Departamento de Computación, FCEyN, UBA

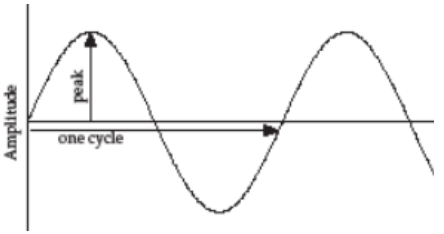
Procesamiento del Habla

Agustín Gravano

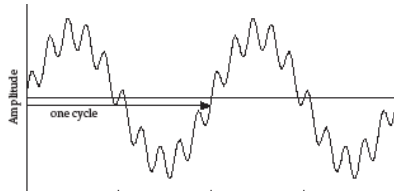
1er Cuatrimestre 2017

Acústica. Repaso de la clase anterior

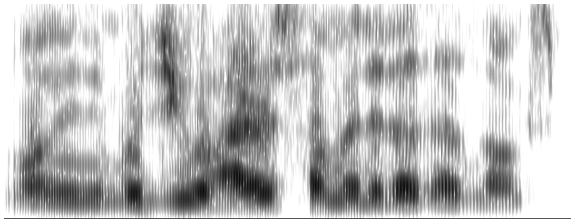
- Sonidos periódicos y aperiódicos.
  - Ondas periódicas simples.
    - Ciclo, período (T), frecuencia (f).



  - Ondas periódicas complejas.



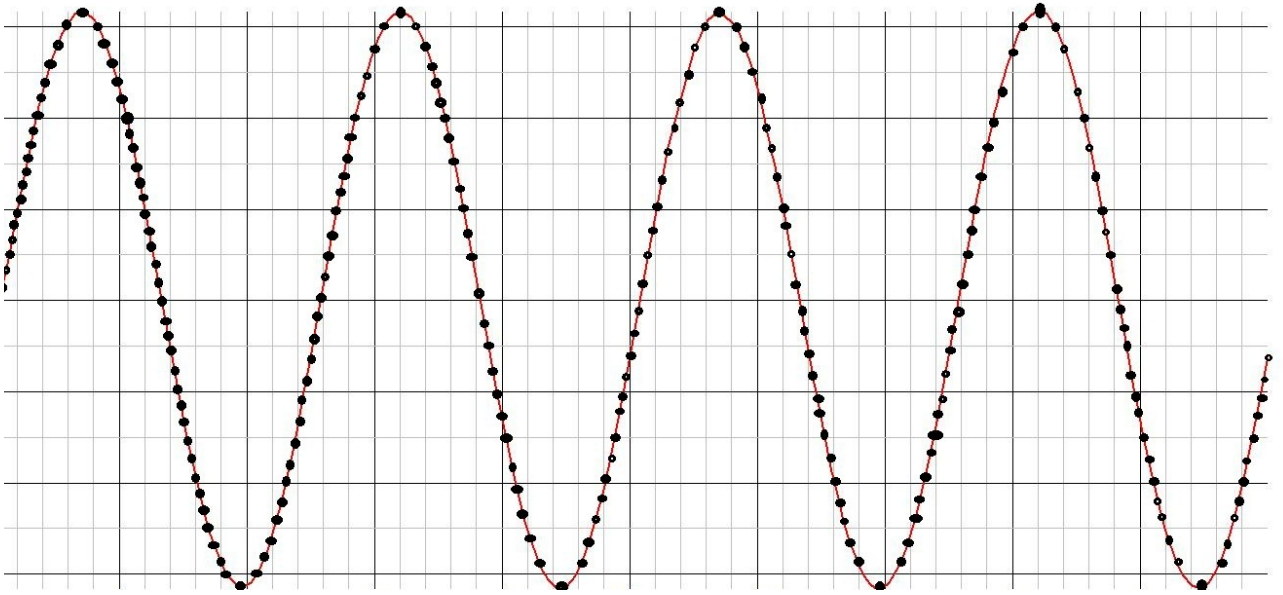
  - Ruido blanco. Ondas transitorias.
  - Análisis de Fourier. FFT. Espectrograma.



- Ejercicios.

Procesamiento Digital de Señales

- Señal analógica (continua): La línea de tiempo tiene valores de amplitud con precisión **infinita** en **todos** los puntos.
- Señal digital (discreta): La línea de tiempo tiene sólo una **secuencia** de valores de amplitud con precisión **finita**.



Procesamiento Digital de Señales

- Un micrófono convierte oscilaciones de presión en el aire (sonido) en oscilaciones de voltaje.
  - Los dispositivos analógicos (discos de vinilo, cassettes) las guardan como señales continuas.
  - Los dispositivos digitales (computadoras, CDs) las convierten y guardan como señales discretas.
- Conversión Analógica-Digital (Digitalización)
  1) Muestreo: Discretización del tiempo.
  2) Cuantización: Discretización de la amplitud.

Conversión Analógica-Digital

- Tasa de muestreo *(sampling rate)*
  - ¿Cada cuánto hay que tomar muestras de la señal?
  - **Teorema de Nyquist-Shannon:** Para capturar la periodicidad de una onda con frecuencia *f*, es necesaria una tasa de muestreo mayor que 2*f*.

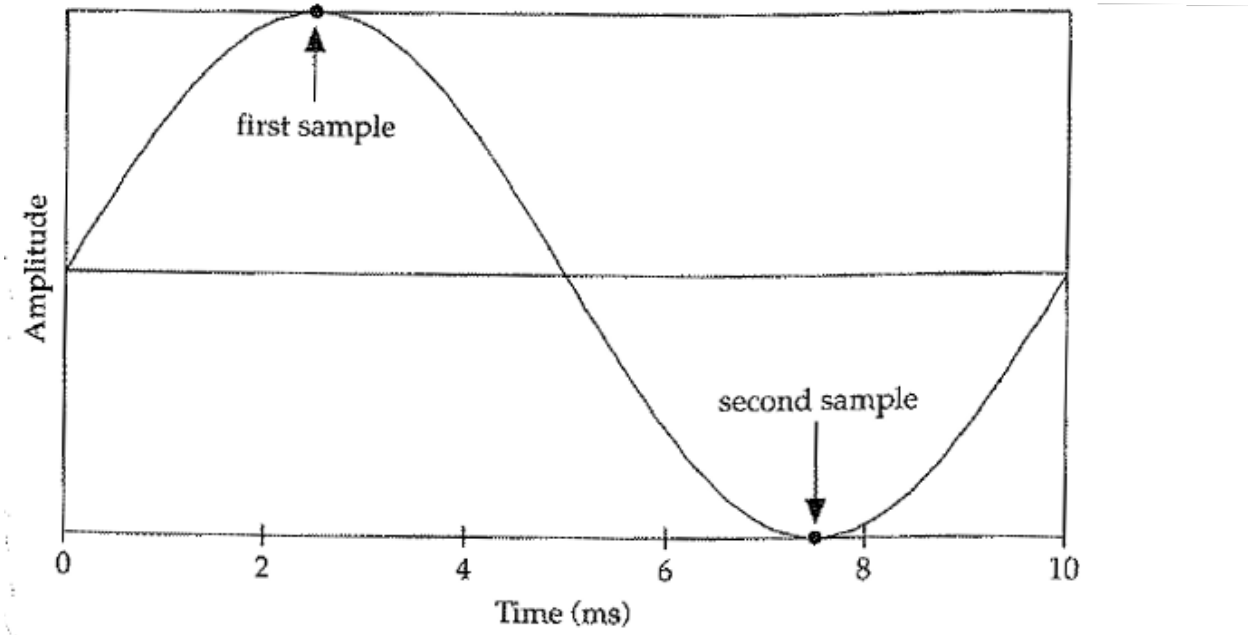


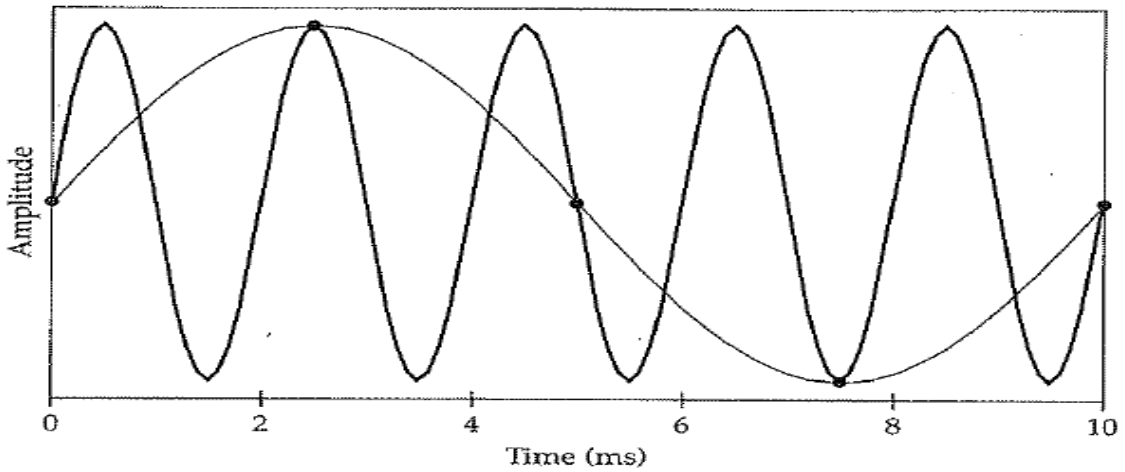
Figure 2.2 This figure illustrates why it takes two samples to capture the periodicity of a sine wave.

Conversión Analógica-Digital

- Balance entre muestreo y almacenamiento
  - Oído humano: máxima frecuencia ~20kHz
  - 44.1kHz: calidad de CD de audio
  - ¿Pero realmente necesitamos guardar 44k muestras por segundo si queremos almacenar habla?
  - Teléfono: [300 Hz, 4 kHz] (muestreo = 8 kHz).
  - Algunos sonidos del habla (fonos) tienen frecuencias mayores a 4 kHz: [s], [f].
  - Un tasa de muestreo de 16 kHz suele alcanzar para el procesamiento del habla.
- `sox --info IN.WAV`
  - `Sample Rate    : 16000`

Conversión Analógica-Digital

- Error de muestreo: aliasing.
  - Ejemplos ópticos: rueda, turbina, agua.
  - Ocurre cuando la señal contiene frecuencias mayores a la frecuencia de Nyquist (mitad de la tasa de muestreo).



  - Solución: Filtro anti-aliasing (ej.: *oversampling*).

Filtros Acústicos

- Bloquean sonidos de ciertas frecuencias.
  - Filtro pasa-bajos (*low-pass*): Bloquea las componentes con frecuencia mayor a un umbral.
  - Filtro pasa-altos (*high-pass*): Bloquea las componentes con frecuencia menor a un umbral.
  - Filtro pasa-banda (*band-pass*): Bloquea las componentes con frecuencia por fuera de una banda.

- `sox IN.WAV OUT.WAV sinc FREQ`
  - Ejemplos de valores para FREQ:

-4000	*low-pass*
4000	*high-pass*
3000-4000	*band-pass*

Conversión Analógica-Digital

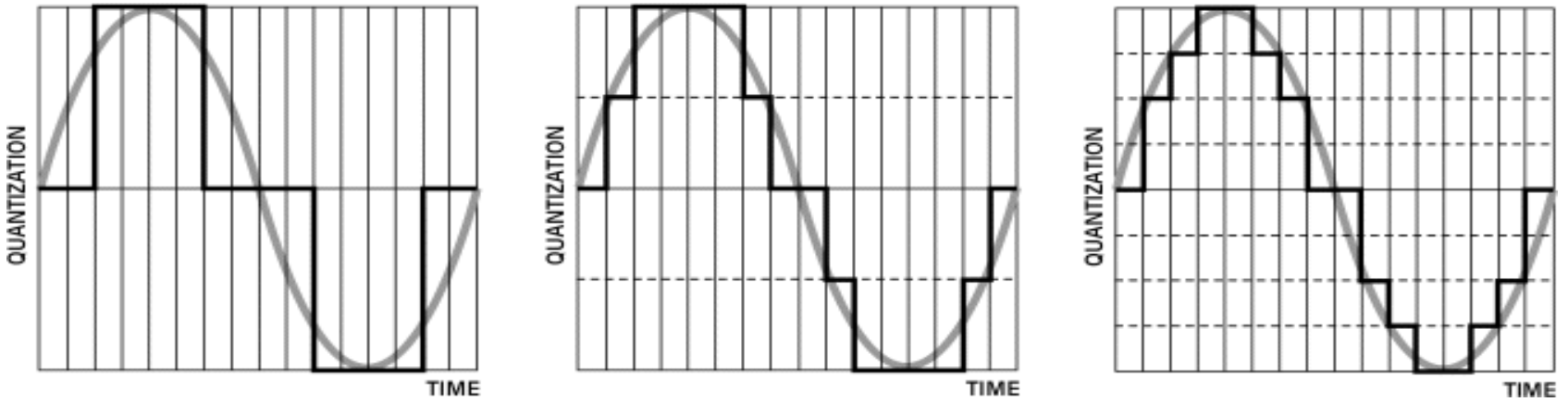
- Cuantización
  - Las computadoras no tienen precisión infinita.
  - ¿Cuán precisas deben ser las muestras de amplitud que tomamos de la señal?
  - Ej.: 8, 12, 16, 32 bits por muestra
    - 256, 4096, 65536, 4294967296 niveles de amplitud.

- `sox --info IN.WAV`
  - `Precision      : 16-bit`

- ¿Cuántos niveles es necesario distinguir?

Conversión Analógica-Digital

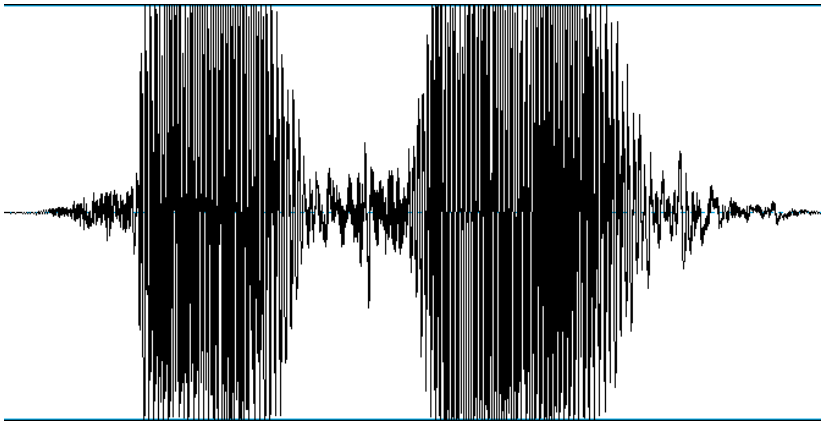
- Balance entre precisión de cuantización y almacenamiento.
  - Los errores de cuantización se reducen aumentando la precisión, pero a costa de más espacio.



  - La elección depende de los datos y de la aplicación.
  - Habla: 16kHz, 16bits suele ser razonable.

Conversión Analógica-Digital

- Problema derivado de la cuantización:
  - Saturación digital *(clipping)*: La amplitud de la señal es mayor al rango representable.



  - Solución #1: Redefinir los niveles de amplitud.
  - Solución #2: Disminuir la amplitud de la fuente.

Ejercicios

- Escuchar bach.wav (44.1kHz, 16bits)
  - Fragmento de *Partita en Sol Mayor* de J. S. Bach.
  - `play FILENAME`
- Bajar sampling rate a 16, 8, 4 kHz y comparar.
  - `sox IN.WAV -r FREQ OUT.WAV`
- Subir sampling rate de 4 kHz a 44.1kHz.
  - ¿Por qué no vuelve a estar en buena calidad?
- Aplicar filtro high-pass de 8kHz a:
  - Audio original a 44.1 kHz.
  - Audio resampleado a 16 kHz.
- Crear espectrogramas de los audios y comparar.
  - `sox IN.WAV -n spectrogram -o OUT.PNG`

Variables Acústicas: Intensidad

Intensidad

- Ejemplo: `hola.wav`
- Nivel de presión del sonido.
- Puede medirse en:
  - Unidades de presión (Pa).
  - Unidades de voltaje (V).
- Es más frecuente usar decibeles (dB).
  - Escala logarítmica relativa a un nivel de referencia.
  - $20 \log_{10} (P / P_0)$ dB
  - Nivel de referencia P_0 = 20 micropascales = 2×10^{-5} Pa
    - Umbral de audición humana: “silencio”.

Percepción de la Intensidad

Evento	Presión (Pa)	Intensidad (dB)
Silencio	2×10-5	0
Susurro	200	20
Oficina silenciosa	2K	40
Conversación	20K	60
Colectivo	200K	80
Subte	2M	100
Trueno	20M	120
DAÑO	200M	140

Cálculo de la Intensidad

- Sean x_i (i = 1 … N) muestras de la amplitud de (parte de) una señal.

- Amplitud RMS (*root mean square*) = $\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2}$

- Intensidad = $20 \log_{10} \frac{\mathrm{RMS}}{P_0}$

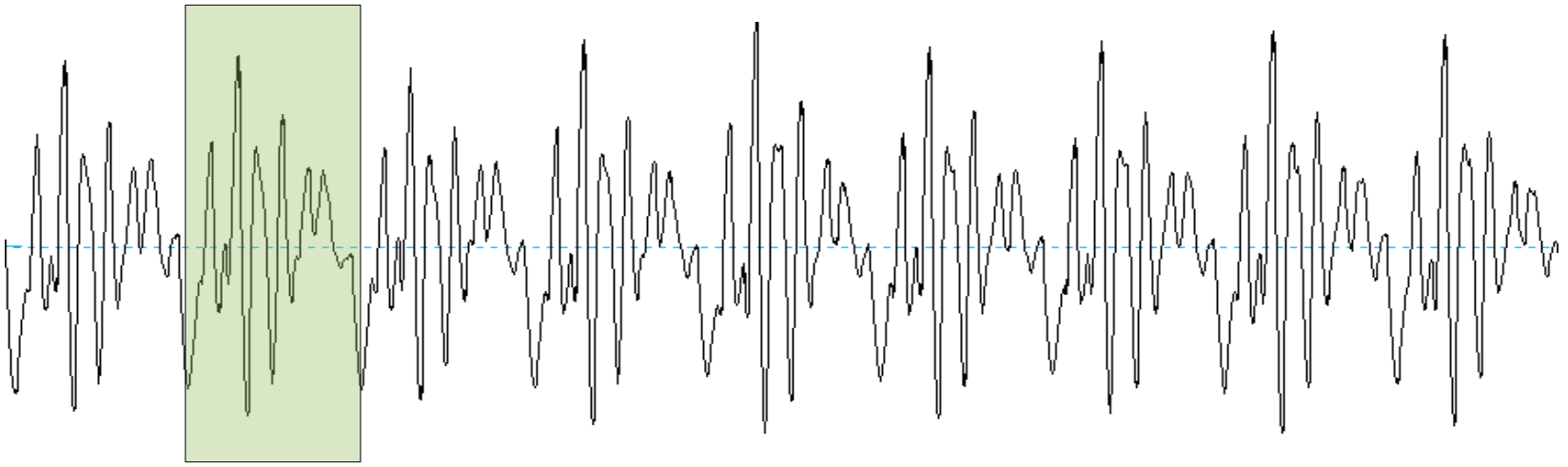
  donde P_0 es el nivel de referencia para el silencio.

Variables Acústicas: Nivel tonal (*Pitch*)

Percepción del Nivel Tonal *(Pitch)*

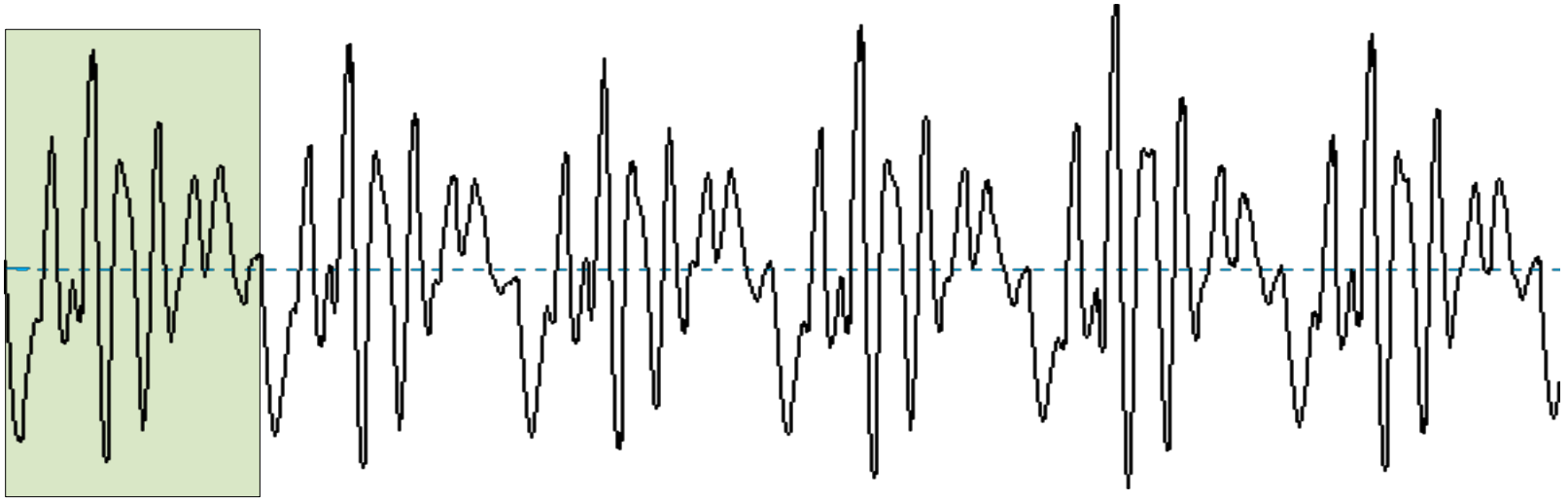
- Ejemplo: `a.wav`

- Frecuencia fundamental (F0): Frecuencia más baja de una onda periódica.
  - Tasa a la cual se repite el patrón complejo más chico.



Estimación del Tono *(Pitch Tracking)*

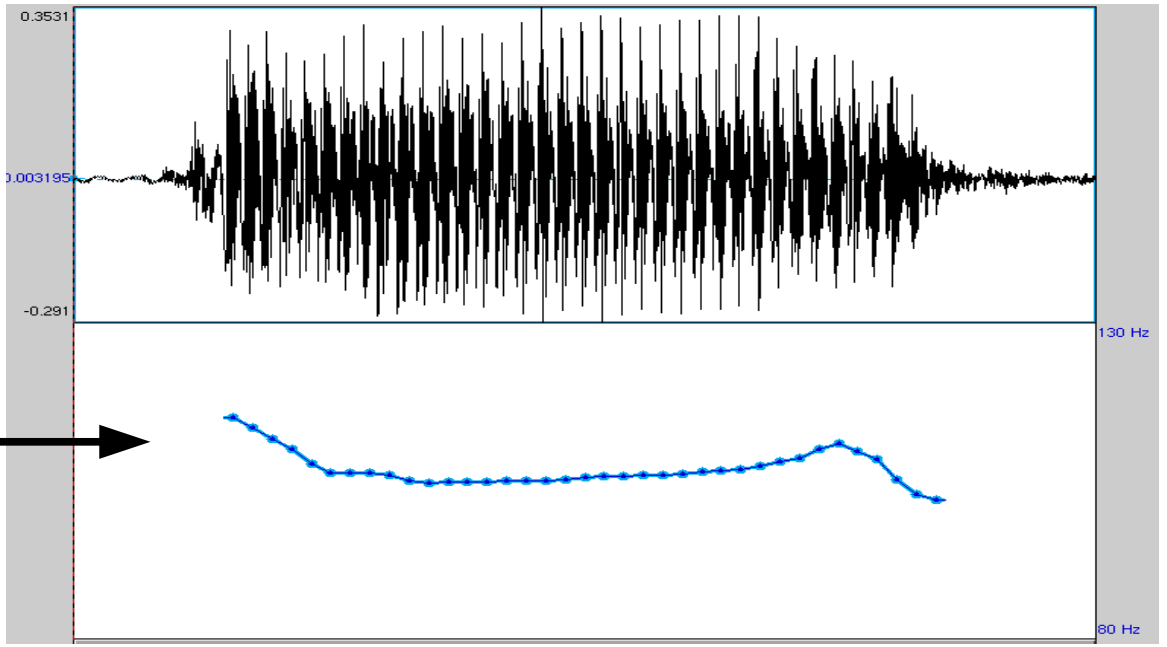
- Método de auto-correlación
  - Una onda periódica se correlaciona consigo misma, dado que cada ciclo se parece mucho al siguiente.
  - Deslizar una copia de la onda hacia la derecha, hasta encontrar un punto de máxima correlación. El offset encontrado corresponde a la duración del período (T). La inversa (1/*T*) es la *F0*.



Estimación del Tono *(Pitch Tracking)*

- Gráfico *F0* × tiempo = *Pitch track*
- Relacionado a la percepción del nivel tonal.

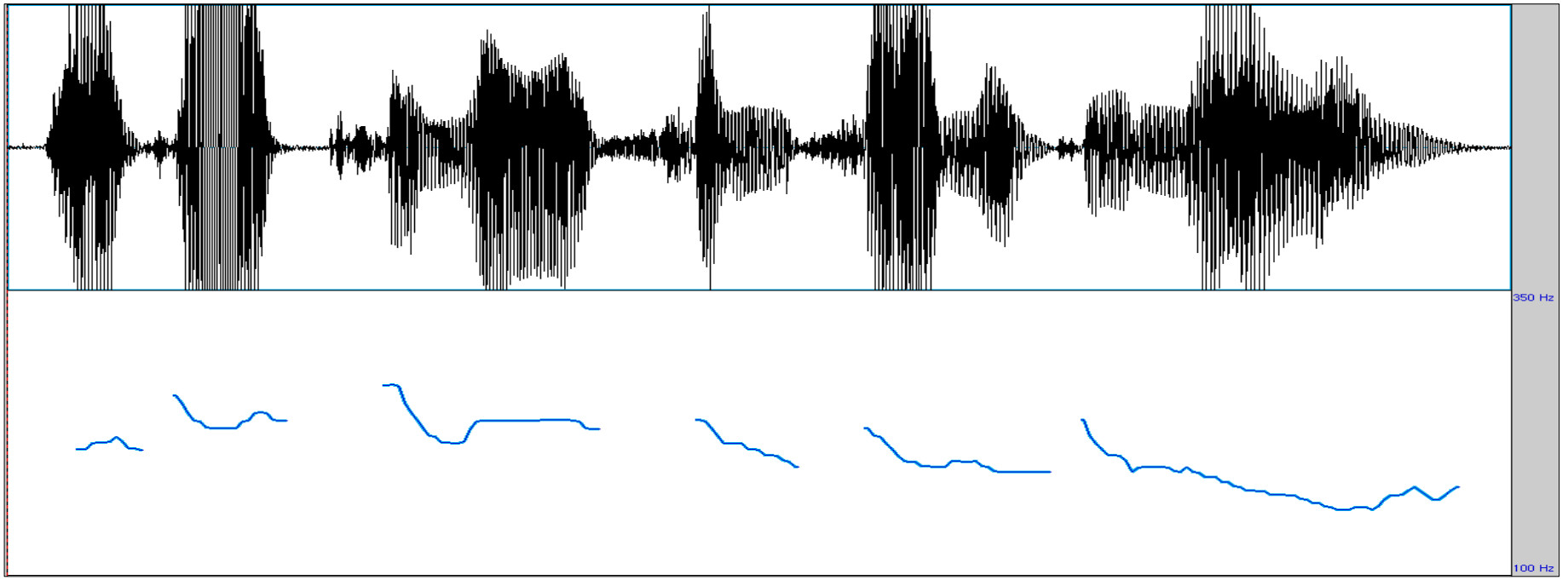
Pitch track →



- Rango: mujeres 100-500Hz, hombres 75-300Hz.

Estimación del Tono *(Pitch Tracking)*

- Funciona bien para fonos sonoros: vocales, [m], [b], [l], etc. (ondas periódicas compuestas).
- Funciona mal para fricativas, oclusivas sordas, etc.: [s], [f], [t], [k], [tʃ] (sonidos aperiódicos).



Praat

En una terminal, ejecutar:

- **`praat`**
- Ignorar warnings en la terminal.
- Cerrar la ventana “Praat Picture”. No la vamos a usar.

Intensidad y nivel tonal en Praat

Ejercicio 1:

- Abrir **`/home/ph-30/clase02/lamparita.wav`**
- Hacer click en *View & Edit*.
- Menú *Intensity*
  1) Activar *Show intensity*. En *Intensity Settings* poner 50-100dB
  2) Seleccionar un segmento de habla.
  3) Click en *Intensity Listing* y en *Get intensity*.
- Menú *Pitch*
  1) Activar *Show pitch*. En *Pitch Settings* poner 75-500 Hz.
  2) Seleccionar un segmento de habla.
  3) Click en *Pitch listing* y en *Get pitch*.
- Para la primera y segunda /u/ (en *"subí"* y *"un"*), estimar a mano su F0 usando solamente la forma de onda. Comparar con los cómputos de Praat.

Pitch track vs. Espectrograma

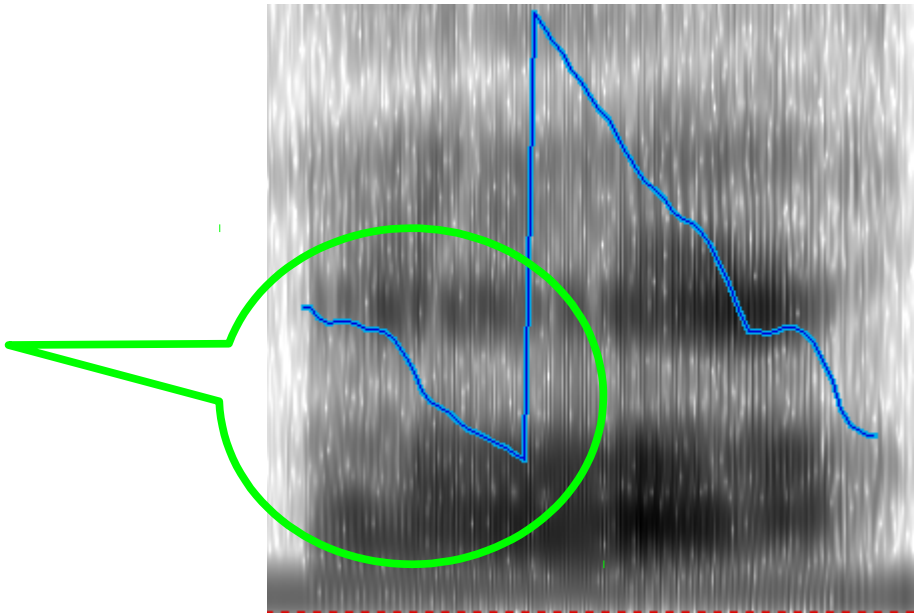
Ejercicio 2:

- Abrir **`/home/ph-30/clase02/a.wav`**
- Escuchar (es un sonido */a/* largo, subiendo y bajando el tono, primero de grave a agudo y luego al revés).
- Editarlo.
- Visualizar sólo el espectrograma.
  - ¿Cuál es el eje de referencia del espectrograma?
  - En *Spectrogram settings* poner rango = 0-5000 Hz.
  - ¿Qué ocurre con el espectrograma cuando el tono sube/baja?
- Visualizar sólo el Pitch track.
  - ¿Cuál es el eje de referencia del pitch track?
  - En *Pitch settings* poner rango = 150-500 Hz. ¿Qué ocurre con el pitch track?
  - Repetir con 50-150 Hz.

Errores de pitch halving y doubling

- ¿Qué ocurre con el pitch track?
  - Si el tono debería ser 150, pero marca 75: **pitch halving**.
  - Si el tono debería ser 150, pero marca 300: **pitch doubling**.
  - Errores en la estimación del tono (método de auto-correlación).
  - Usar un rango tonal adecuado ayuda a prevenir estos errores.

Ejemplo de pitch halving



Scripting

- Desde la historia de la sesión:
  - *Praat → New Praat script → Edit → Paste history*
  - Se puede ejecutar todo o parte del script.
- Escribir scripts puede ser complicado.
- Modificar scripts existentes.
  - https://lennes.github.io/spect/
  - http://uk.groups.yahoo.com/group/praat-users/
  - http://www.linguistics.ucla.edu/faciliti/facilities/acoustic/praat.html

Praat scripts

- En una terminal, ejecutar los siguientes comandos:
  - **`cd /home/ph-30/clase02/`**
  - **`praat duration.praat lamparita.wav`**

    Devuelve la duración del archivo made1.wav, en segundos.
  - **`less duration.praat`**

    Muestra el archivo duration.praat.

Praat scripts: duration.praat

```
# Praat script que toma como input un archivo de audio (.wav)
# y devuelve su longitud en segundos.

# Argumento: archivo de audio.
form Input parameters for sound length
  word file .wav
endform

# Los objetos 'long sound' no se levantan a memoria.
Open long sound file... 'file$'

# Calcula la duracion.
dur = Get duration

# La imprime y termina.
echo 'dur:4'
```

Praat scripts: acoustics.praat

- En la terminal de Linux:
  - **pwd**

    Directorio actual: /home/ph-30/clase02/

  - **praat acoustics.praat lamparita.wav 0.5 1.0 75 500**

    Computa un conjunto de mediciones acústicas para made1.wav entre 0.5 y 1.0 segundos, usando rango tonal 75-500Hz.

```
SECONDS:0.500                duración
F0_MAX:341.629               máxima f0 (Hz)
F0_MIN:247.602               mínima f0
F0_MEAN:311.274              media f0
F0_MEDIAN:317.807            mediana f0
F0_STDV:22.470               desvío estándar f0
ENG_MAX:83.361               máxima intensidad (dB)
ENG_MIN:46.801               mínima intensidad
ENG_MEAN:69.706              media intensidad
ENG_STDV:11.355              desvío estándar intensidad
VCD2TOT_FRAMES:0.532         proporción frames sonoros
```

Intensidad y nivel tonal en Praat

Ejercicio 3:

- Abrir el archivo **`hola.wav`** en Praat y tomar nota del comienzo y final de la /o/ en cada instancia de la palabra “hola”. ¡Sean precisos!

- Correr acoustics.praat sobre cada /o/:
  - **`praat acoustics.praat a.wav comienzo fin minpch maxpch`**
  - donde (minpch,maxpch) = (50,300) para hombres, o (75,500) para mujeres.
  - Comparar la intensidad en cada caso.

Intensidad y nivel tonal en Praat

Ejercicio 4:

- Crear una onda periódica compleja formada por dos ondas simples de 400 y 500 Hz.
  - *New > Sound > Create sound from formula…*
  - Formula: sin(2*pi*400*x) + sin(2*pi*500*x)
- Visualizar la forma de onda y computar F0 a mano.
- Visualizar el pitch track: Pitch > Show pitch, y comparar con el resultado del punto anterior.

Más ejercicios:

- ¿Dónde producimos el tono?
  Grabarse diciendo las notas musicales *do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, *do* en el tono correspondiente (aprox), pero **susurrando**. Editar el archivo y analizar el pitch track.

- Grabar las 5 vocales, como en el archivo “aeiou.wav”.
  - Grabar como aeiou-apellido.wav y traer la próxima clase.

Procesamiento Digital de Señales Resumen

- Conversión analógica-digital, tasa de muestreo, precisión, teorema Nyquist-Shannon, aliasing, cuantización, saturación filtros.
- Variables acústicas: intensidad (dB), nivel tonal o *pitch* (Hz).
- Herramientas: Praat y sox.