondeamiento
  
- > Vocales cortas y largas
  - Nasalidad
  
  - ATR (Raíz de lengua avanzada)
  
  - Diptongización

# Redondeamiento

- Típicamente el redondeamiento ocurre con vocales posteriores. Desde que se los distingue por F2, tiene el efecto de bajar el F2 más.
- Pero puede ser independiente de la posición horizontal de la vocal.
- Muchos idiomas europeos poseen vocales redondas anteriores [y, ʏ, ø, œ, œ̃]. El redondeamiento es raro con vocales bajas porque es difícil redondear los labios cuando se abre la boca demasiado para una vocal baja.
- En muchos idiomas del sureste de Asia, hay vocales posteriores que no son redondas, p.ej. [ɯ, ʉ, ʌ].

# Vocales redondas de francés

lit		lu		loup	
[li]	' <i>cama</i> '	[ly]	' <i>leído</i> '	[lu]	' <i>lobo</i> '
les		lieu		l'eau	
[le]	' <i>los/las</i> '	[ljø]	' <i>lugar</i> '	[lo]	' <i>el agua</i> '
lait		leur		lors	
[lɛ]	' <i>leche</i> '	[lœʁ]	' <i>su</i> '	[lɔʁ]	' <i>durante de</i> '



## La longitud vocálica de Arapaho

Se puede distinguir las vocales por su longitud también. Típicamente se observa diferencias en su calidad con las diferencias de duración.

Table: Inventario de Arapaho (Algonquian)

	Anterior	Posterior
Alto	i	u
Bajo	ɛ	ɔ

Diptongos	ei	ou
	ɪʔ	aɪ

Table: La longitud vocálica

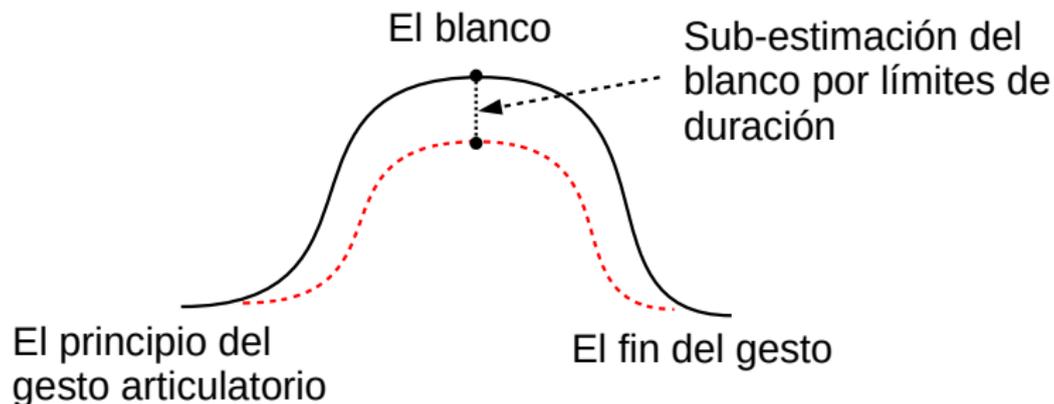
Corto	Largo	Extra largo
i	ii	iii
ε	εε	εεε
u	uu	uuu
ɔ	ɔɔ	ɔɔɔ
	ei	eei
	oʊ	ooʊ
	aɪ	(aaɪ)
	ɪʔ	?

## Ejemplos

Longitud	Palabra	Glosa	Palabra	Glosa
corto	his	'hígado'	h30w?	'estrella'
largo	níís	'dos'	h3h3ót	'árbol'
extra largo	b3n3ít	'trabajar con espinas' <i>de porcupine'</i>	b3t33t	'baile'
corto	h30	'perro'	033n3úhut	'él es flojo.'
largo	tʃ330	'por accidente'	t3?úút	'martilla'
extra largo	h333	'sí'	03ux3suuu	'gorra de plumaje'

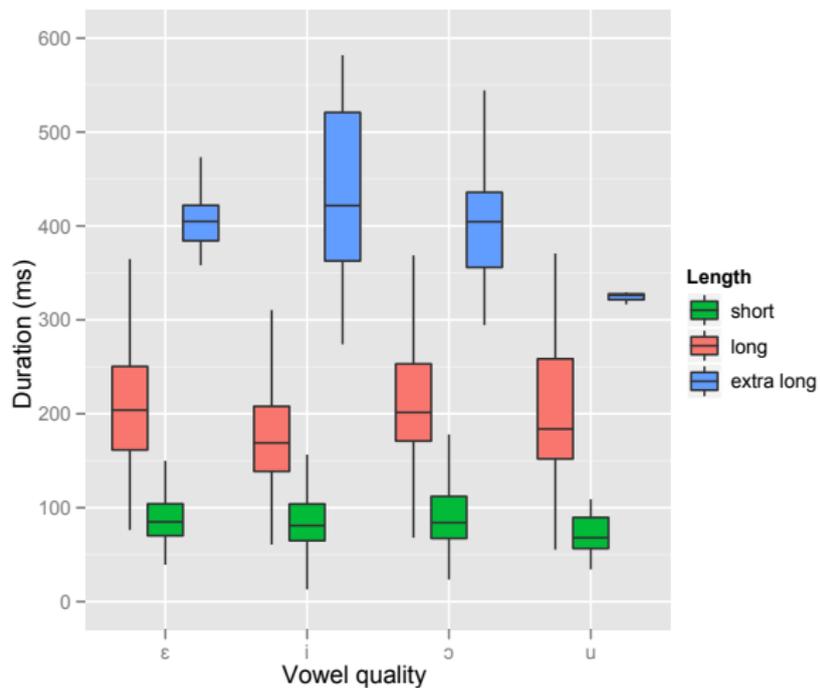


# Movimiento y sub-estimación

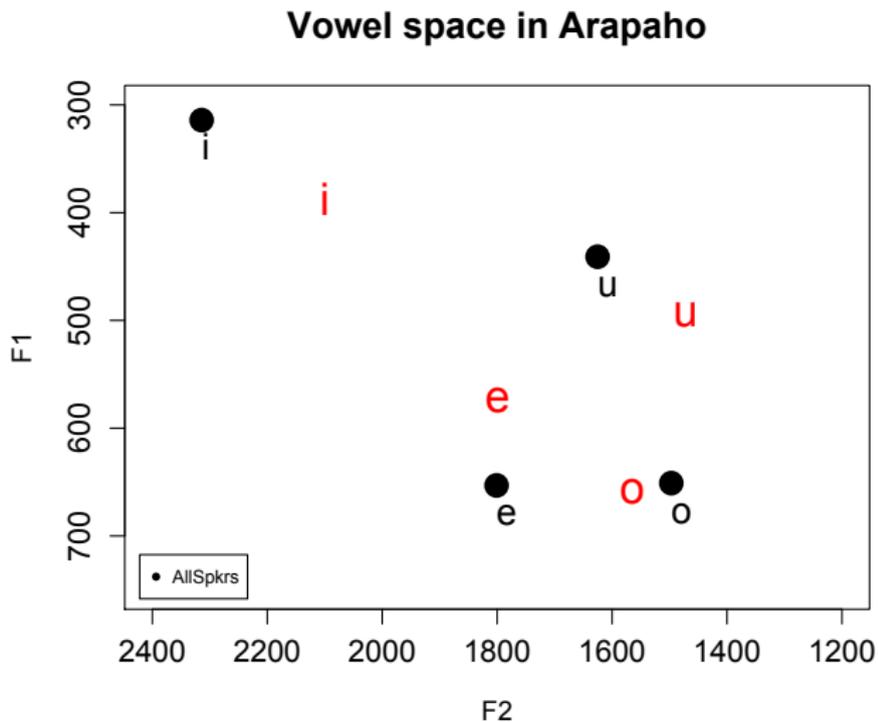


(Cho, 2006)

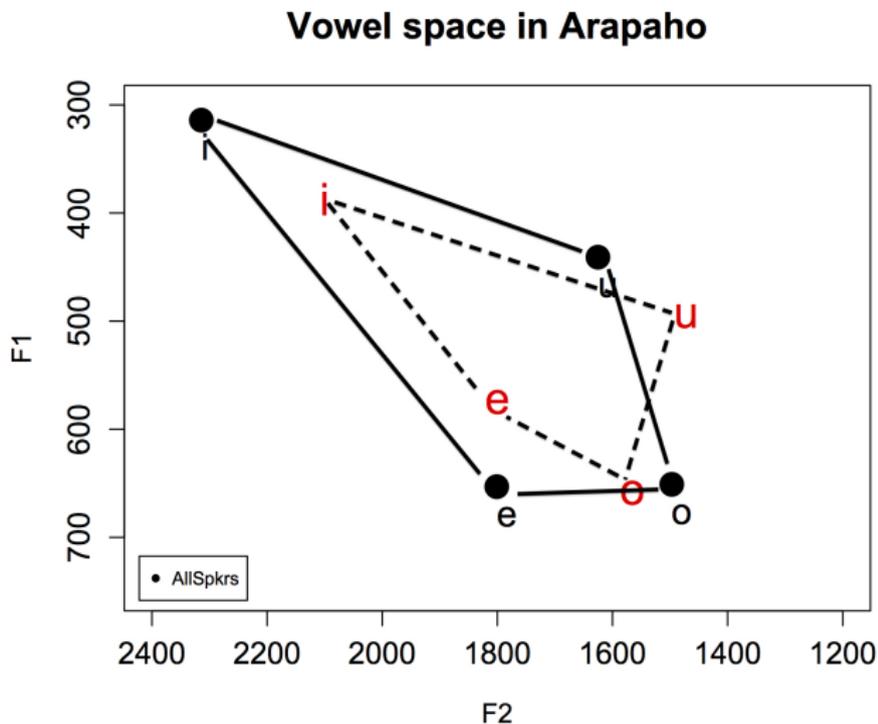
# Duración vocálica de Arapaho



# Longitud vocálica y calidad vocálica



# Longitud vocálica y calidad vocálica



# Observaciones

- La calidad vocálica cambia con la longitud. Las vocales largas son más periferales que las vocales cortas.
- Inventario revisado: corto /ɪ, ɛ, ɔ, ʊ/ pero largo /iː, æː, ɔː, uː/.
- Las diferencias en la duración causaron diferencias en la calidad vocálica.

- Cho, T. (2006). Manifestation of prosodic structure in articulatory variation: Evidence from lip kinematics in English. In Goldstein, L. M., Whalen, D. H., and Best, C. T., editors, *Laboratory Phonology 8: Varieties of Phonological Competence*. Berlin, New York: Mouton de Gruyter.
- DiCanio, C. T. (2010). Illustrations of the IPA: San Martín Itunyoso Trique. *Journal of the International Phonetic Association*, 40(2):227–238.
- Hillenbrand, J. M. (2003). Illustrations of the IPA: American English (Southern Michigan). *Journal of the International Phonetic Association*, 33:121–126.
- Lindblom, B. (1963). Spectrographic study of vowel reduction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35:1773–1781.
- Pike, K. L. (1948). *Tone Languages*. University of Michigan, Ann Arbor.