

# Procesamiento Digital de Señales

## Introducción general



# Introducción

## Señales

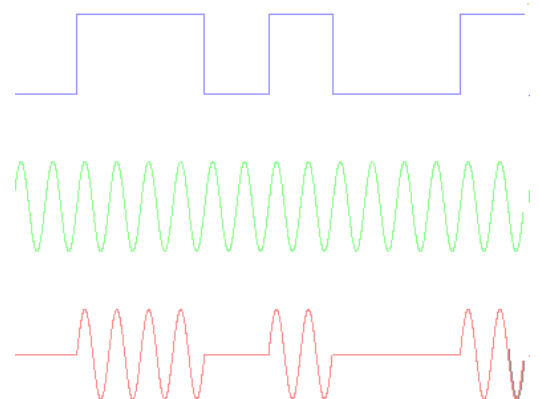
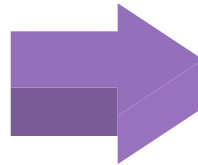
*que transportan*

## Información

*y son transformadas por*

## Sistemas

**Mundo Real**



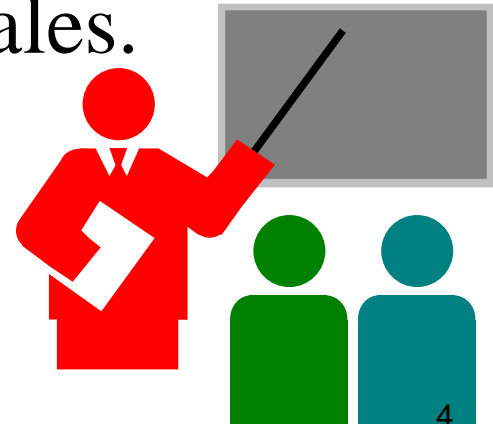
# Introducción a las Señales



# Temas a tratar

- Definiciones básicas de señales.
  - Clasificación de las señales.
  - Operaciones elementales sobre y entre señales.
- 

- Contexto de la teoría de la señal.
- Tipos de procesamientos más usuales.



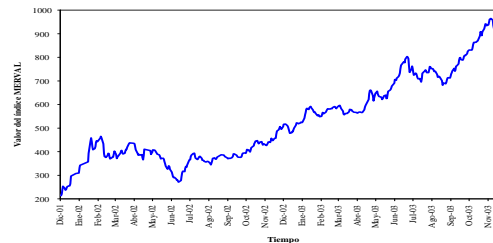
# Objetivos

- **Operar con señales** discretas y reconocer las características y propiedades generales de las mismas.
- Aprender a aplicar en **ejemplos sencillos** las herramientas y conceptos en estudio.
- Motivar el interés mediante **ejemplos concretos de aplicación**.
- Generar y manipular señales digitales en forma de **vectores** por medio de un **lenguaje de programación**.

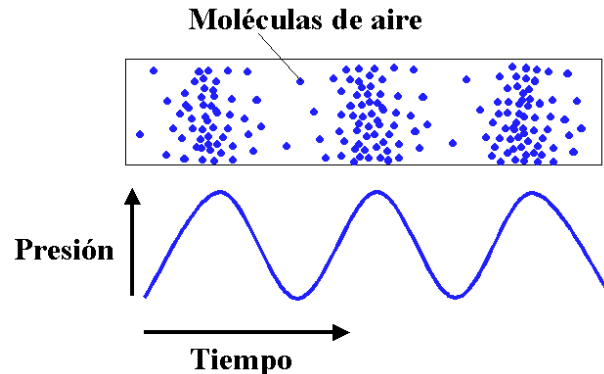
# Señal: Definiciones técnicas

- Es una variable física, de la naturaleza que sea, que proporciona **información** sobre el estado o evolución de un **sistema**.

$$H(a, t)$$



- Es la **representación** física de la **información** que transporta desde su fuente hasta su destino.



Podemos ver el mundo como...

Señales

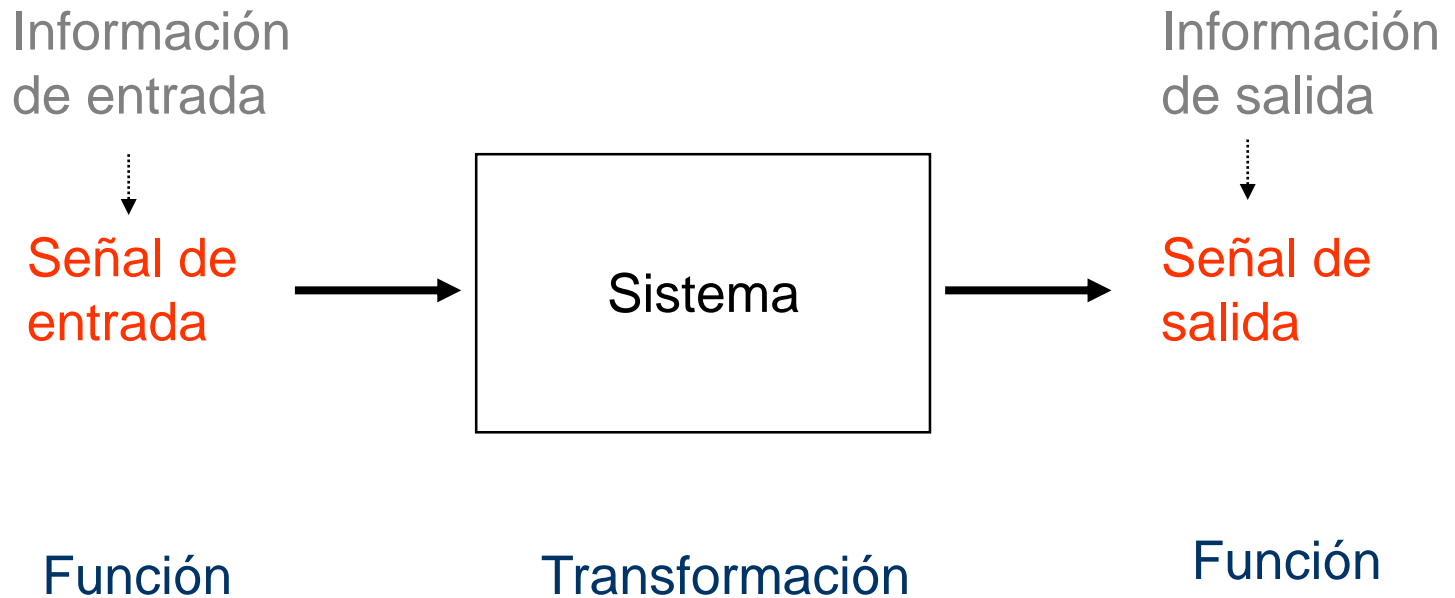
*que transportan*

Información

*y son transformadas por*

Sistemas

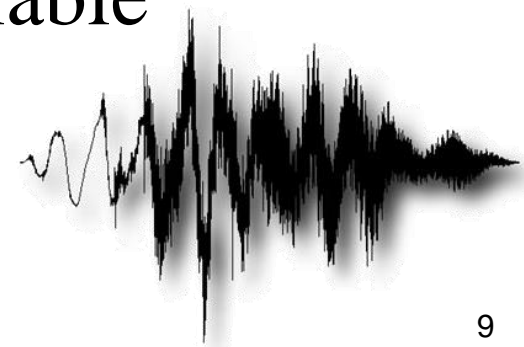
# Podemos ver el mundo como...





# Observaciones

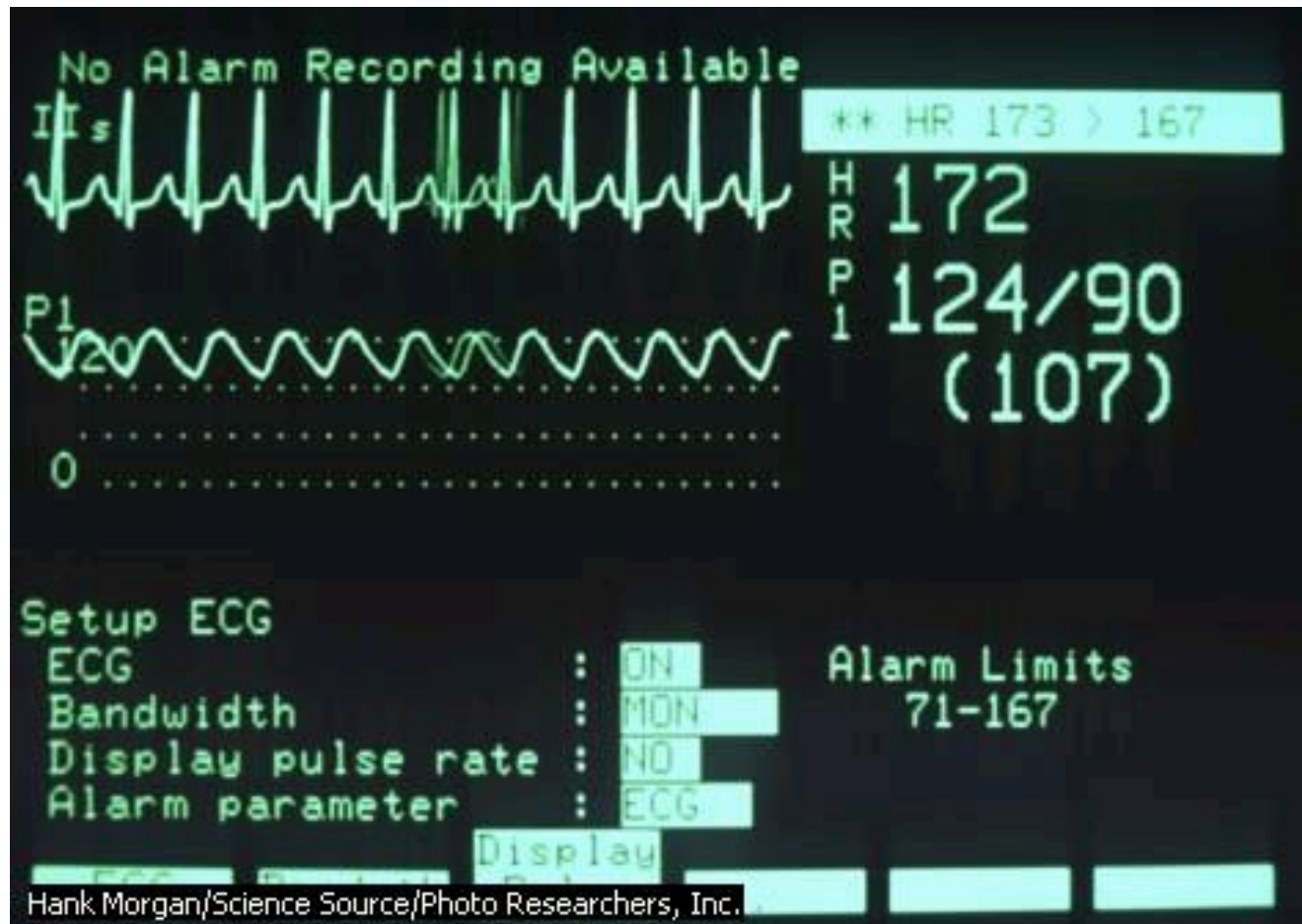
- Aunque las señales pueden ser representadas de muchas maneras, en cualquier señal la **información** está contenida en un **patrón de variaciones de alguna magnitud**.
- Las señales son representadas matemáticamente como **funciones** de una o más variables independientes.
- Generalmente se toma como variable independiente al tiempo.



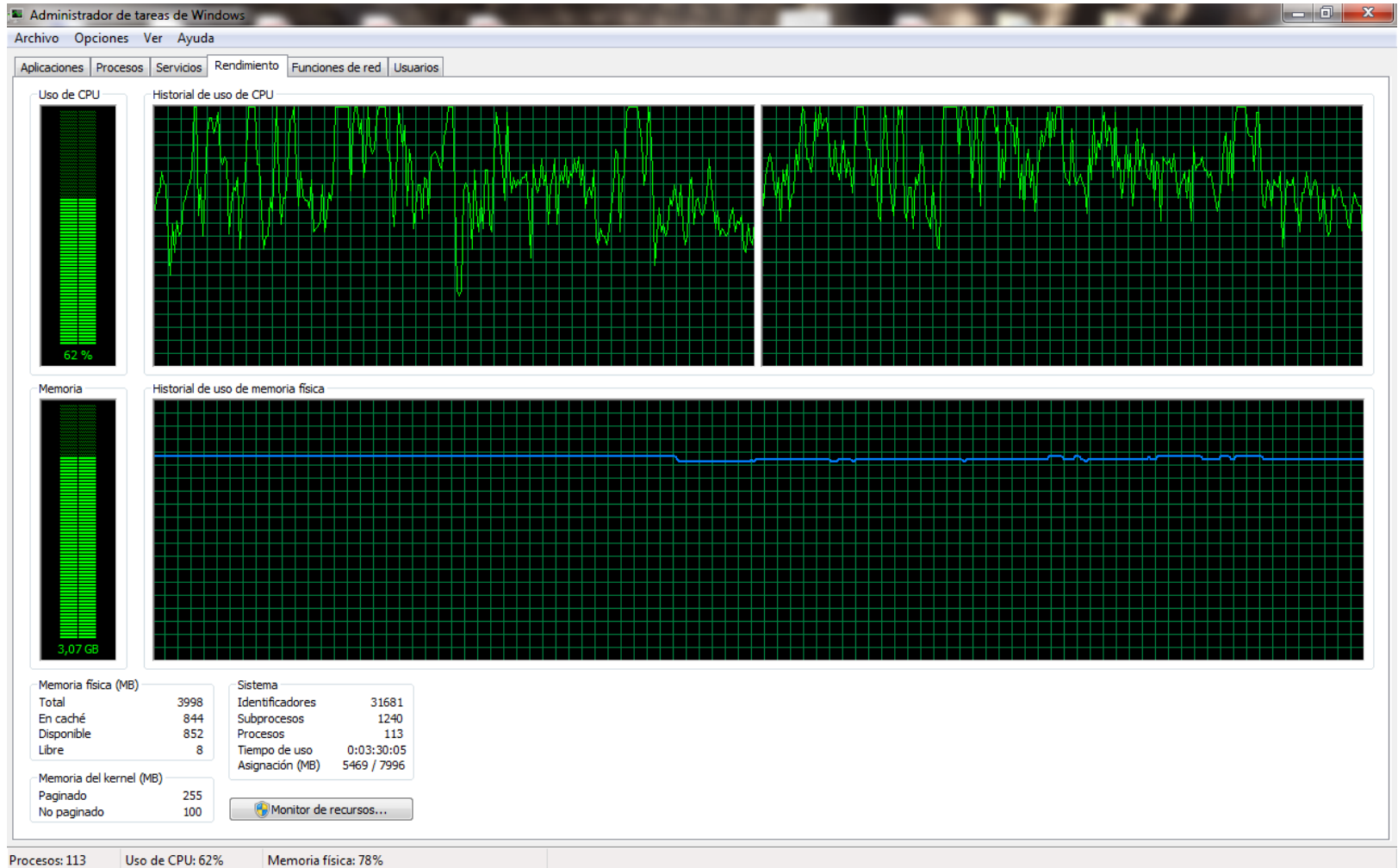
# Ejemplo: Evolución del índice Merval



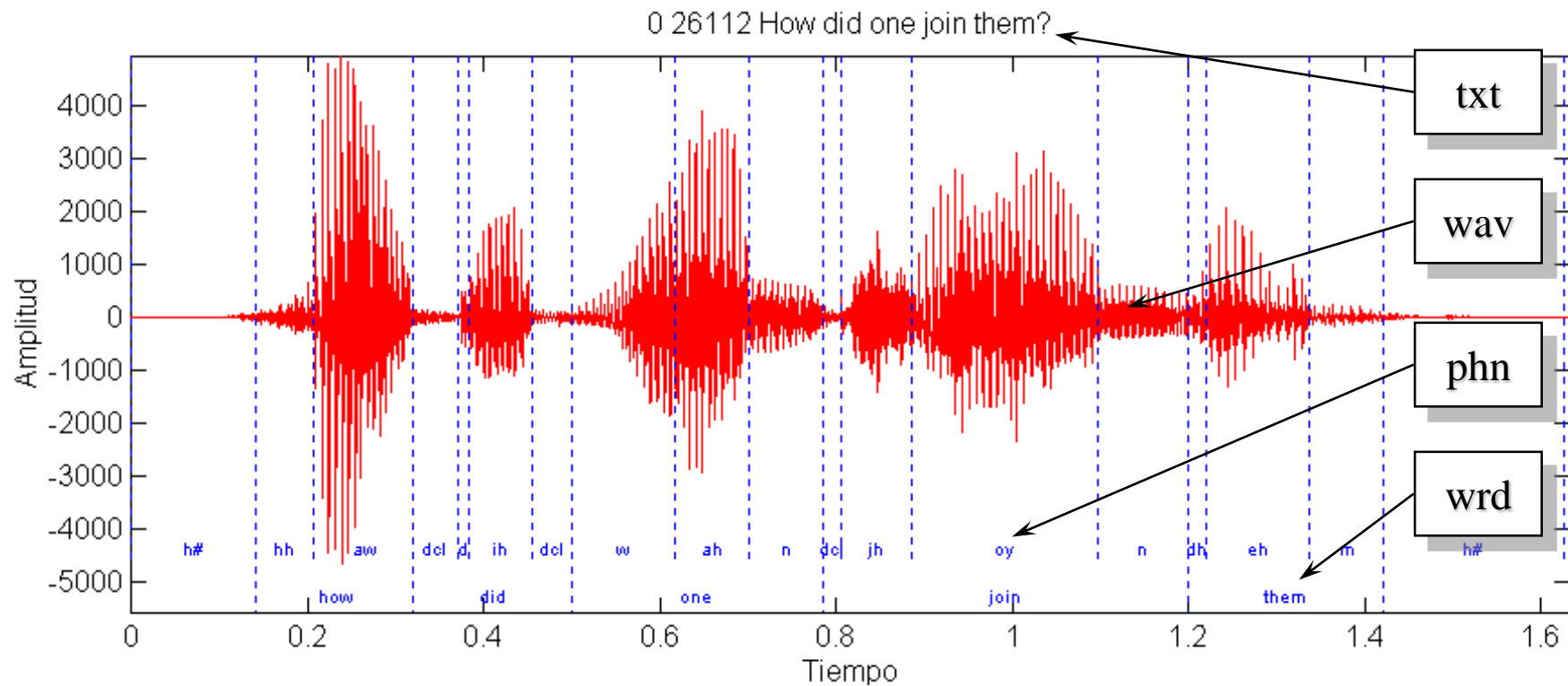
# Ejemplo: Señal de ECG y Presión



# Ejemplo: Uso de CPU y Disco

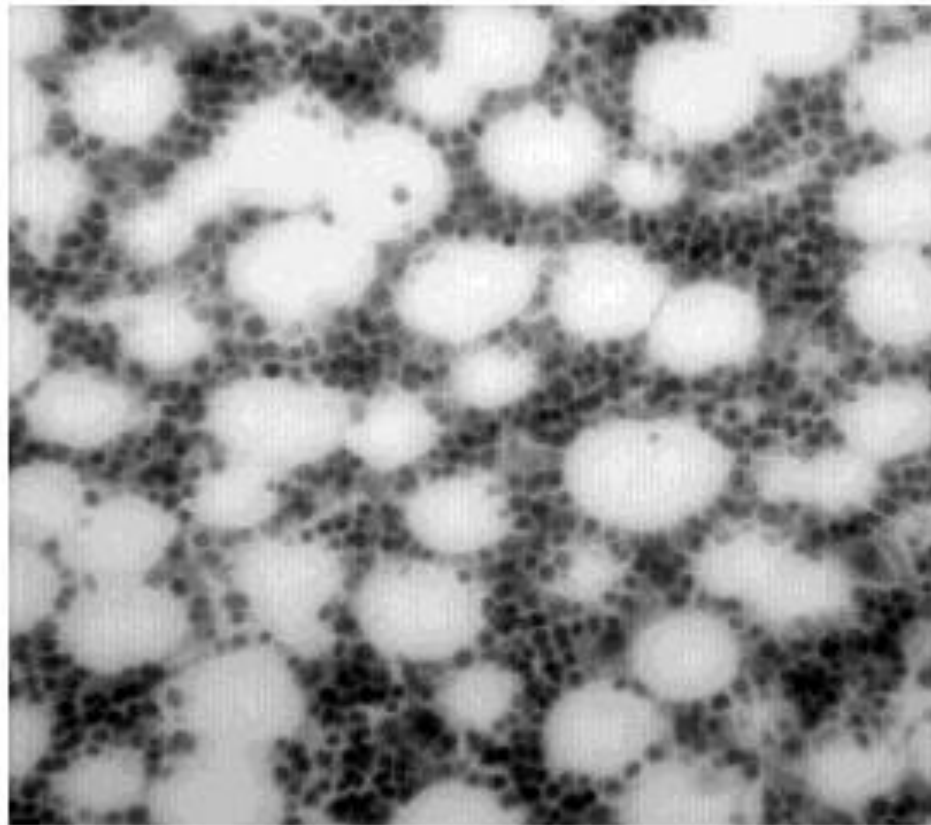


# Ejemplo: Señal de Voz

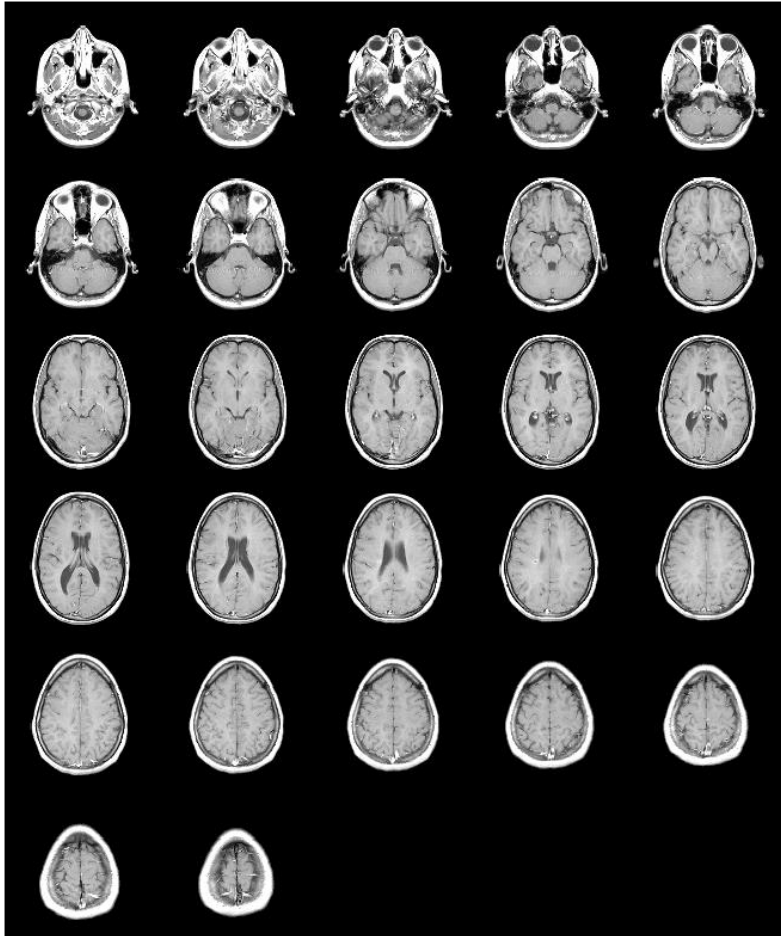


# Ejemplo: Imágenes médicas

bonemarr.tif

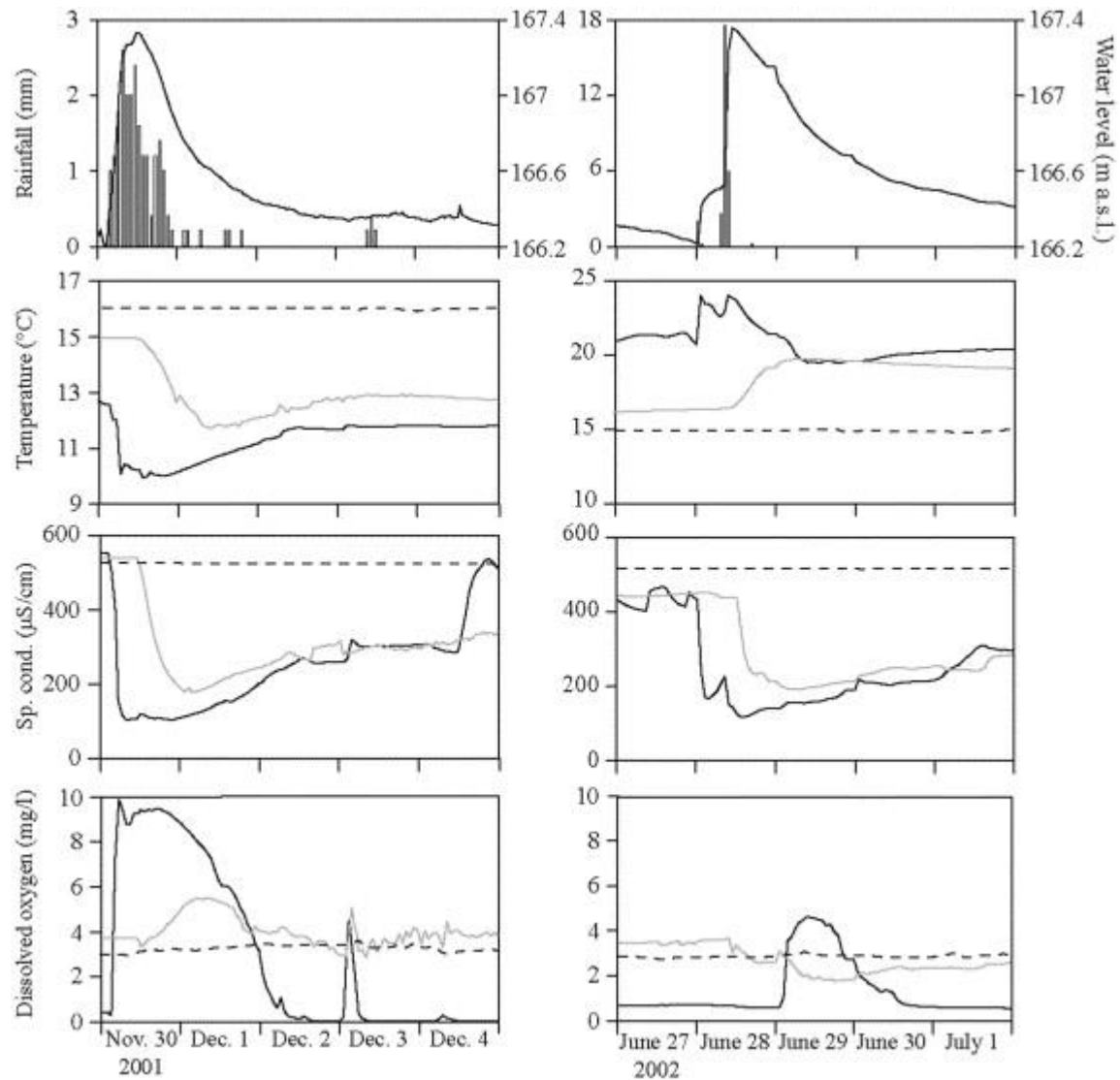


# Ejemplo: Imágenes médicas



- TAC de cráneo
- La reconstrucción da una señal 3D

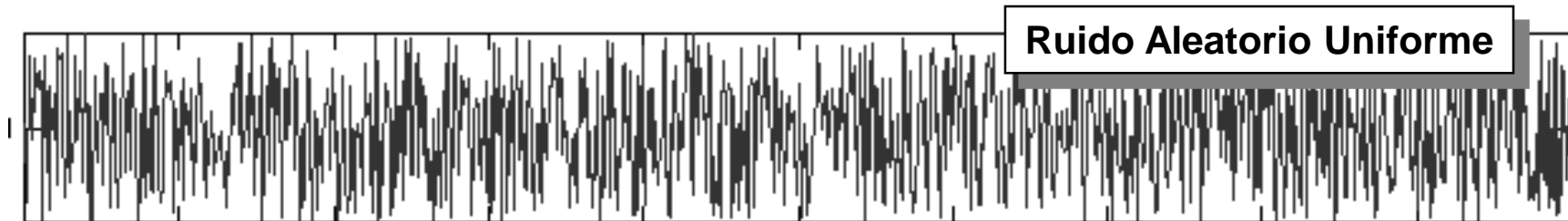
# Ejemplo: Señales hídricas...





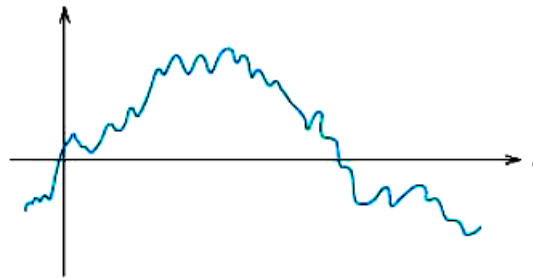
# Ruido

- Llamamos ruido a cualquier fenómeno que perturba la percepción o interpretación de una señal.
- Comparte la misma denominación que los efectos acústicos análogos.
- Generalmente aditiva, pero puede ser también: multiplicativa, convolucional, etc



# Dicotomía Señal-Ruido

- La diferencia entre señal y ruido es artificial, y depende solamente del criterio del observador.



## Relación señal-ruido

- La **relación señal-ruido** (S/N o SNR) es una medida de cuanto una señal está contaminada por ruido.
- Puede ser expresada como la razón  $\xi$  entre la potencias de la señal  $P_s$  y la potencia del ruido  $P_r$ :

$$\xi = P_s / P_r$$

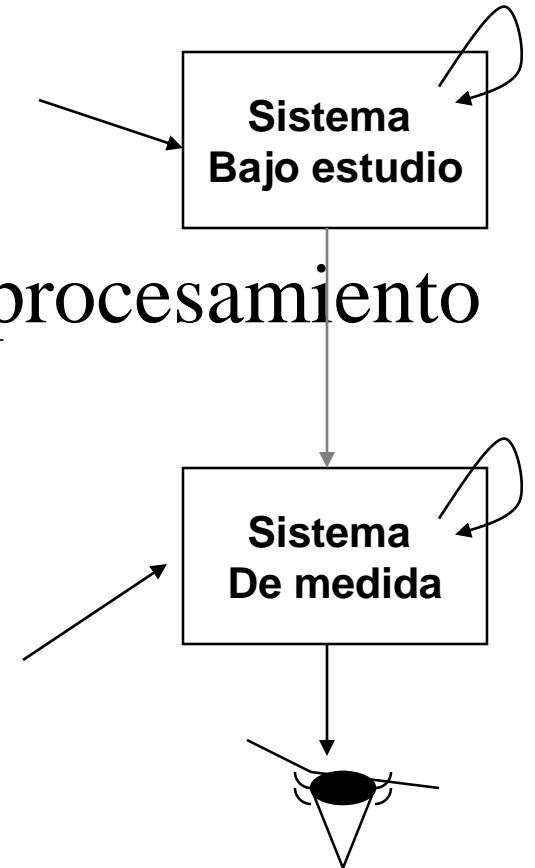
$$\xi_{\text{ dB}} = 10 \log(P_s / P_r) \text{ dB}$$

# Procesamiento de señales con ruido

- Normalmente un sistema trata correctamente a una señal cuando el nivel útil de la misma es más alto que el nivel de ruido.
- Algunos métodos de procesamiento más elaborados permiten trabajar con pequeñas SNR, gracias a la información acerca de propiedades de la señal o del ruido conocidas a priori.

# Ubicación de las fuentes de ruido

- Relacionadas con el sistema bajo estudio:
  - Intrínsecas.
  - Asociadas.
- Relacionadas con el sistema de procesamiento o medida:
  - Internas.
  - Externas.

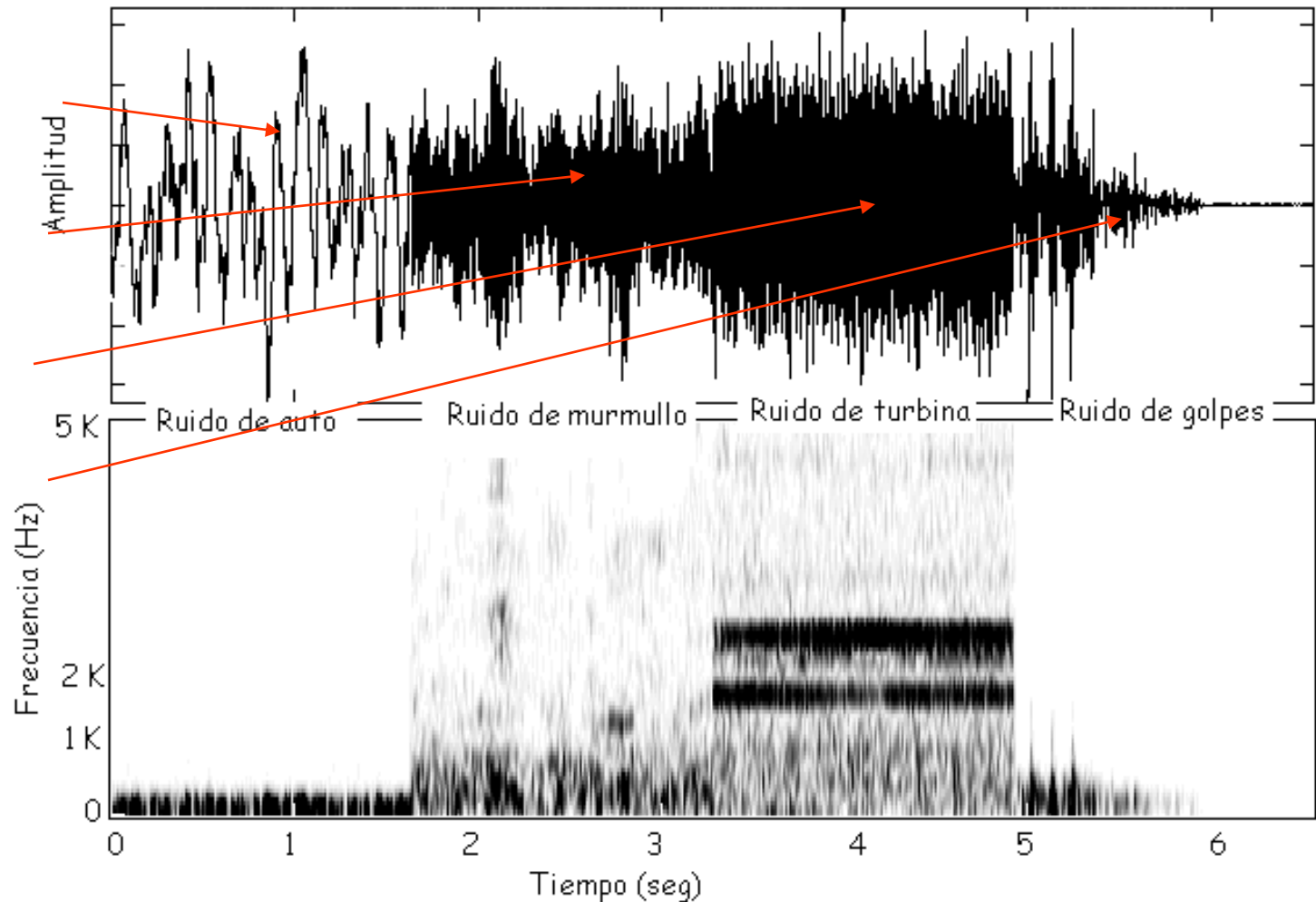


# Tipos de ruido

- Hay tantos tipos de ruido como señales, por lo tanto vale la misma clasificación.
- Es un error muy común suponer que el ruido es siempre aleatorio.
- Un tipo de ruido aleatorio muy utilizado es el ruido blanco...

# Ejemplos: ruido acústico

- Automóvil
- Murmullo
- Turbina
- Máquina



# Señales Físicas y Modelos Teóricos (funciones)...

- Una señal experimental es la imagen de un proceso físico, y por lo tanto debe ser físicamente realizable.

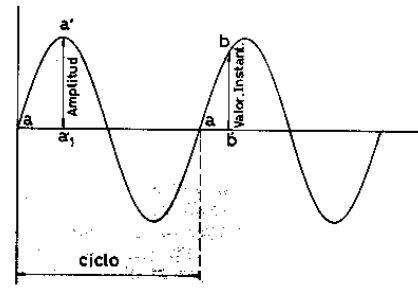
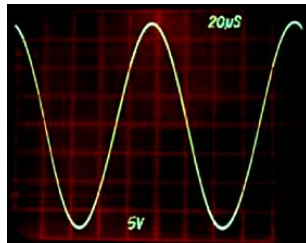
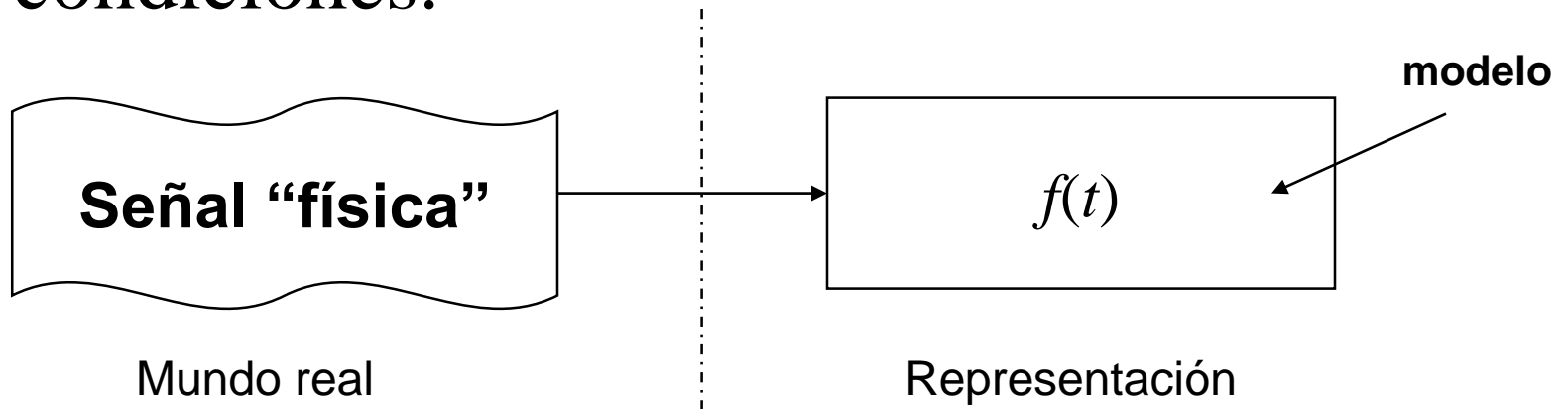


# Señales Físicas y Modelos Teóricos (funciones)...

- Su energía debe ser finita.
- Su amplitud es necesariamente limitada.
- Esta amplitud es una función continua (la inercia del sistema prohíbe discontinuidad).
- El espectro de la señal es acotado (tiende a cero cuando la frecuencia tiende a infinito).

# Señales Físicas y Modelos Teóricos (funciones)...

- Cuando se elige una función para representar en forma **simplificada** una señal física, no es necesario que el modelo cumpla con esas condiciones.



# Clasificación de Señales

## Criterios

# Criterios de Clasificación de Señales

- Morfológico
- Fenomenológico
- Energético
- Dimensional
- Espectral
- Otros...

# Clasificación Morfológica

- Basada en el carácter continuo o discreto de la amplitud de la señal o de la variable independiente.

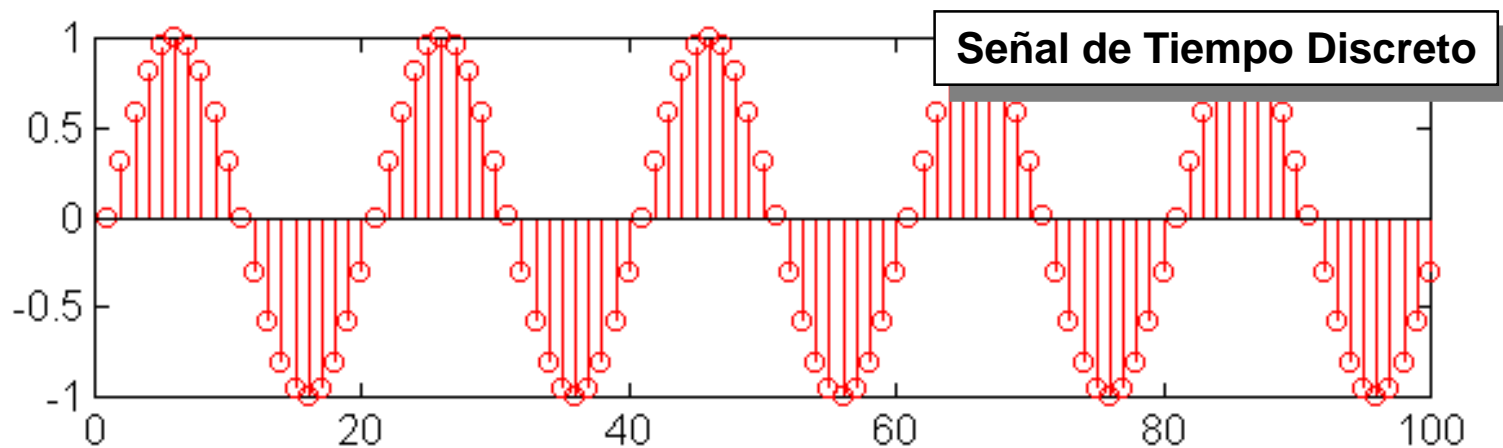
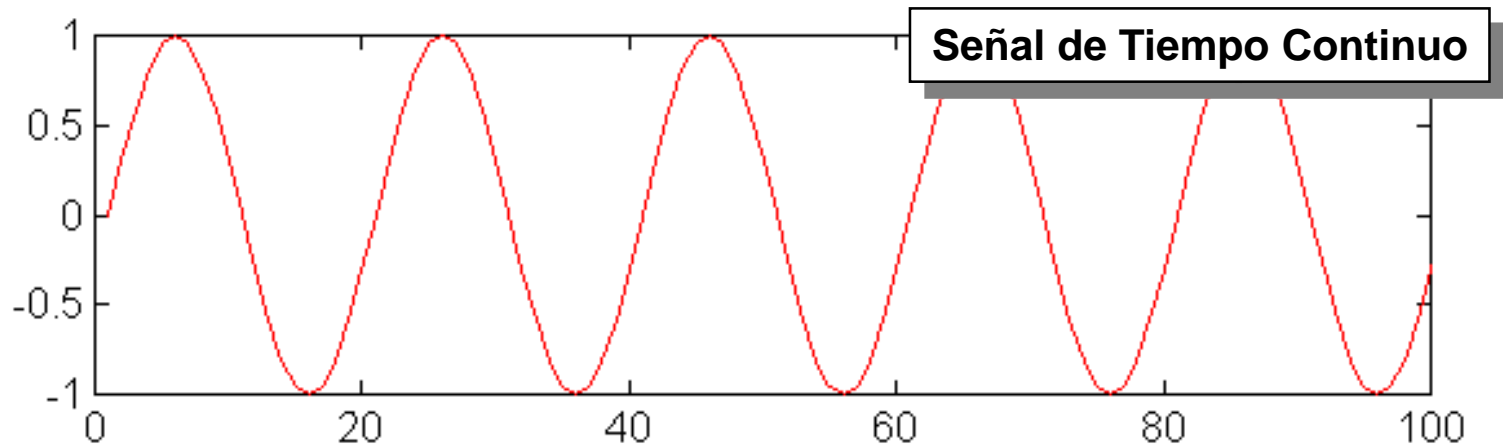
# Señales Discretas y Continuas en el dominio temporal

- El eje temporal es discreto si consiste en un conjunto finito o numerable de instantes de tiempo
- Una señal cuyo eje temporal es discreto (sólo está definida para esos instantes) se denomina señal de tiempo discreto.

# Señales Discretas y Continuas en el dominio temporal

- El eje temporal es continuo si consiste en un intervalo Real o Complejo. Este intervalo puede ser además infinito o semi-infinito.
- Una señal cuyo eje temporal es continuo se denomina señal de tiempo continuo.

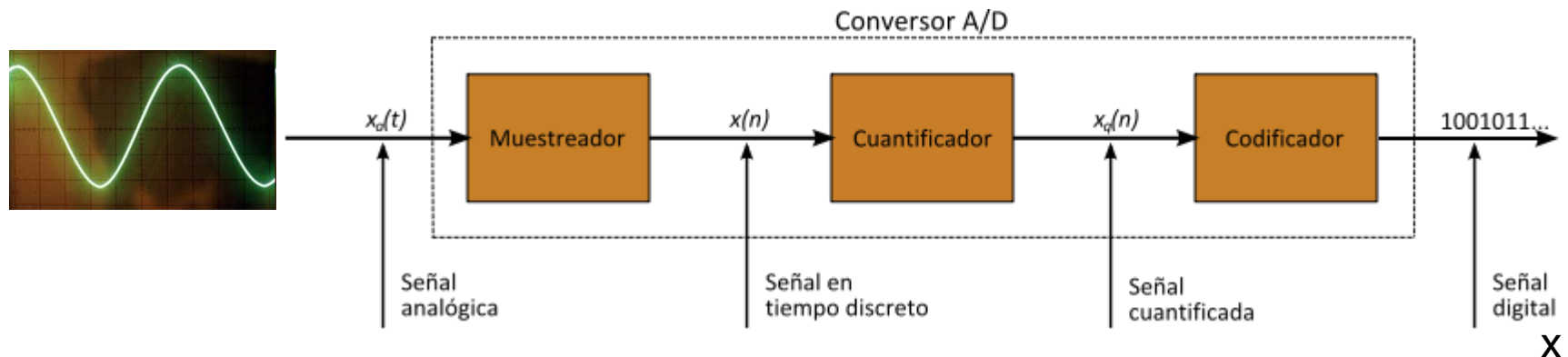
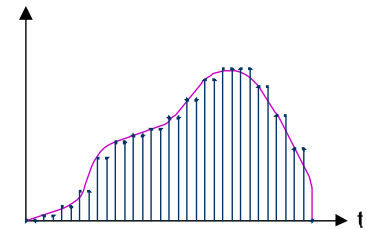
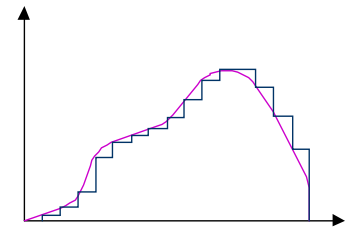
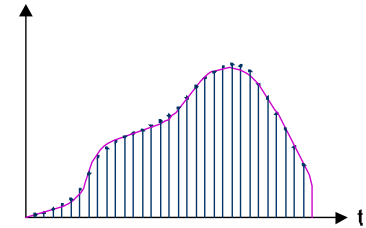
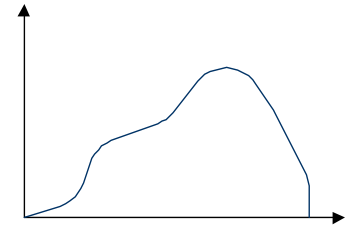
# Ejemplos





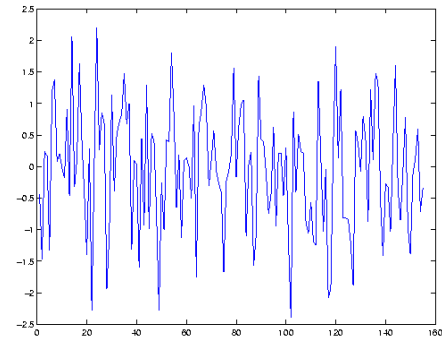
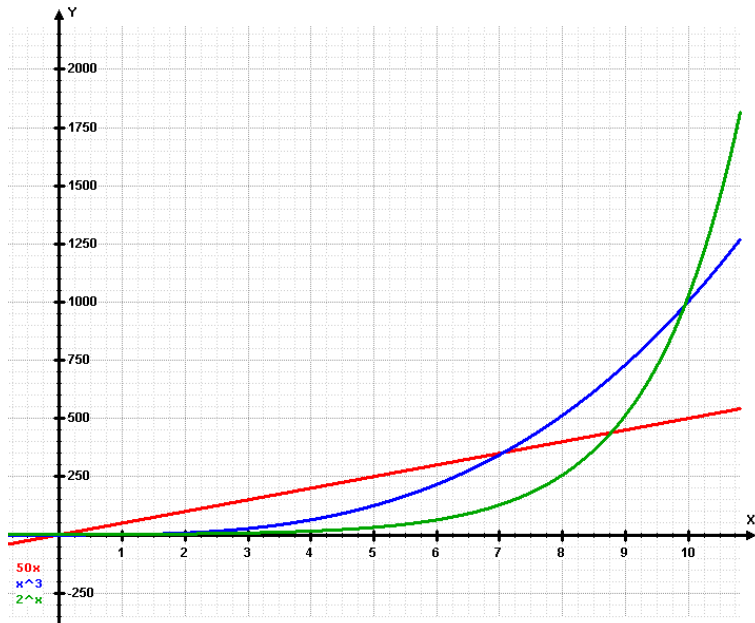
# Clasificación Morfológica

- Señales Analógicas
- Señales Muestreadas
- Señales Cuantizadas
- Señales Digitales



# Clasificación Fenomenológica

- Basada en la posibilidad de predecir o no la evolución “exacta” de la señal a lo largo del tiempo.



# Clasificación Fenomenológica

- Señales Determinísticas
  - Su evolución es **perfectamente** predecible por un modelo matemático.
  - Los próximos valores de la señal pueden ser **determinados exactamente** si son conocidas ciertas condiciones anteriores (o iniciales).
- Señales Aleatorias o Estocásticas
  - Su comportamiento es **impredecible** y sólo pueden describirse mediante observaciones y modelos **estadísticos**

# Aleatorio vs Determinístico

- La palabra **aleatorio** se usa para expresar una **aparente** carencia de propósito, causa, u orden.
- El resultado de todo proceso aleatorio no puede **determinarse** en ningún caso antes de que este se produzca.
- Sin embargo, la aleatoriedad no debe confundirse con la **impredecibilidad práctica**.

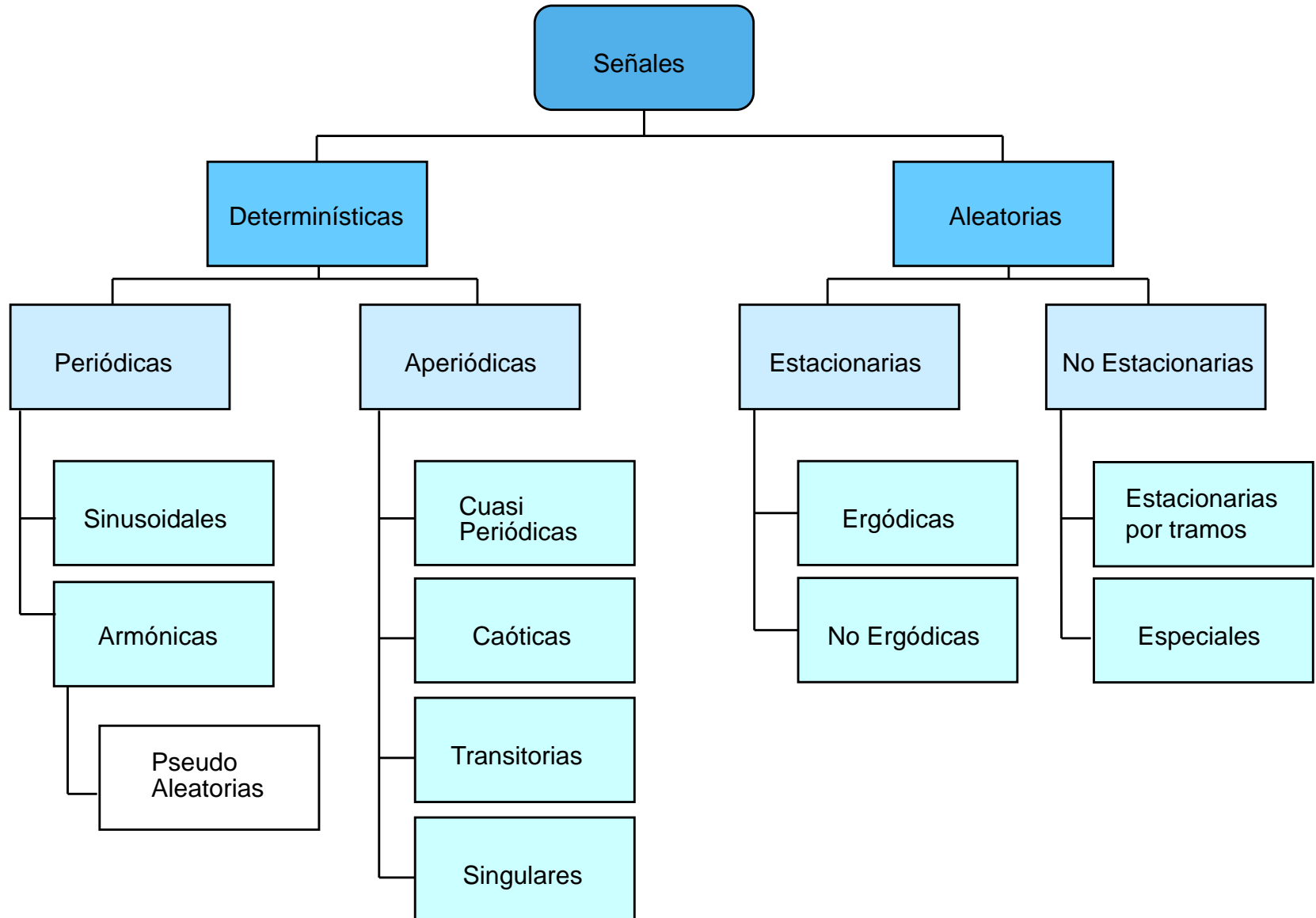
# Dilbert



“El azar es la medida de nuestra ignorancia”  
(Henri Poincaré, 1854 – 1912)

Por lo tanto no puede ser la explicación científica de ningún fenómeno...

# Clasificación Fenomenológica



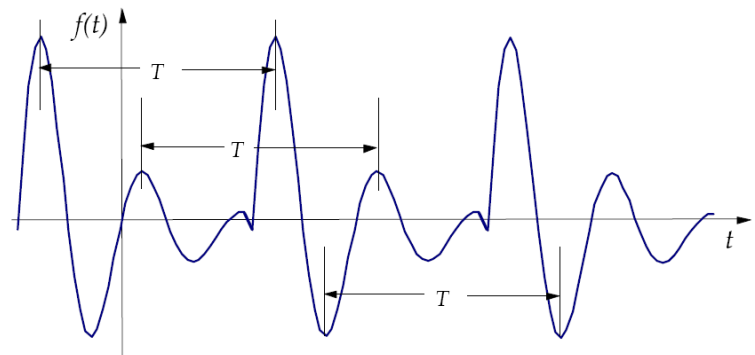
# Señales Periódicas

- Una señal continua es periódica si y sólo si

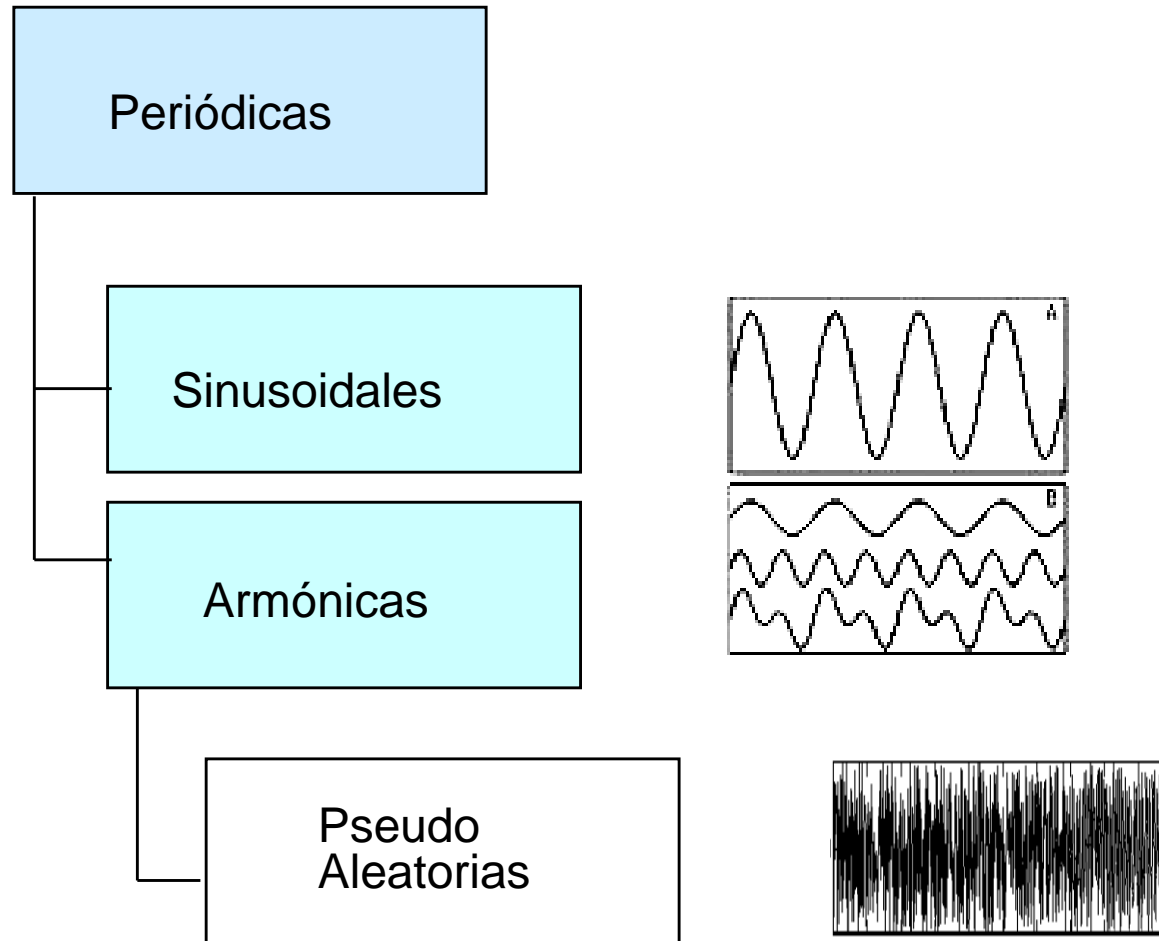
Caso Continuo:  $x(t + T) = x(t)$  para todo  $t \in (-\infty, \infty)$

Caso Discreto:  $x(n + N) = x(n)$  para todo  $n \in (-\infty, \infty)$

- El menor valor positivo de  $T$  o  $N$  para el que se cumple cada una de las ecuaciones anteriores se llama período de la señal.



# Clasificación Fenomenológica





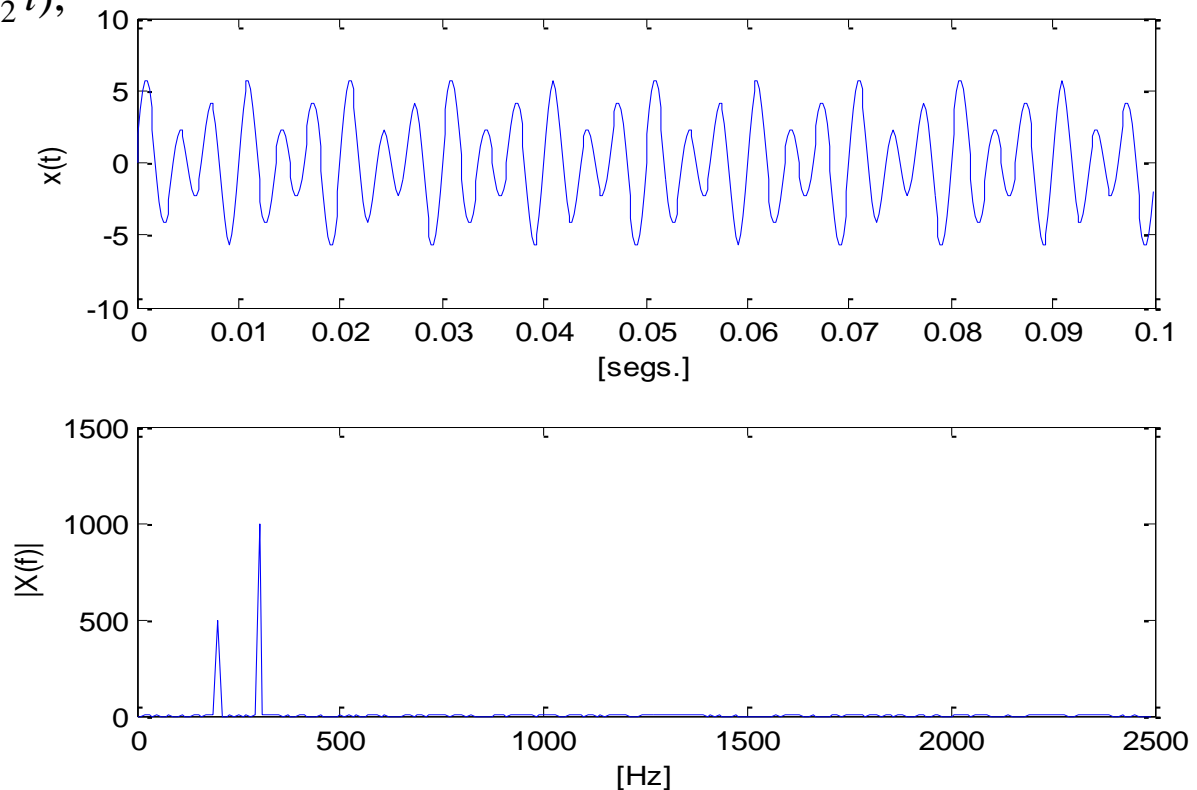
# Señales Periódicas

- **Armónicos:** ondas senoidales cuyas frecuencias obedecen a una relación sencilla de números enteros.

$$x(t) = \sin(2\pi f_1 t) + \sin(2\pi f_2 t),$$

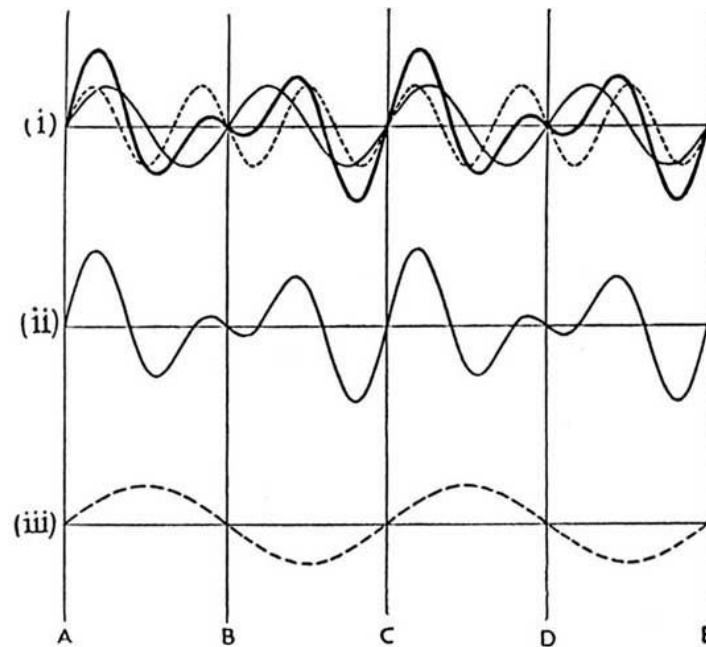
$$f_1 = 200 \text{ y } f_2 = 300 \text{ Hz}$$

$$f_0 = \text{MCD}(f_1, f_2)$$



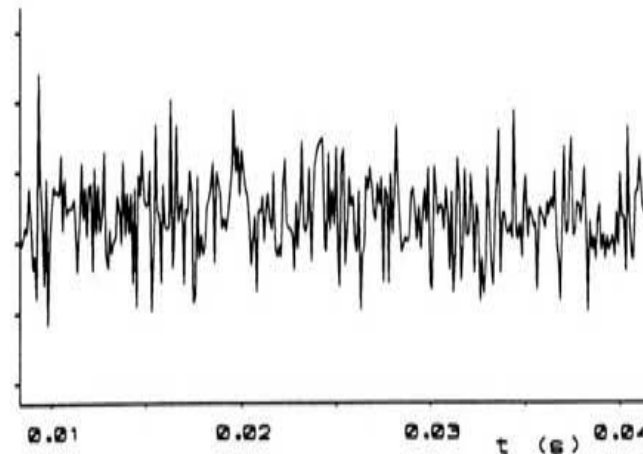
# Señales Periódicas

- La superposición de ondas senoidales armónicas resultará en una señal periódica.



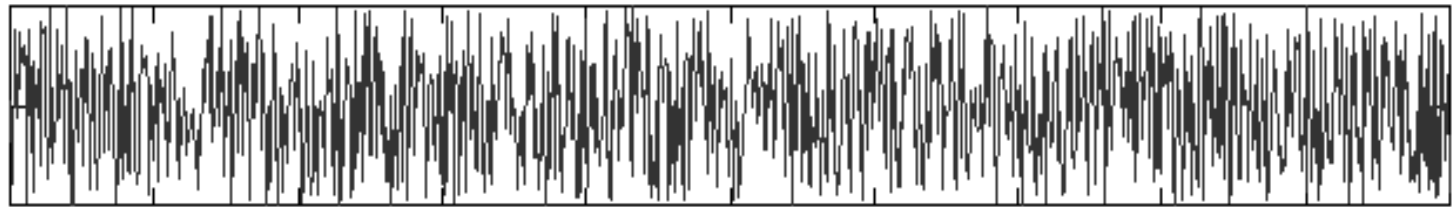
# Señales Periódicas

- Si superponemos componentes no armónicas, obtendremos una forma de onda no periódica.



# Señales Periódicas

- Pseudo-aleatorias:
  - “Parecen” aleatorias pero en realidad no lo son.
  - Por ejemplo: secuencia random de la computadora.

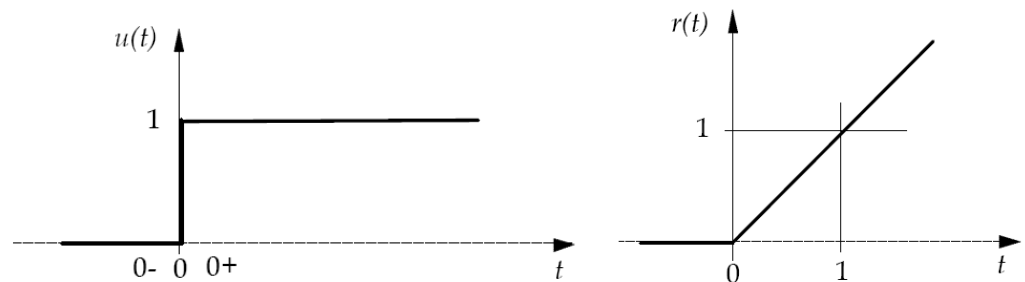


Período de repetición muy largo →

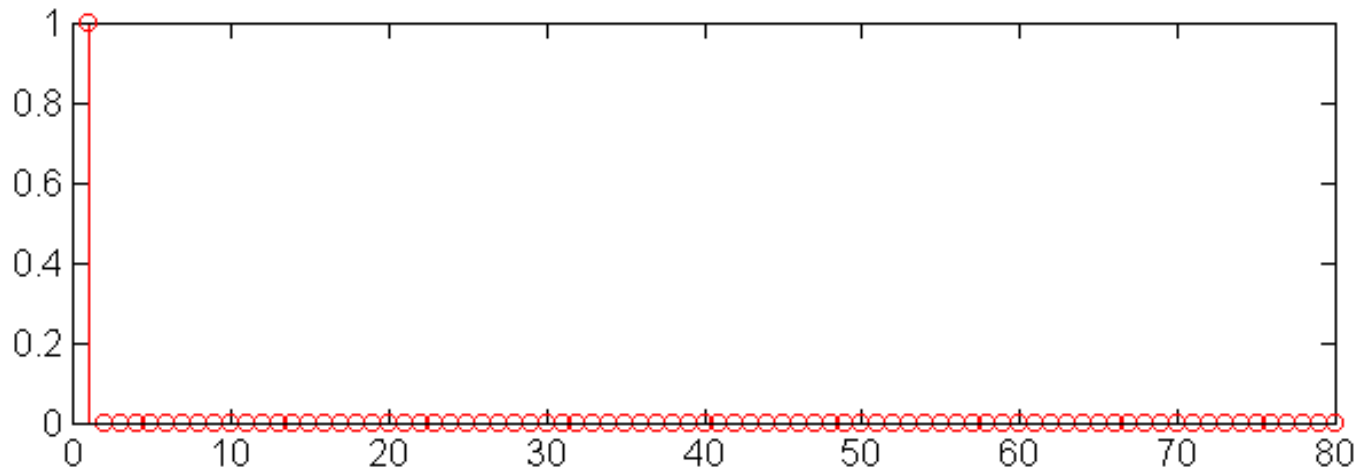
Generador Congruencial Multiplicativo

# Señales Aperiódicas

- Cualquier señal determinística que no es periódica se dice que es **aperiódica**.
- Algunas señales aperiódicas tienen propiedades únicas y son conocidas como funciones **singulares** (no diferenciables).
  - Escalón unitario
  - Rampa unitaria
  - Delta de Dirac



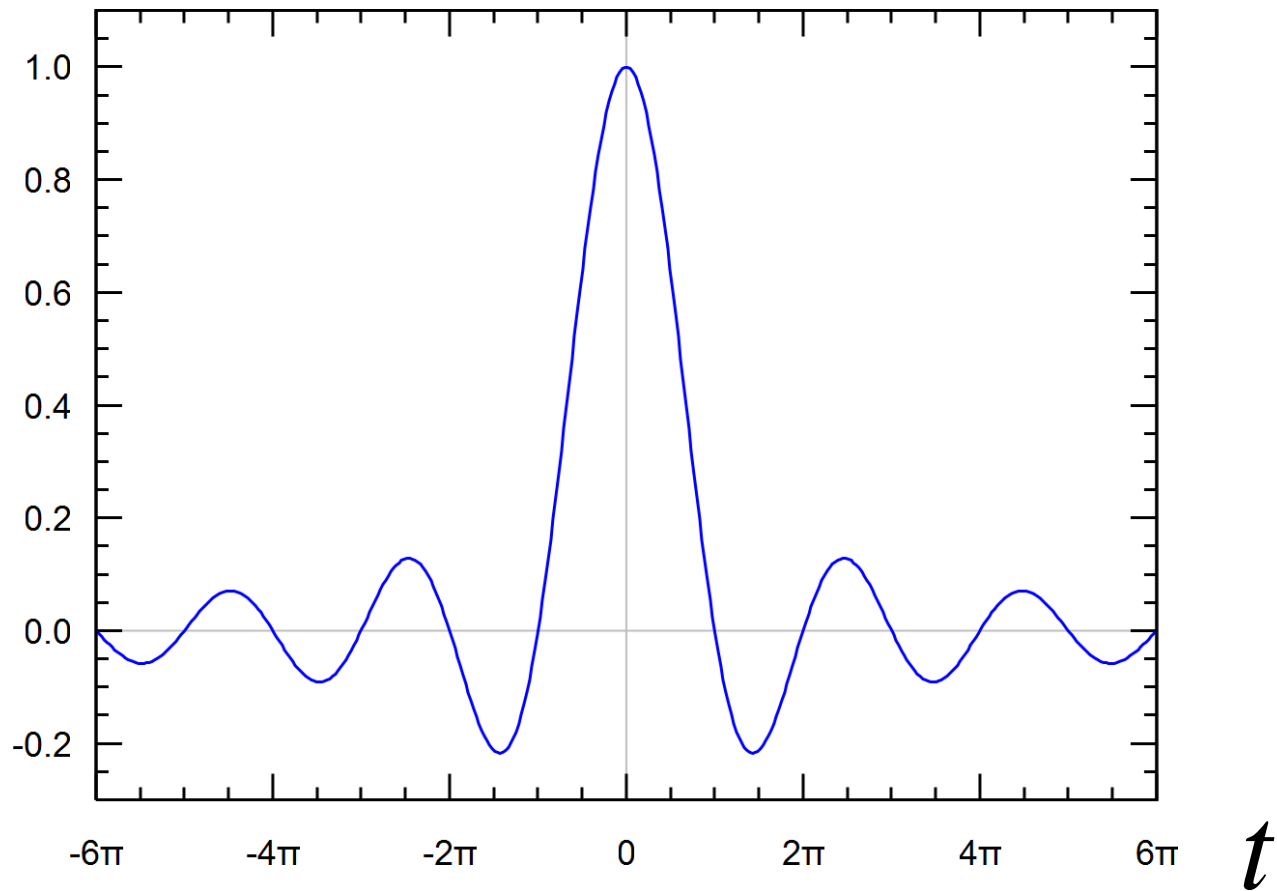
# Delta de Dirac Discreto



$$\delta[n] = 1, \quad n = 0$$
$$\delta[n] = 0, \quad n \neq 0$$

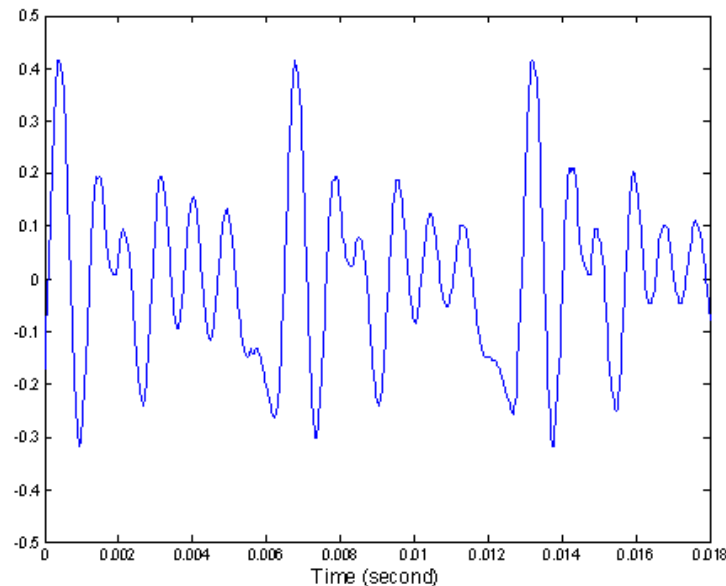
# Sinc

$$\sin(t) / t$$



# Cuasiperiódicas

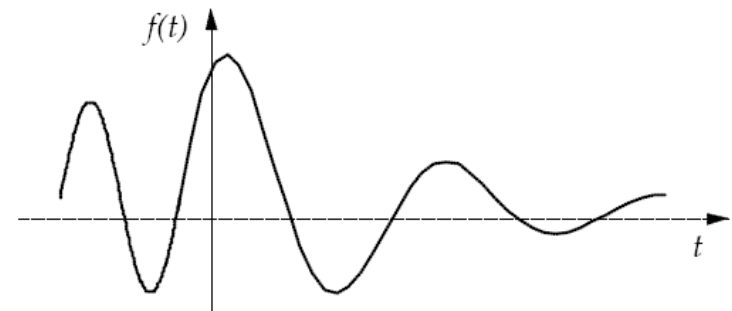
- “Casi” periódicas: pequeñas variaciones entre “cuasiperiodos”.
- Por ejemplo: duración, amplitud, etc.





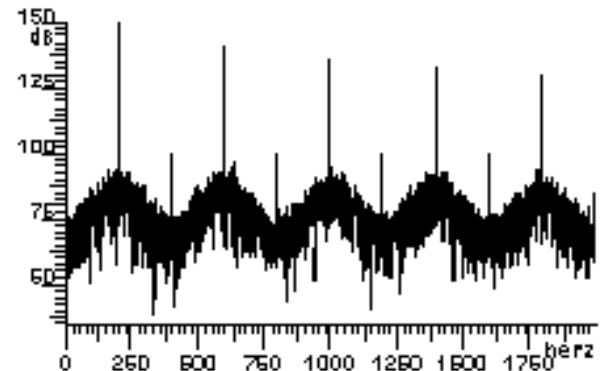
# Señales Transitorias

- Son aquellas que agotan su energía dentro del período de observación.
- Esta clasificación no depende tanto de la señal en sí, como de la escala temporal desde la cual se observa a la misma.
- No confundir con período transitorio de una señal o respuesta de un sistema.



# Señales “caóticas”

- Son producidas por sistemas determinísticos bajo ciertas condiciones.
- La sensibilidad de estos sistemas a pequeñas perturbaciones las hace prácticamente impredecibles.
- Por ello pueden aparecer como si fueran aleatorias...





# Proceso y Realización

- Una señal aleatoria es una realización o una muestra de un proceso.
- Una realización difiere de otra por su descripción temporal.
- El conjunto completo (infinito) de realizaciones definen el proceso.

# Definición formal

Sea  $\xi$  que denota el valor de un experimento. Para cada valor suponemos que se asigna

una forma de onda  $X(t, \xi)$

La colección de esas señales forman un proceso estocástico.

El conjunto de  $\{\xi_k\}$  y el índice temporal  $t$  pueden ser continuos o discretos.

Para  $\xi_i \in S$  fijo (el conjunto de todos los valores experimentales),

$X(t, \xi)$  es una función específica del tiempo.

Para  $t$  fijo,  $X_1 = X(t_1, \xi_i)$  es una variable aleatoria. El arreglo de todas esas realizaciones  $X(t, \xi)$  en el tiempo constituye el proceso aleatorio  $X(t)$ .

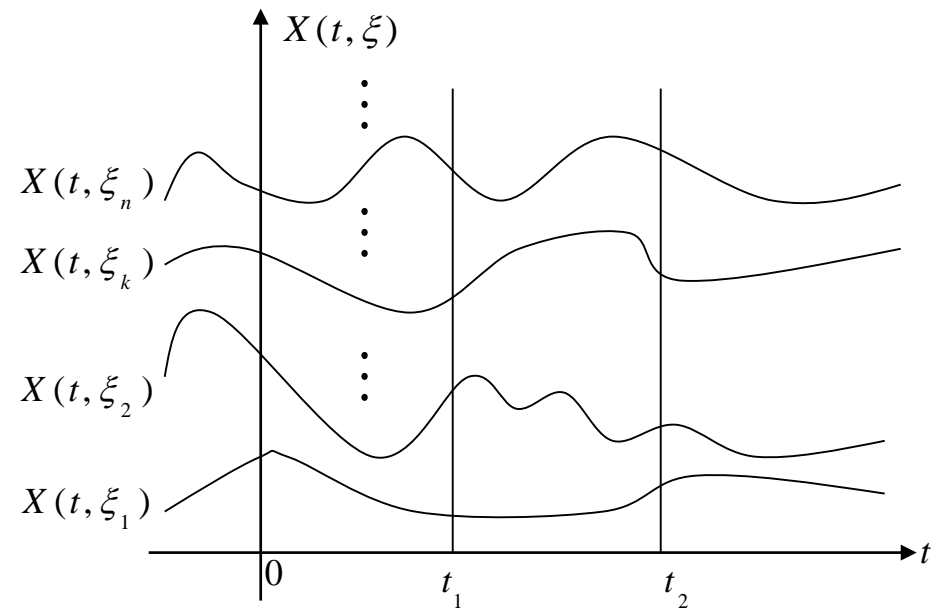
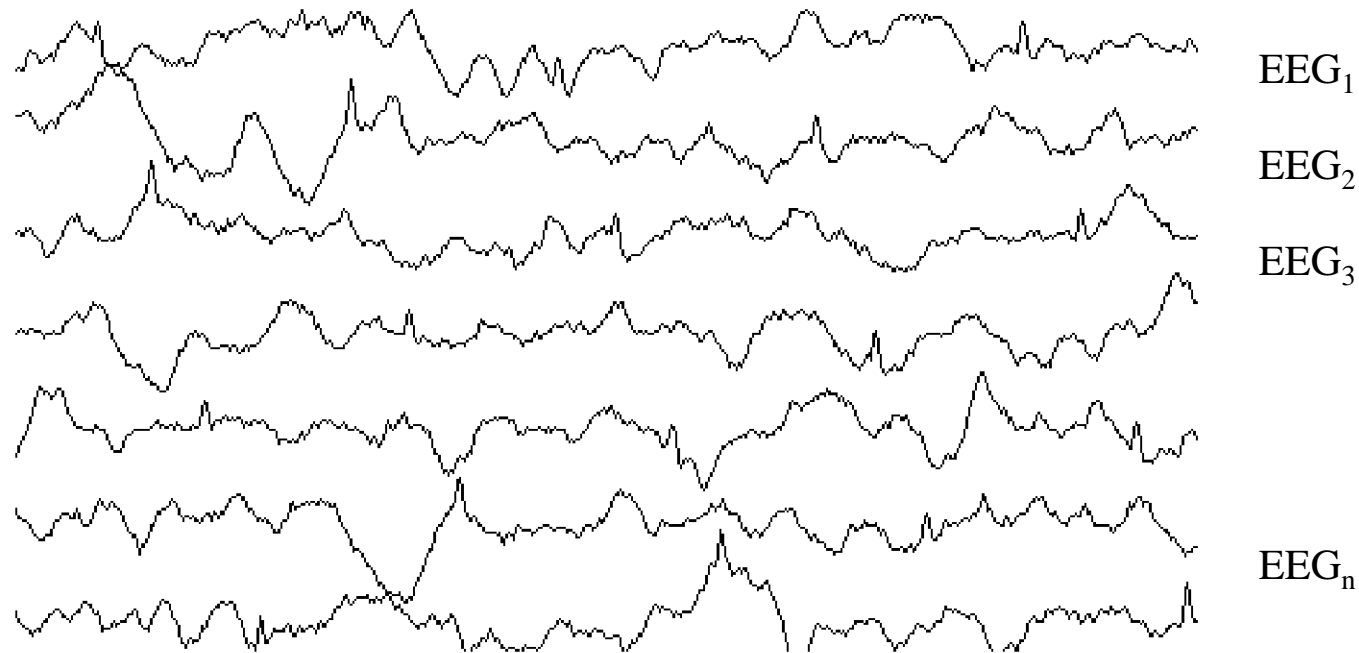


Fig. 1

# Ejemplo: EEG

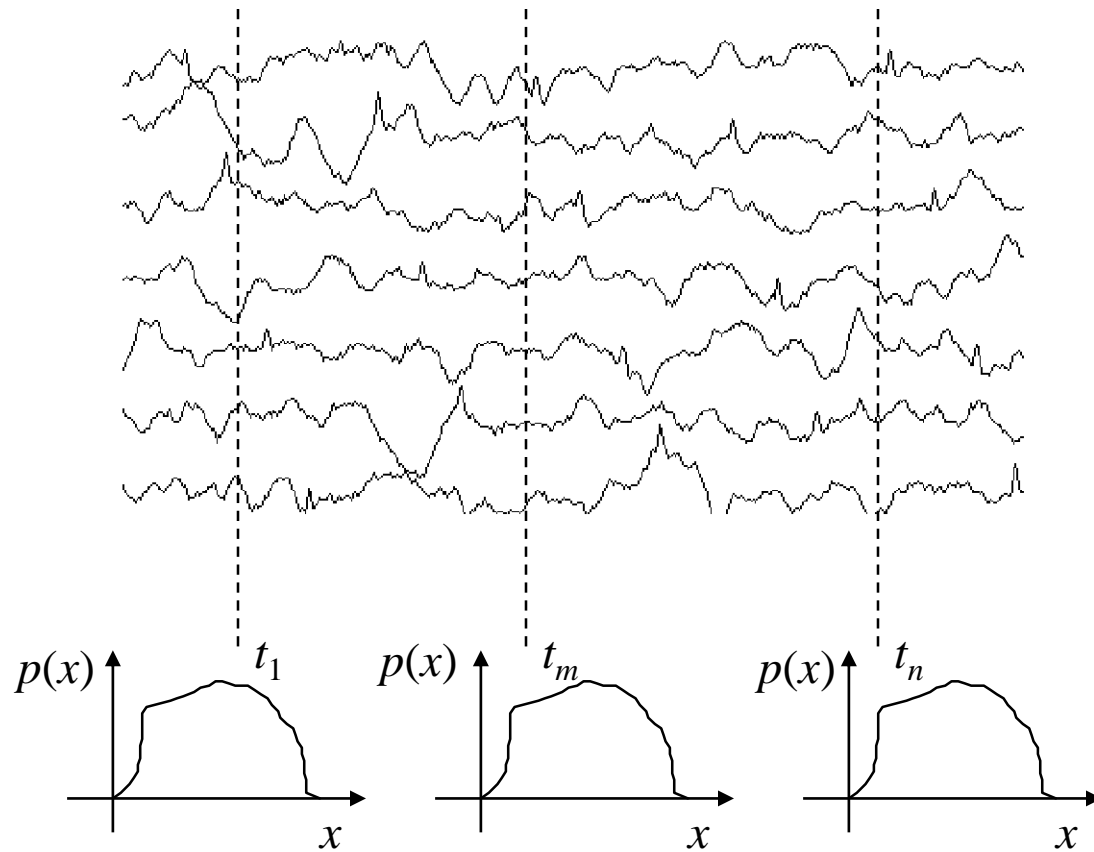


- Proceso: EEG de niños entre 8 y 12 años, sanos, tomados en REM

# Estacionaridad

- Un proceso en el que las propiedades estadísticas de la señal no dependen del tiempo es estacionario.
- Un proceso se dice que es estacionario cuando la *fdp* no depende del tiempo.
- Prácticamente: de un proceso estacionario se pueden extraer parámetros estadísticos.

# Estacionaridad





# Ergodicidad

- El promedio estadístico a lo largo de la muestra es igual el promedio temporal a lo largo del eje del tiempo para cualquier función muestra.

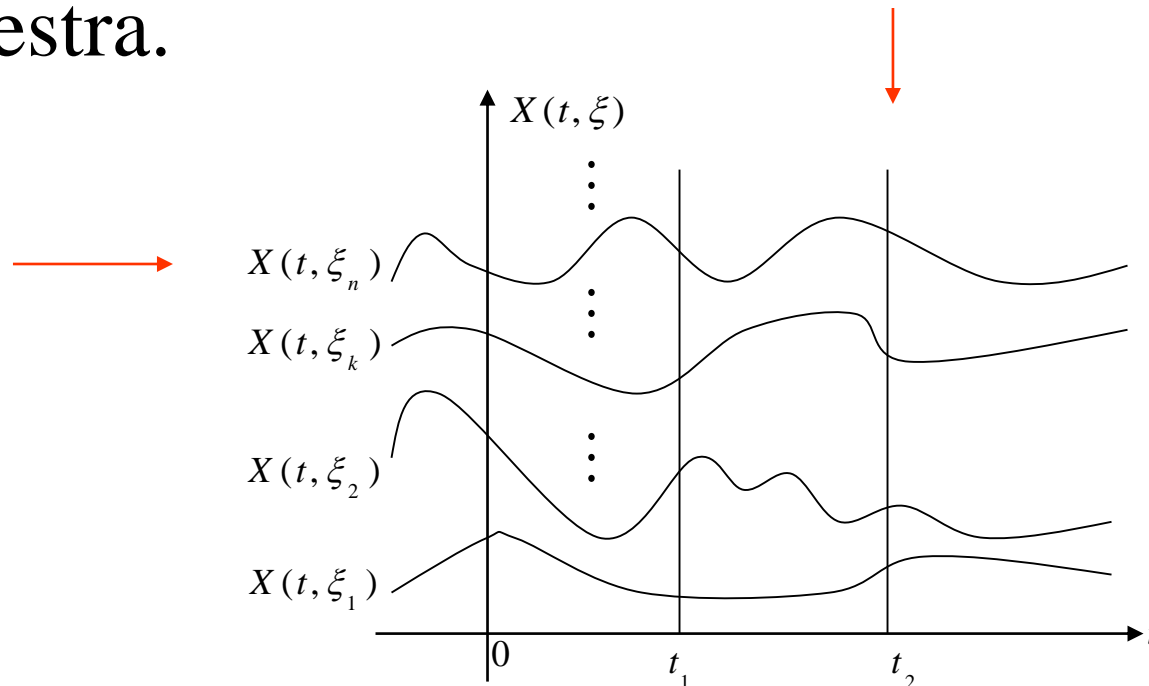


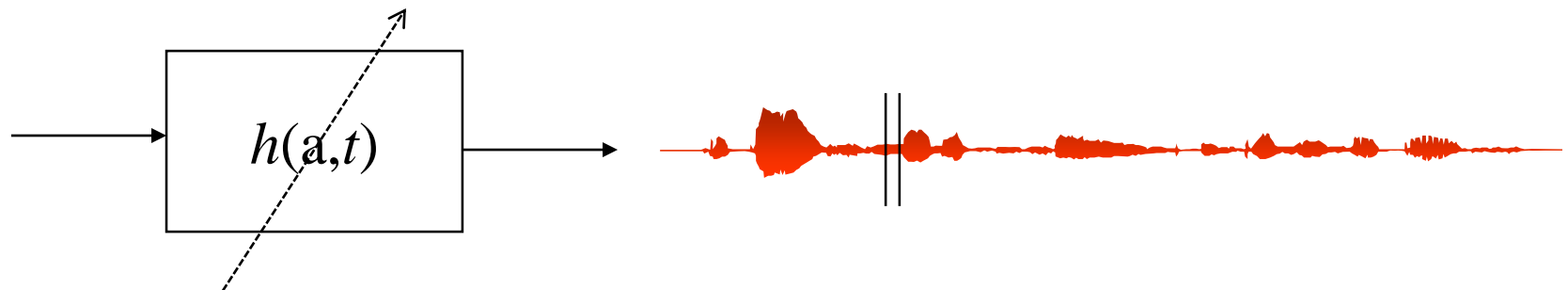
Fig. 1

- Ergodicidad  $\Rightarrow$  Estacionariedad

- Estacionariedad  $\nRightarrow$  Ergodicidad

# Estacionaria por tramos

- Señales derivadas de sistemas que varían sus parámetros en forma lenta.
- Si se plantea un intervalo de tiempo suficientemente pequeño es posible suponer que la señal se mantiene estacionaria.
- Esto da origen al análisis por tramos.



# Clasificación Energética

- De acuerdo a si la señal posee, o no:
  - Energía finita
  - Potencia media finita

# Clasificación Dimensional

- Basada en el número de variables independientes del modelo de la señal.

# Clasificación Espectral

- Basada en la forma de la distribución de frecuencias del espectro de la señal.
  - Baja Frecuencia
  - Alta Frecuencia
  - De banda Angosta
  - De Banda Ancha

# Otras Clasificaciones

- Limitadas en duración
- Limitadas en amplitud
- ...

# Operaciones con señales



# Operaciones básicas

- Operadores binarios
  - Adición – sustracción ...
  - Productos
    - por un escalar
    - punto a punto
    - interno / externo
  - ...
- Operadores unarios
  - Operaciones sobre el rango
  - Operaciones sobre el dominio
  - Interpolación y decimación

# Operaciones sobre el rango

$$x_{nuevo}(t) = \rho(x_{viejo}(t))$$

# Operaciones sobre el rango

$$x_{nuevo}(t) = \rho(x_{viejo}(t))$$

- Amplificación
- Rectificación
- Cuantización
- ...

# Operaciones sobre el dominio

$$x_{nuevo}(t) = x_{viejo}(\tau(t))$$

# Operaciones sobre el dominio

$$x_{nuevo}(t) = x_{viejo}(\tau(t))$$

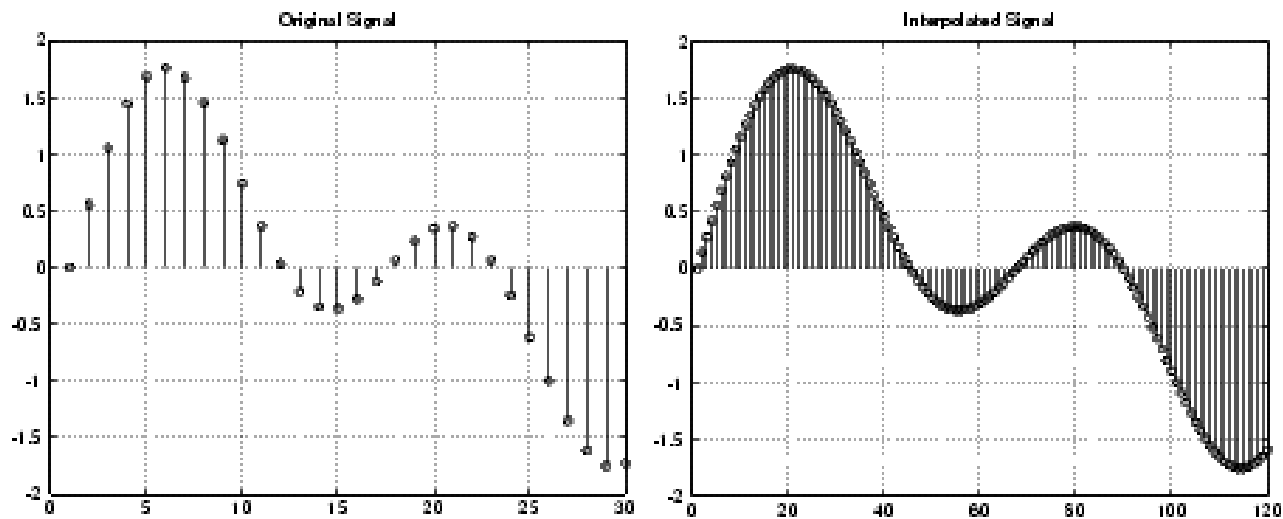
- Compresión
- Expansión
- Inversión
- Traslación
- ...

# Interpolación y decimación

- Interpolación lineal
- Interpolación polinómica
- Interpolación sinc
- Decimación (muestreo)
- ...

# Interpolación

- La interpolación aumenta la frecuencia de muestreo original de una señal de tiempo discreto (puede ser hasta infinito).



# Interpolación

$$x(t) = \sum_n x^*(nT) \cdot i\left(\frac{t-nT}{T}\right)$$



## Interpolación de orden 0

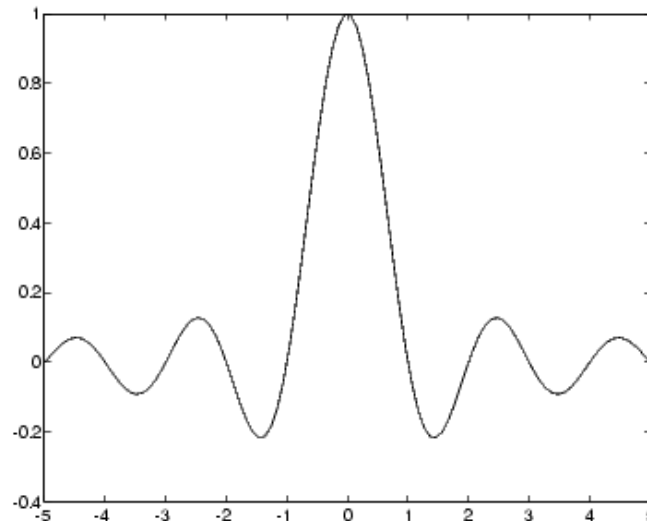
$$i_{step}(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

# Interpolación de orden 1

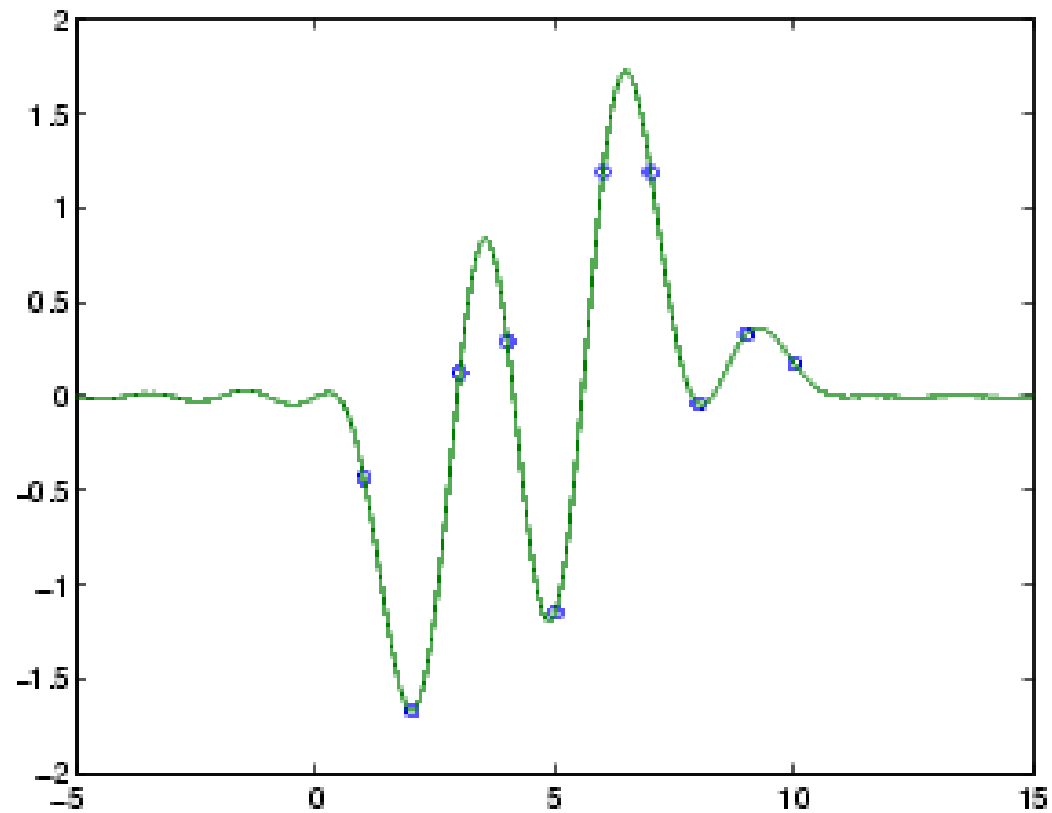
$$i_{lineal}(t) = \begin{cases} 1 - |t| & |t| < 1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

## El interpolador ideal

$$i_{sinc}(t) = \begin{cases} \sin(t) / t & t \neq 0 \\ 1 & t = 0 \end{cases}$$

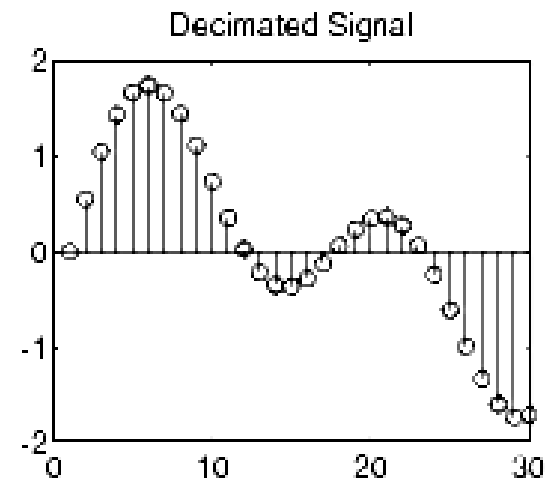
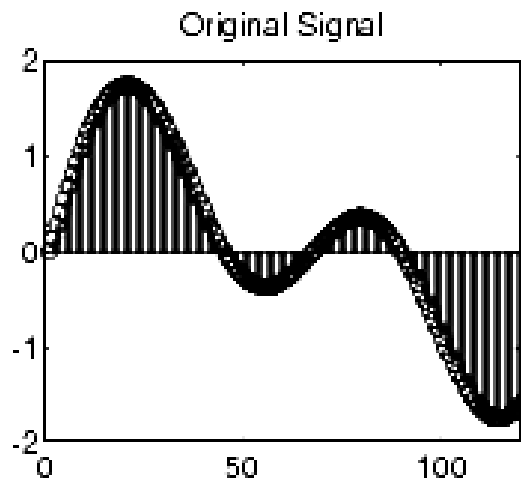


# Interpolación ideal



# Decimación

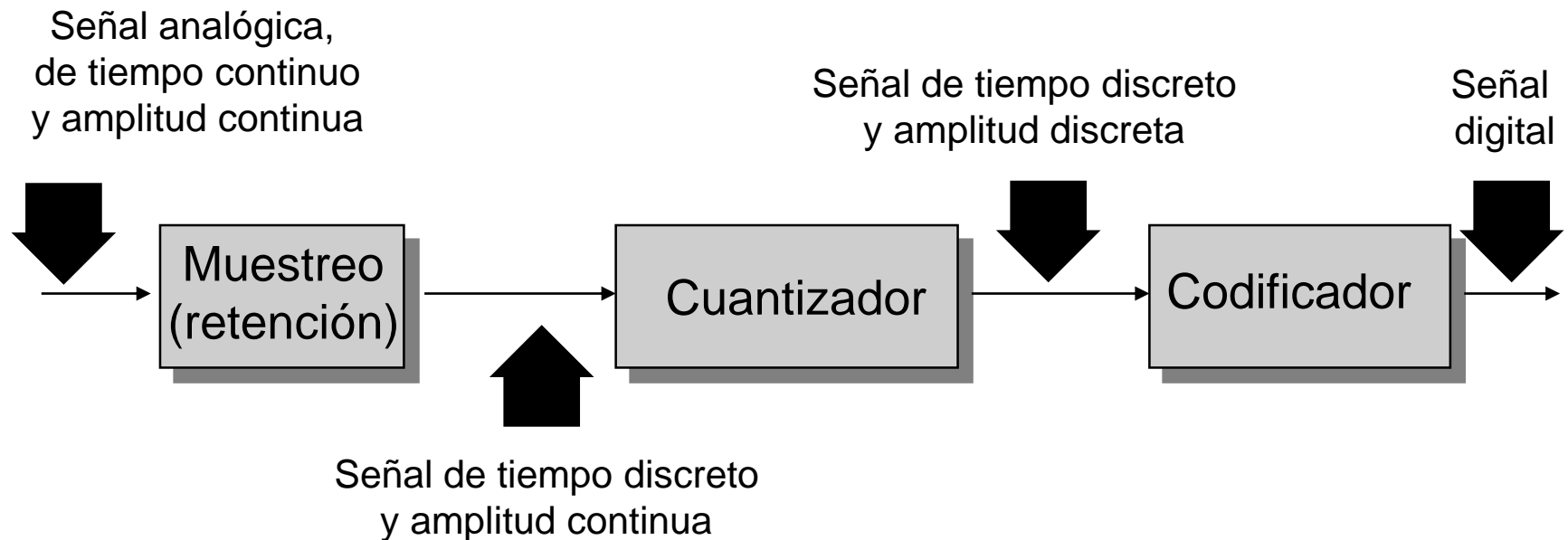
- La decimación reduce la frecuencia de muestreo original de una señal de tiempo discreto, es lo opuesto a la interpolación.



# Digitalización de señales

- Conversión analógico/digital (A/D)
  - Ventaneo
  - Muestreo
  - Retención
  - Cuantización
  - Codificación (ej: binaria)

# Conversión A/D

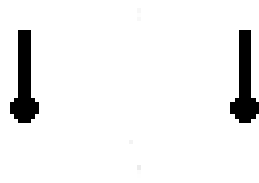


## Algunas observaciones...

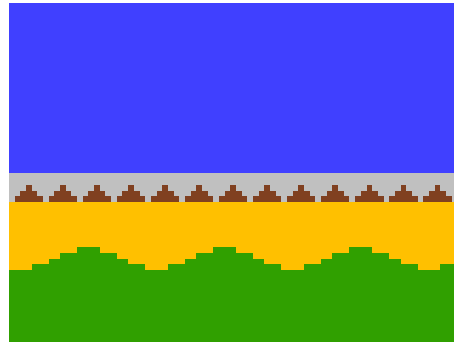
- Muestreo:
  - Solo medimos a intervalos prefijados por lo cual perdemos los cambios rápidos.
  - Dependemos de la fiabilidad del reloj del sistema.
- Ventaneo:
  - Solo medimos durante un intervalo finito de tiempo por lo cual perdemos los cambios más lentos.
  - La forma de esta ventana también afecta el resultado.



# Algunas observaciones...



- Un objeto que gira a de alta frecuencia y lo iluminamos a baja frecuencia.

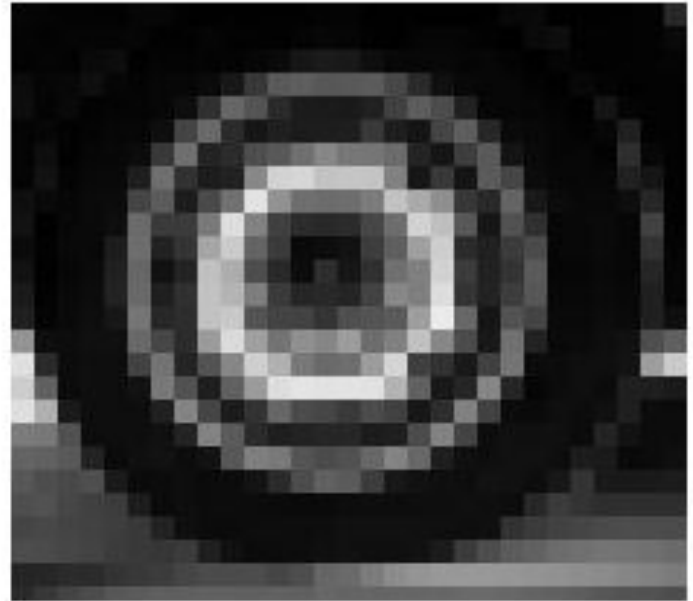


- Una "cámara" acelera constantemente hacia la derecha a la misma velocidad que los objetos se desplazan hacia la izquierda.

Otros problemas de aliasing temporal:  
Efectos estroboscópicos o visuales

# Muestreo de Imágenes

- Efecto de “Aliasing”



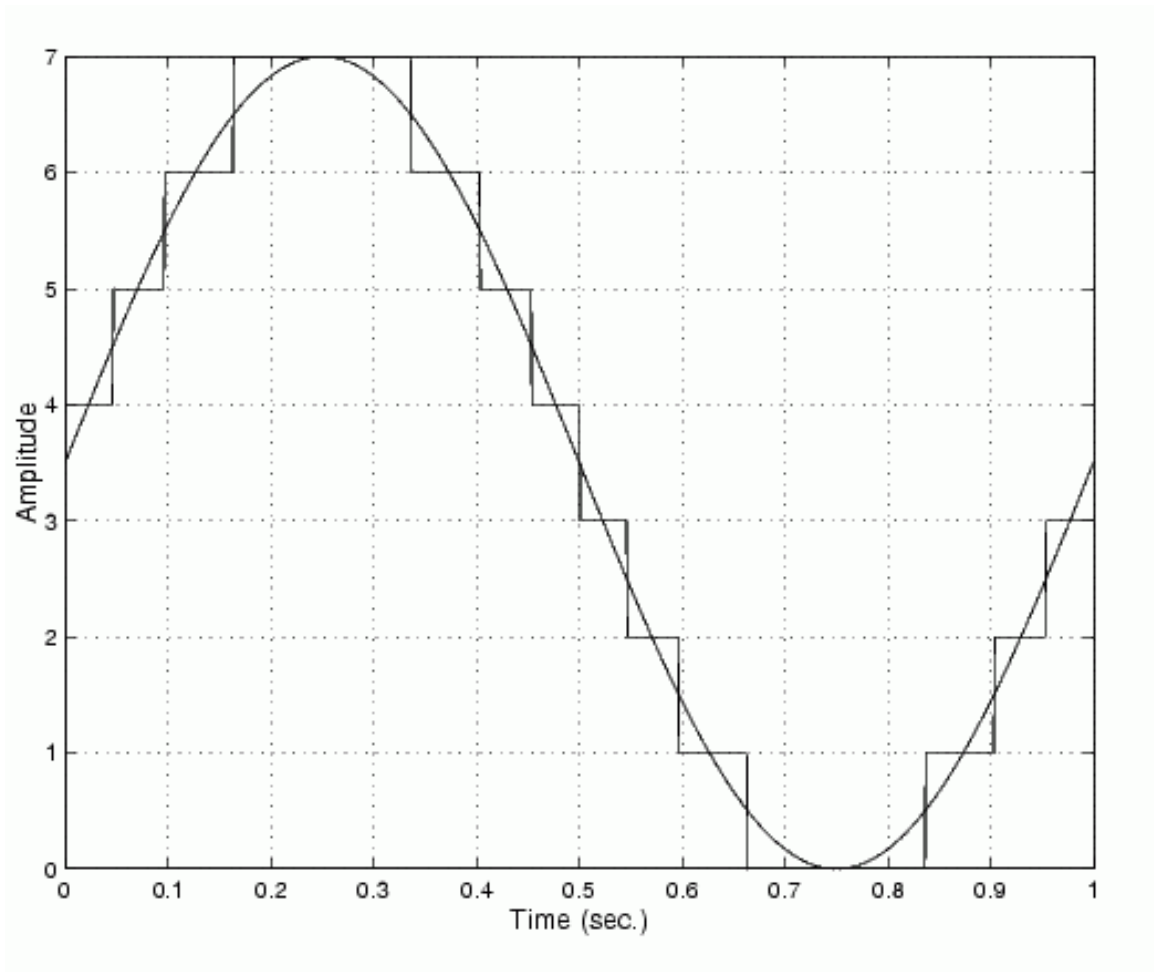
# Muestreo y retención

- Muestreo Uniforme
- Muestreo No uniforme

# Cuantización

$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ H \cdot \text{int}(x / H) & 0 \leq x < (N-1)H \\ (N-1)H & x \geq (N-1)H \end{cases}$$

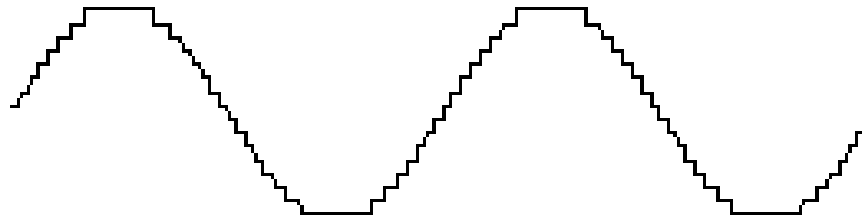
# Cuantización



## Algunas observaciones...

- Cuantización:
  - La precisión está limitada al número de bits disponible.
  - Depende también del rango dinámico de la señal.
  - Los errores introducidos en el proceso son no lineales y dependientes de la señal.
  - También pueden cometerse errores aritméticos dentro del procesador debido a la precisión.

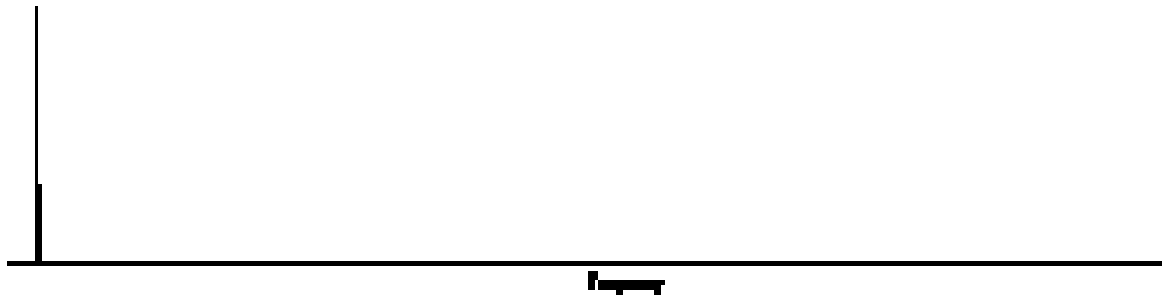
# Algunas observaciones...



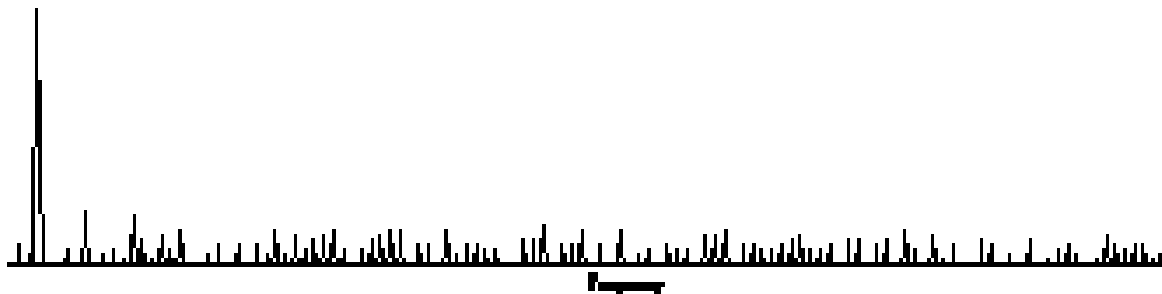
Ruido de cuantización ( $\pm \frac{1}{2}$  LSB)

- La precisión limitada en la cuantización...
- ...conduce a errores...
- ... que dependen de la señal

# Algunas observaciones...



- Por ello el espectro de un tono puro...



- ...se ensucia cuando lo cuantizamos.



# Teoría de la Comunicación y Teoría de Señales

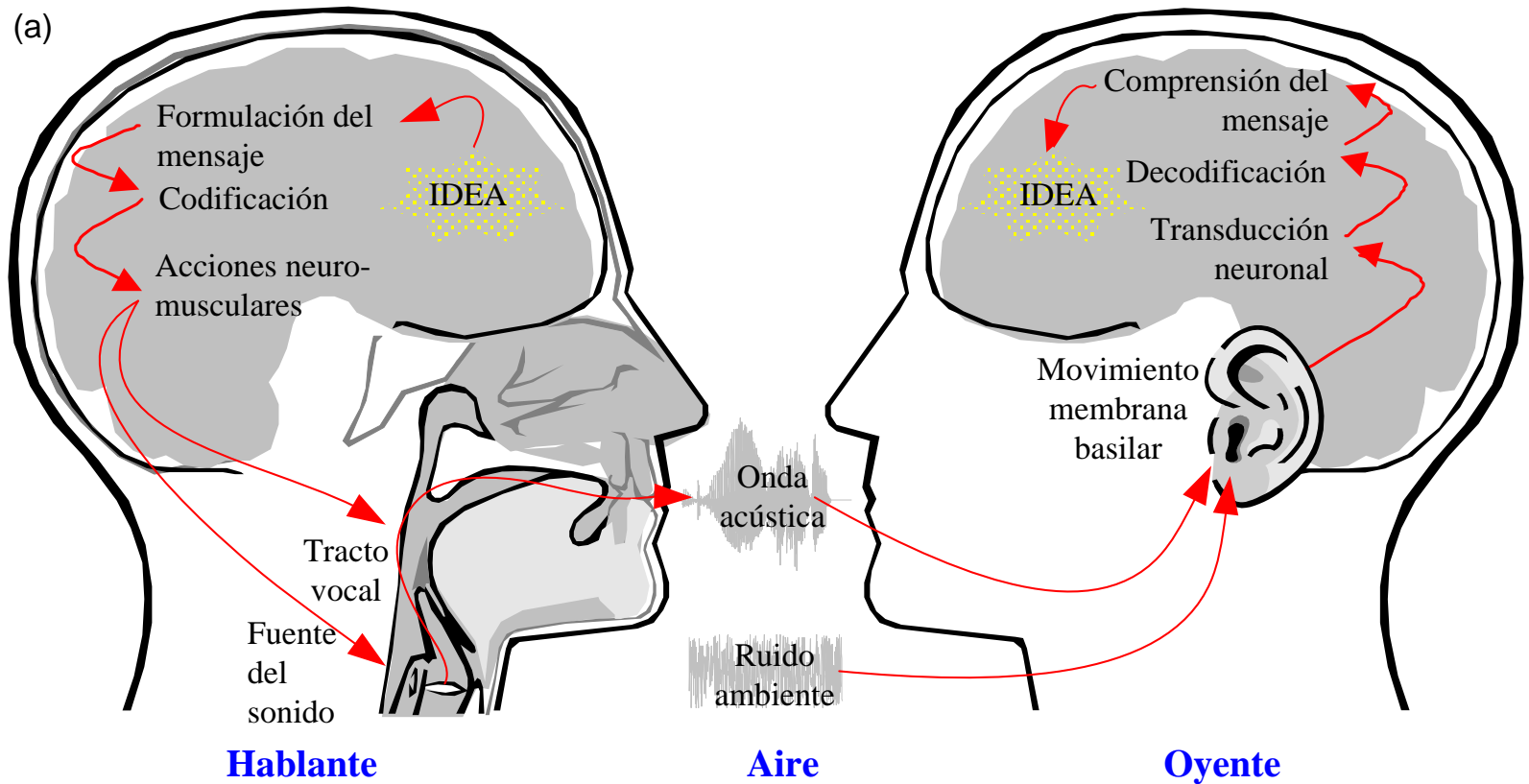
(2da parte)

## Contexto

- El estudio de las señales se encuentra contenido en lo que se denomina

## Teoría de la Comunicación

# Ejemplo: la comunicación humana

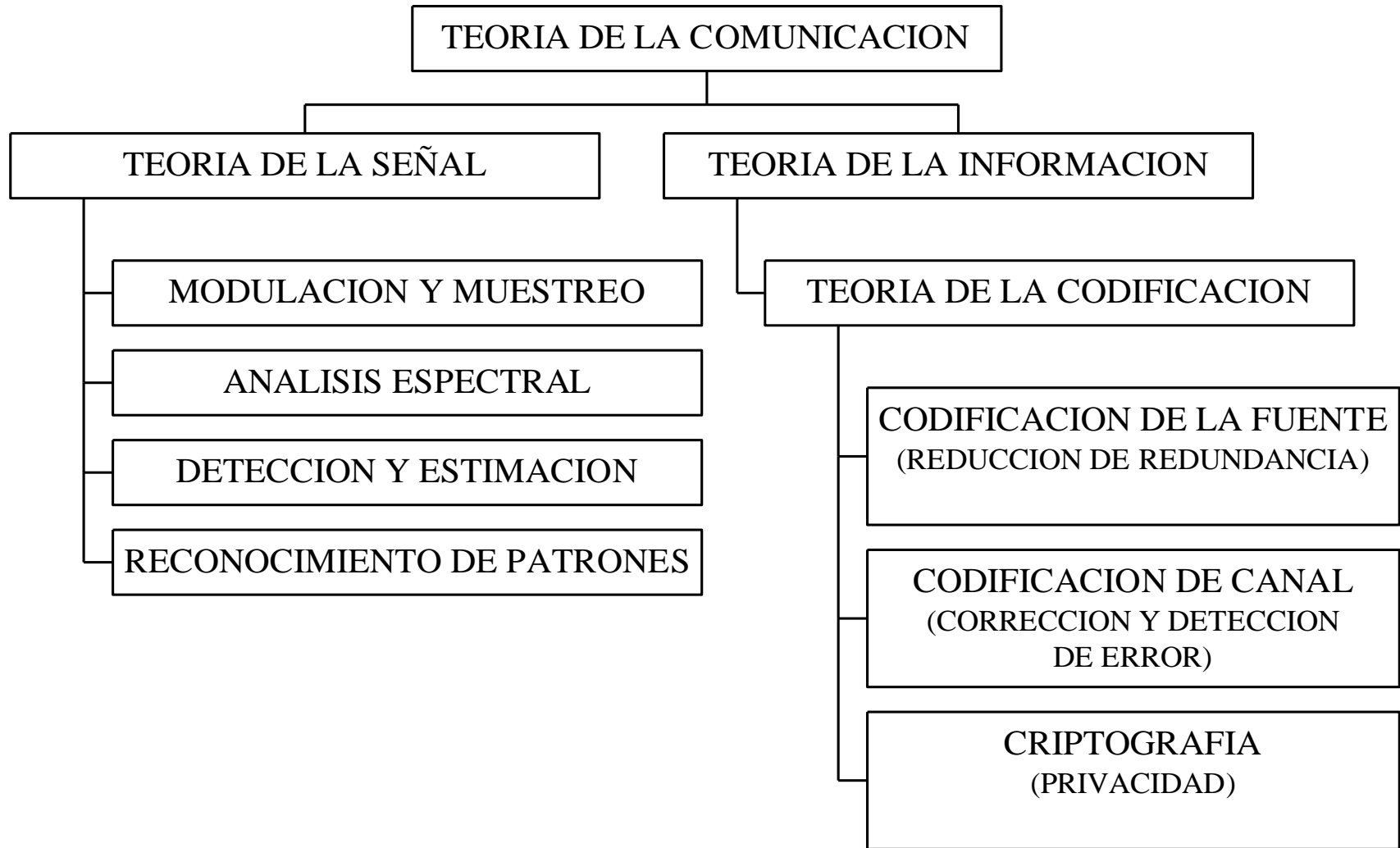


# Ejemplo: la comunicación por radio

(b)



## Título del diagrama



# Teoría de la Información

- La teoría de la información se ocupa de la medición de la información, de la representación de la misma y de la capacidad de los sistemas de comunicación para transmitir y procesar información.
- C. E. Shannon: “A Mathematical Theory of Communication” (1948).

# Procesamiento de la Señal

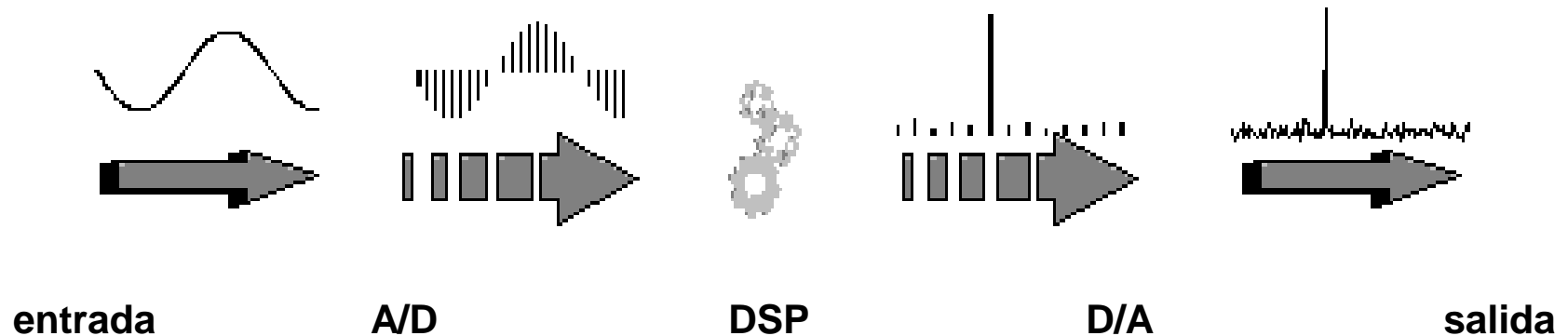
- Es la disciplina técnica que, basada en los métodos de la teoría de la información y la señal, se encarga de la elaboración o interpretación de señales que transportan información, con la ayuda de la electrónica, la computación y física aplicada.

# Procesamiento de Señales

- Principales objetivos
  - Extracción de la información útil que se encuentra en las señales y presentación los resultados en forma apropiada para el hombre o la máquina.
  - Generación de señales, que permiten el estudio del comportamiento de sistemas.
  - Transmisión o almacenamiento de la información contenida en las señales



# Procesamiento Digital de Señales (DSP)



- **Procesamiento**
  - Realizar operaciones sobre datos de acuerdo con instrucciones programadas
- **Digital**
  - Operar mediante el uso de señales discretas para representar datos en forma de números
- **Señal**
  - Una variable por medio de la cual se transmite información en un circuito electrónico

# Procesamiento Digital de Señales (DSP)

- Definición sencilla:

“Modificar o analizar señales representadas a partir de una secuencia discreta de números”

# DSP: Ventajas

- Versatilidad:
  - Pueden ser reprogramados fácilmente
  - Pueden ser migrados a diferentes circuitos
- Repetibilidad:
  - Pueden ser fácilmente duplicados
  - No dependen de estrictas tolerancias de los coeficientes
  - Sus respuestas no varían con la temperatura
- Simplicidad:
  - Algunas cosas pueden ser hechas más fácilmente en forma digital que con sistemas analógicos

## DSP: Desventajas

- Trabaja con señales que provienen del mundo real.
- Utiliza “muchas” matemáticas (multiplicando y sumando señales) .
- Requiere un tiempo finito para dar una respuesta.
- Puede necesitar capacidades importantes de almacenamiento de datos.

# DSP: Aplicaciones

- Se utiliza en una gran variedad de aplicaciones:



Telephony



Radar



Audio



Sonar



Digital TV



Multimedia

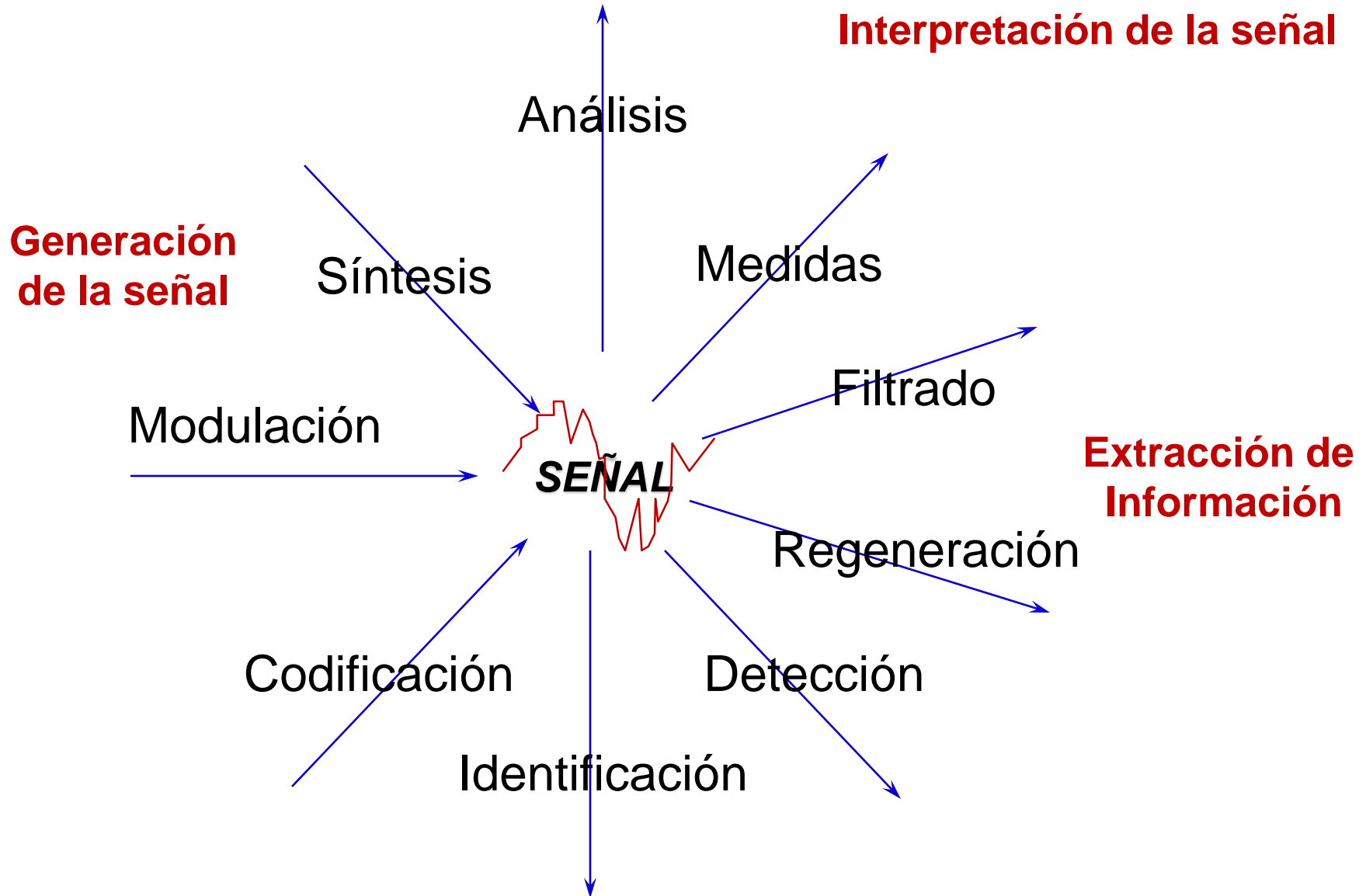


Fax



Process control

- Y extensamente en la tecnología actual...

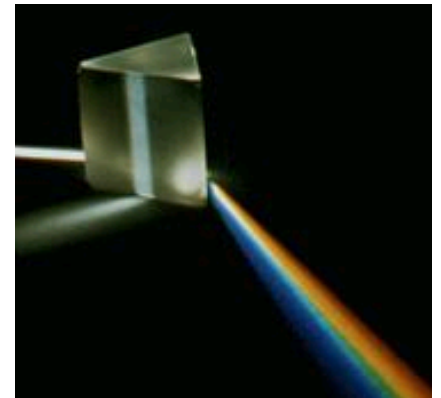


# Técnicas de Procesamiento de Señales

- Amplificación
  - Consiste en aumentar la amplitud, o potencia, de una señal eléctrica.
  - Es uno de los procesamientos más “sencillos”

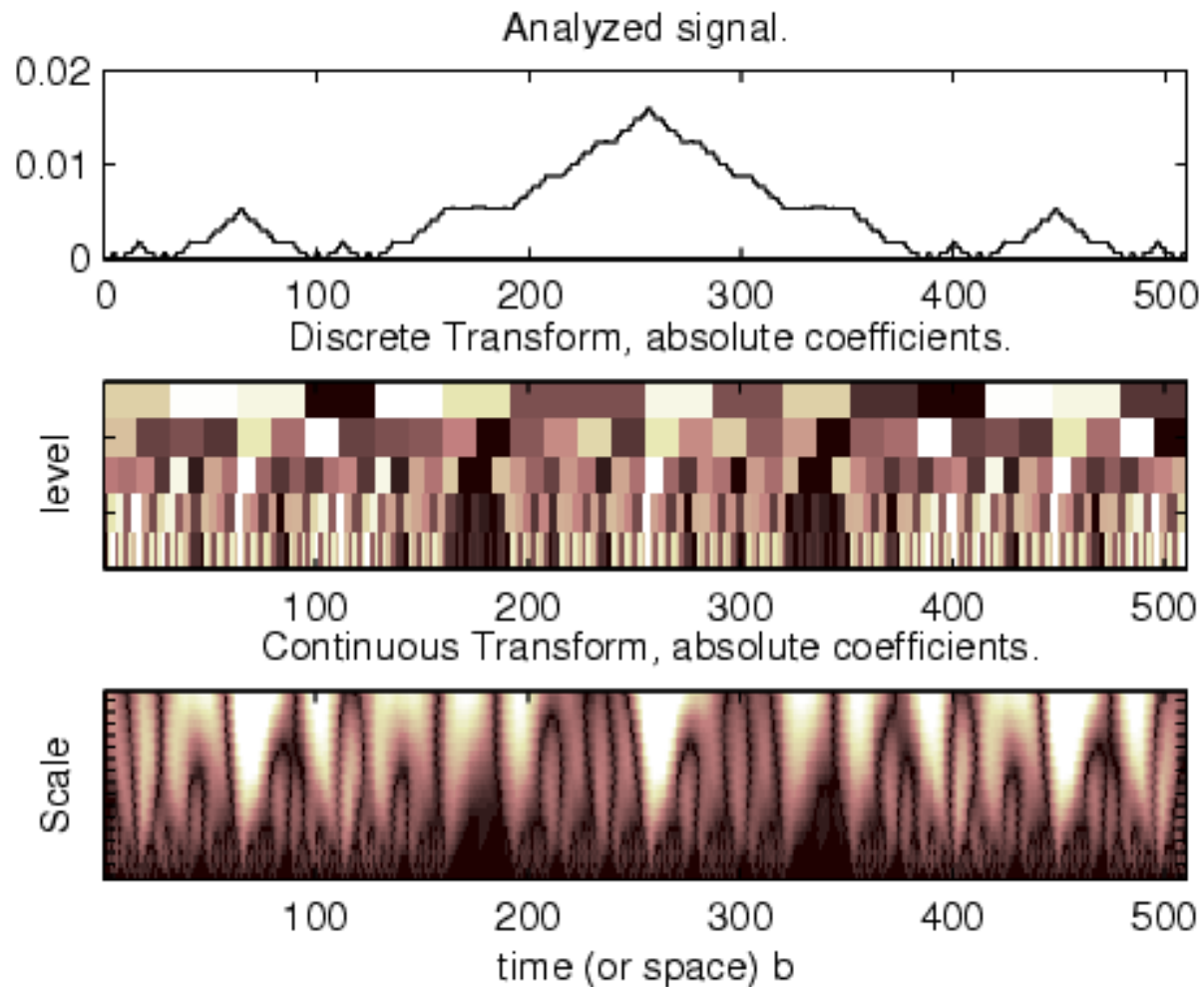
# Técnicas de Procesamiento de Señales

- Análisis
    - Consiste en aislar los componentes del sistema que tienen una forma compleja para tratar de comprender mejor su naturaleza u origen.
- Ej: Análisis Espectral de Sonido Cardíacos.



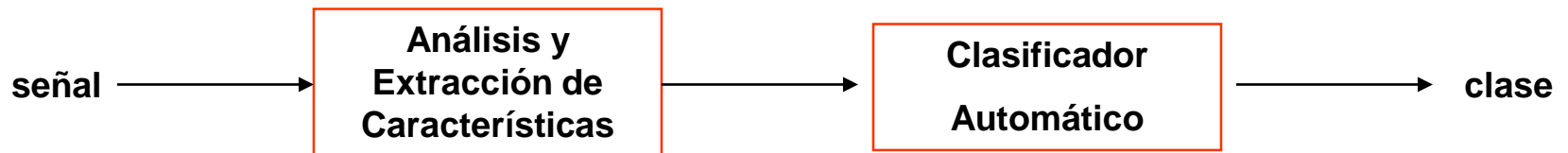


# Ejemplo: Análisis Autosimilar con Onditas

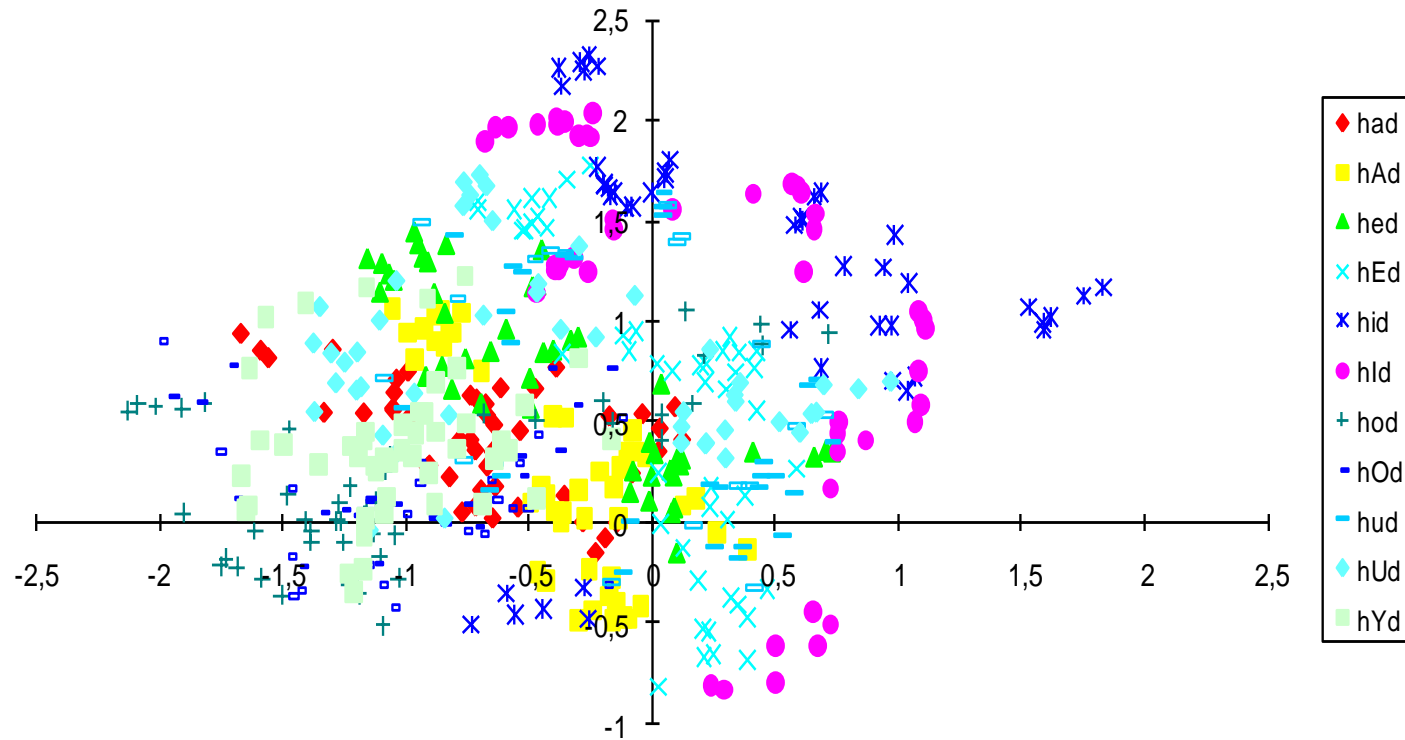


# Análisis

- Muchas veces se utiliza como etapa previa a un sistema automático de clasificación...



# Ejemplo clasificación Vocales (Deterding)



# Ejemplo de Vocales de Deterding

11 vocales de Ingles Británico hablado por 15 hablantes en un contexto h\*d

528 de entrenamiento de 8 hablantes, 462 de prueba de los 7 restantes

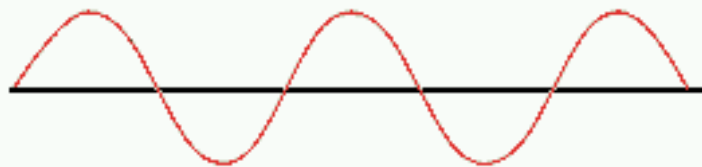
Cada ejemplo en forma de un vector con 10 dimensiones

## Algunos Resultados

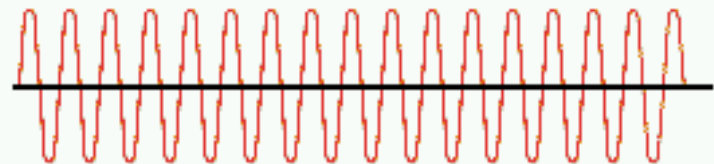
Clasificador	# de unidad	% correcto
Perceptron	-	33
PMC	88	51
PMC	22	45
PMC	11	44
RBR	528	53
RBR	88	48
1-NN	-	56

# Modulación

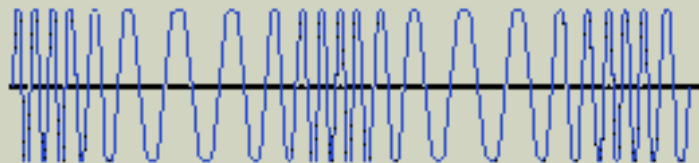
- La modulación consiste en variar la amplitud, la fase o la frecuencia de una señal portadora con referencia a una señal mensaje o moduladora.



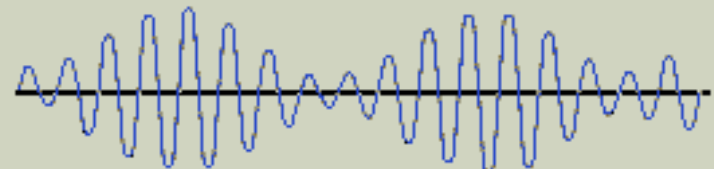
Ondas de sonido



Onda portadora (frecuencia de radio)

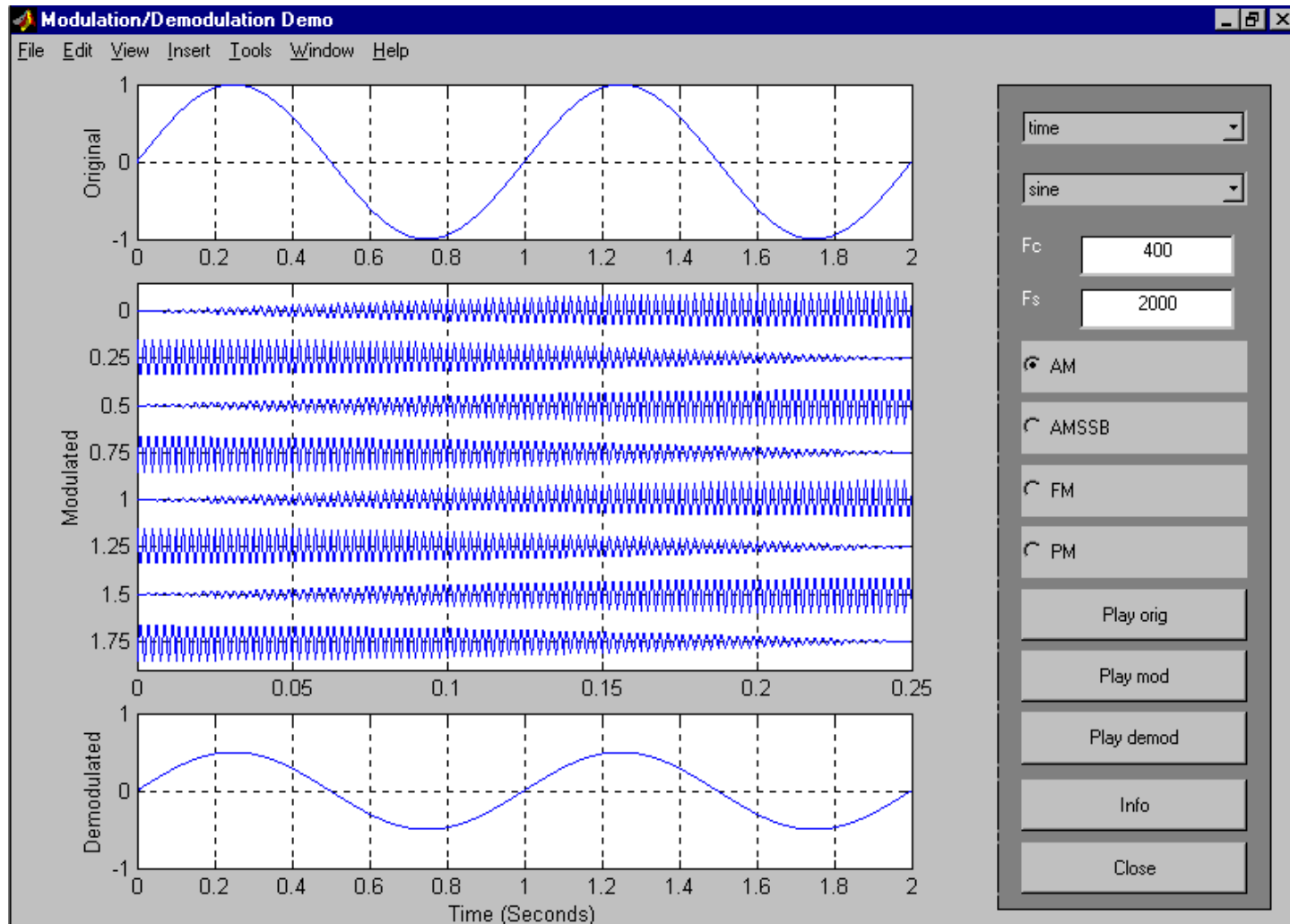


Modulación en frecuencia (FM)

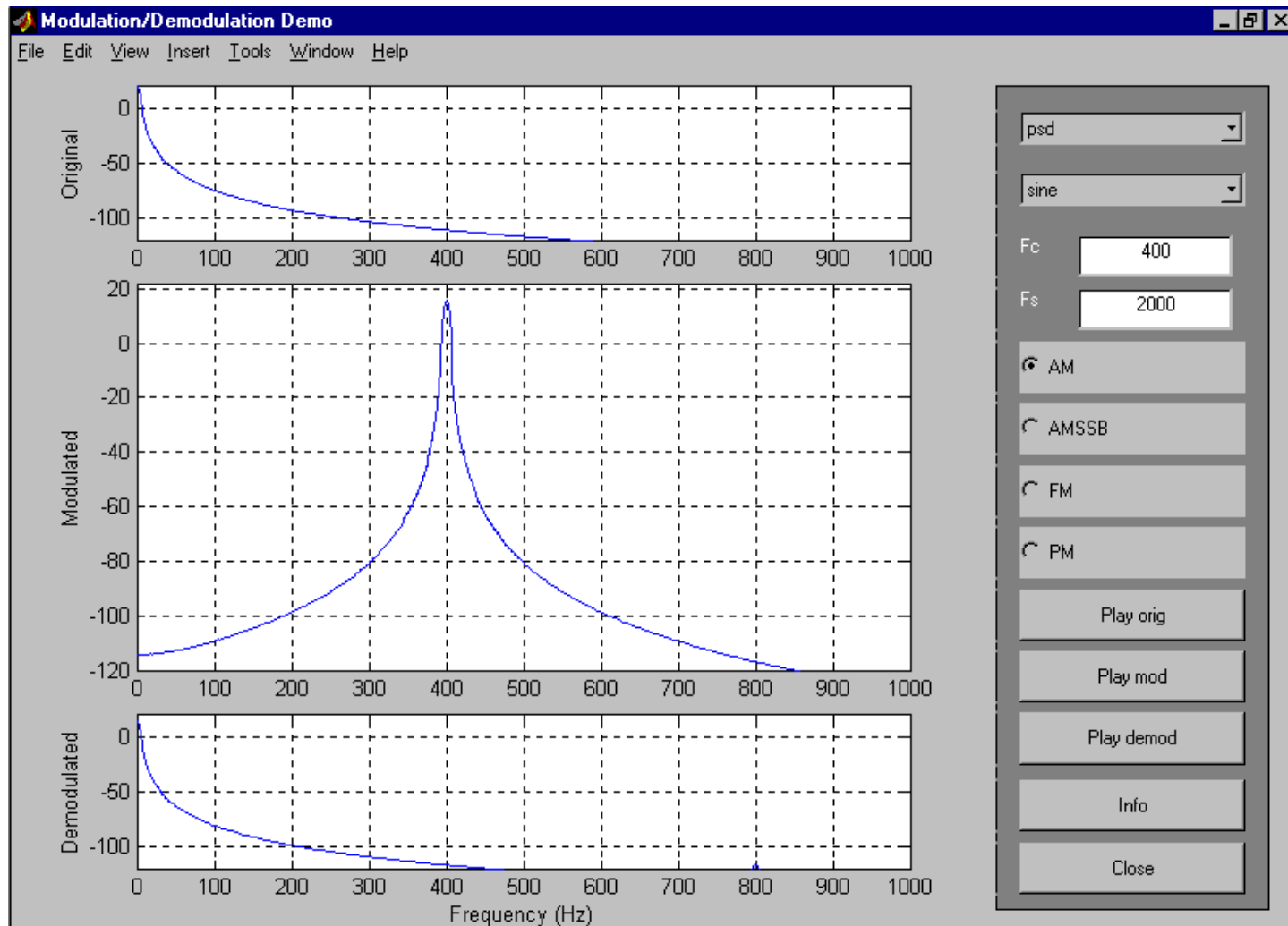


Modulación en amplitud (AM)

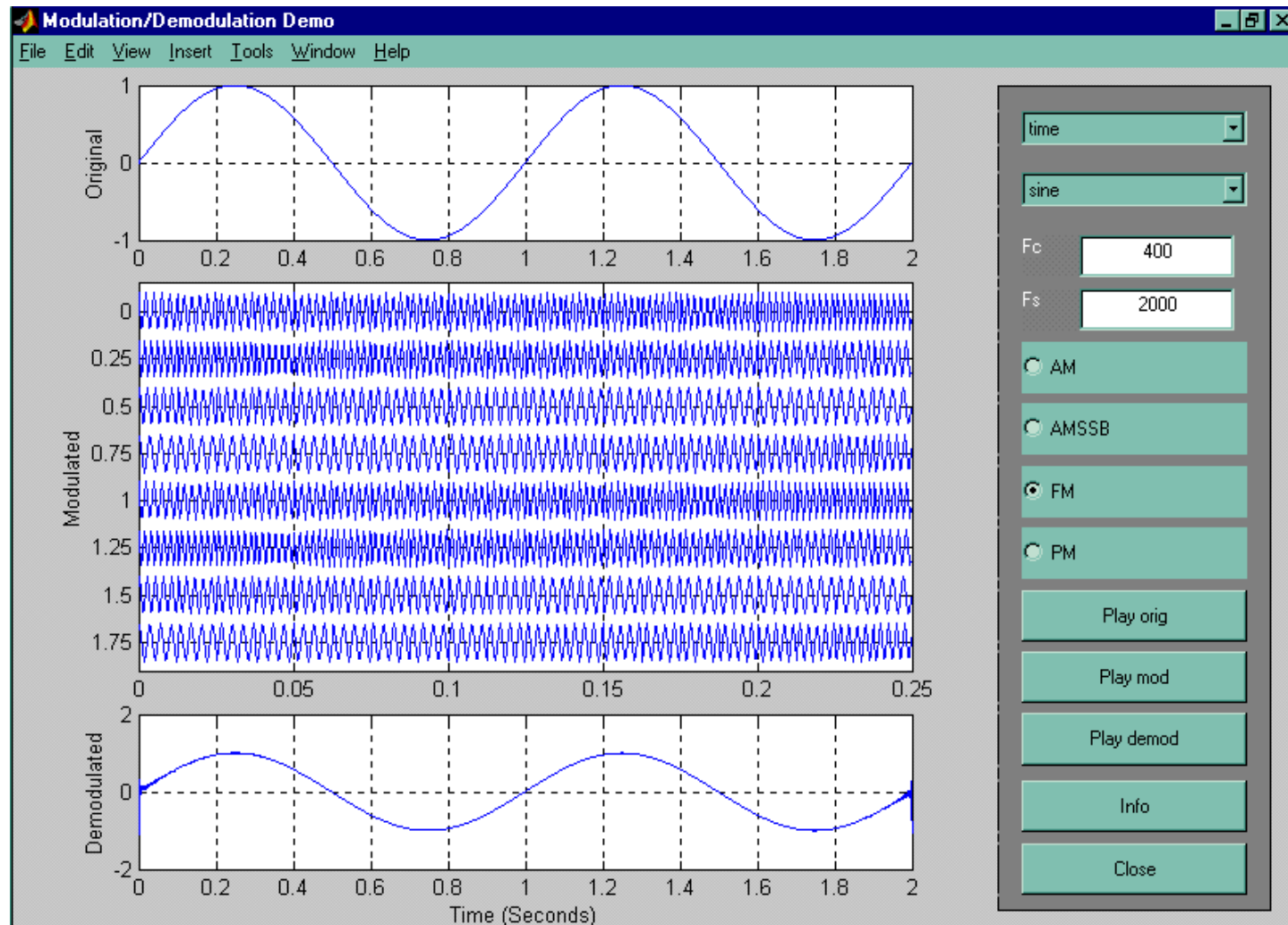
# Ejemplo modulación AM



# Ejemplo modulación AM

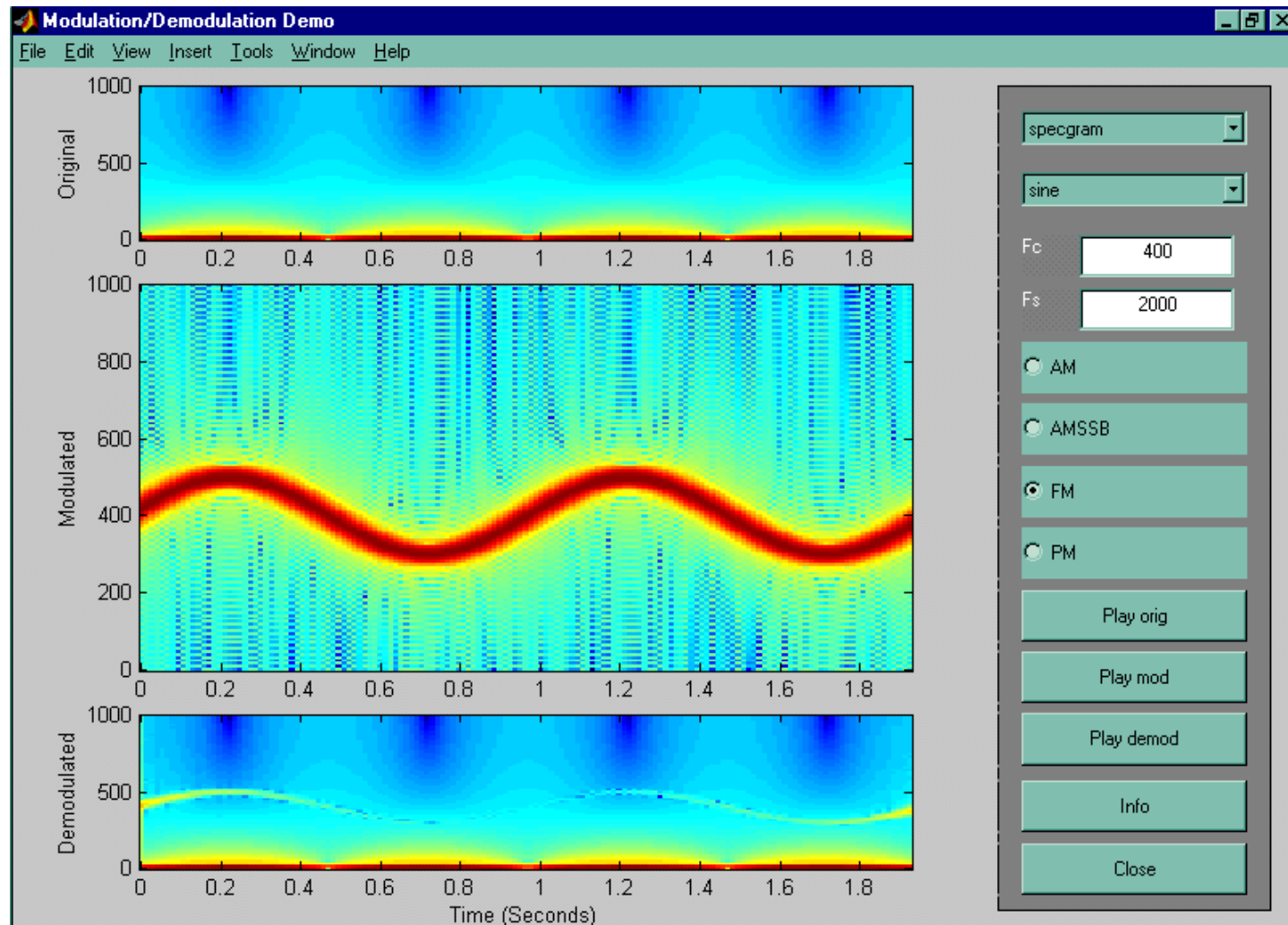


# Ejemplo modulación FM





# Ejemplo modulación FM

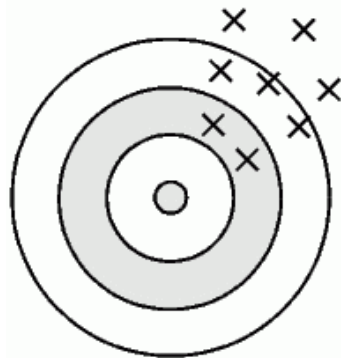


# Técnicas de Procesamiento de Señales

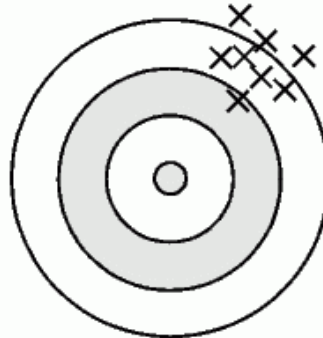
- Medición
- (especialmente en señales con componentes aleatorias)
  - Se trata de estimar el valor de una variable característica de la señal, con un determinado nivel de confianza.

Ej: Medición de la temperatura corporal.

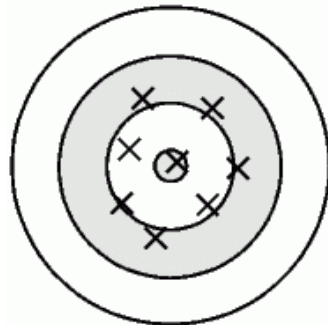
# Medición: Precisión y Exactitud



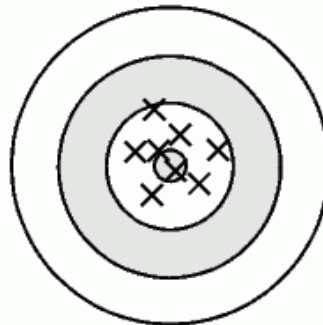
No precisa  
No exacta



Precisa  
No exacta



No precisa  
Exacta



Precisa  
Exacta

- Diferentes situaciones para una medida, el valor real es el centro del blanco.

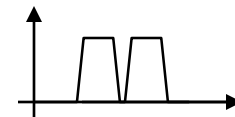
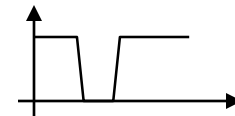
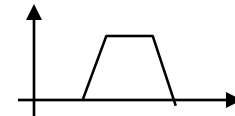
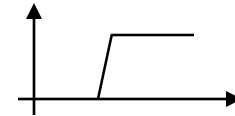
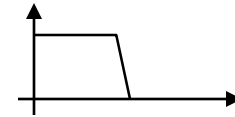
# Técnicas de Procesamiento de Señales

- Filtrado
  - Consiste en la eliminación de componentes indeseadas de la señal, preservando las de interés.

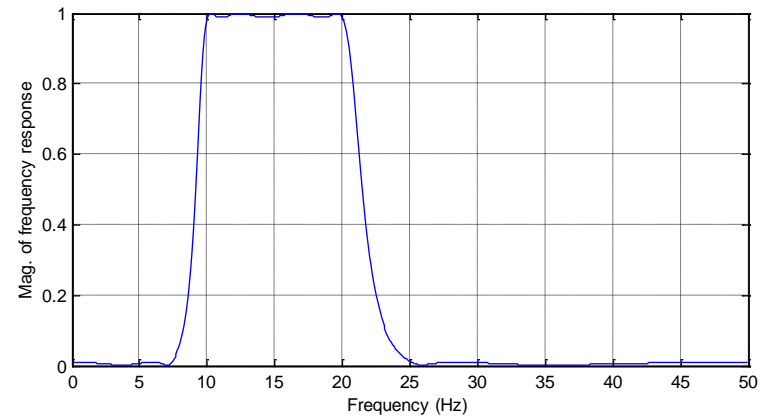
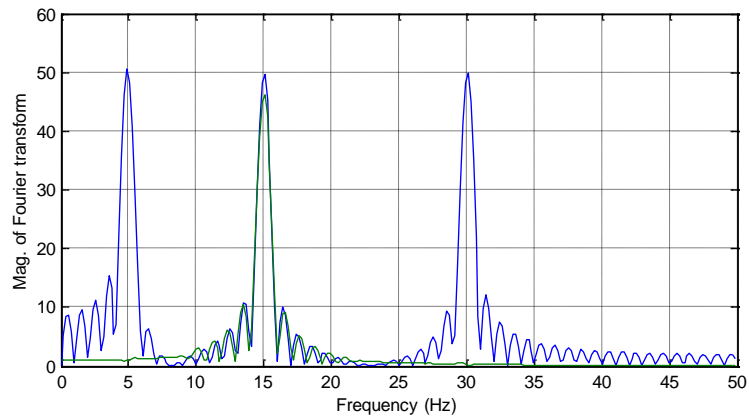
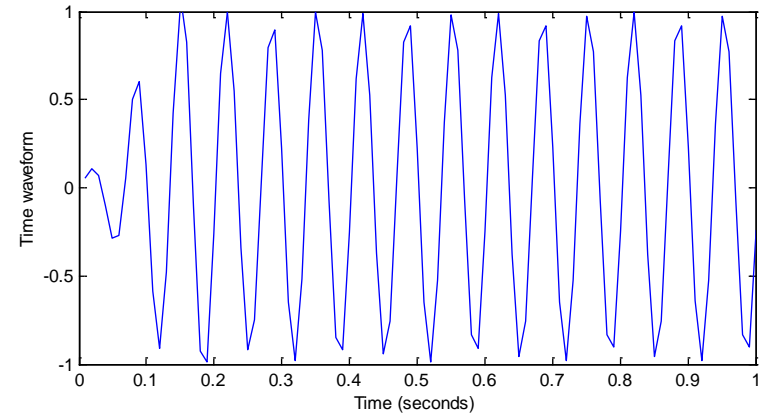
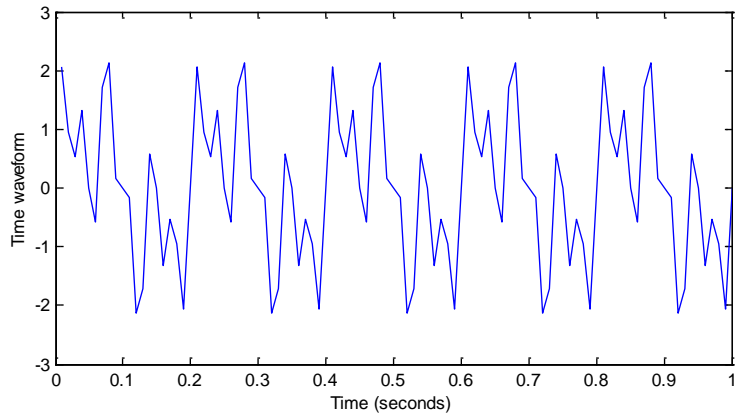
Ej: Eliminación ruido 50 Hz ECG.

# Filtrado

- Tipos de filtros:
  - Pasa-bajos (Lowpass)
  - Pasa-altos (Highpass)
  - Pasa-banda (Bandpass)
  - Rechaza-banda (Bandstop)
  - Multibanda (Multiband)

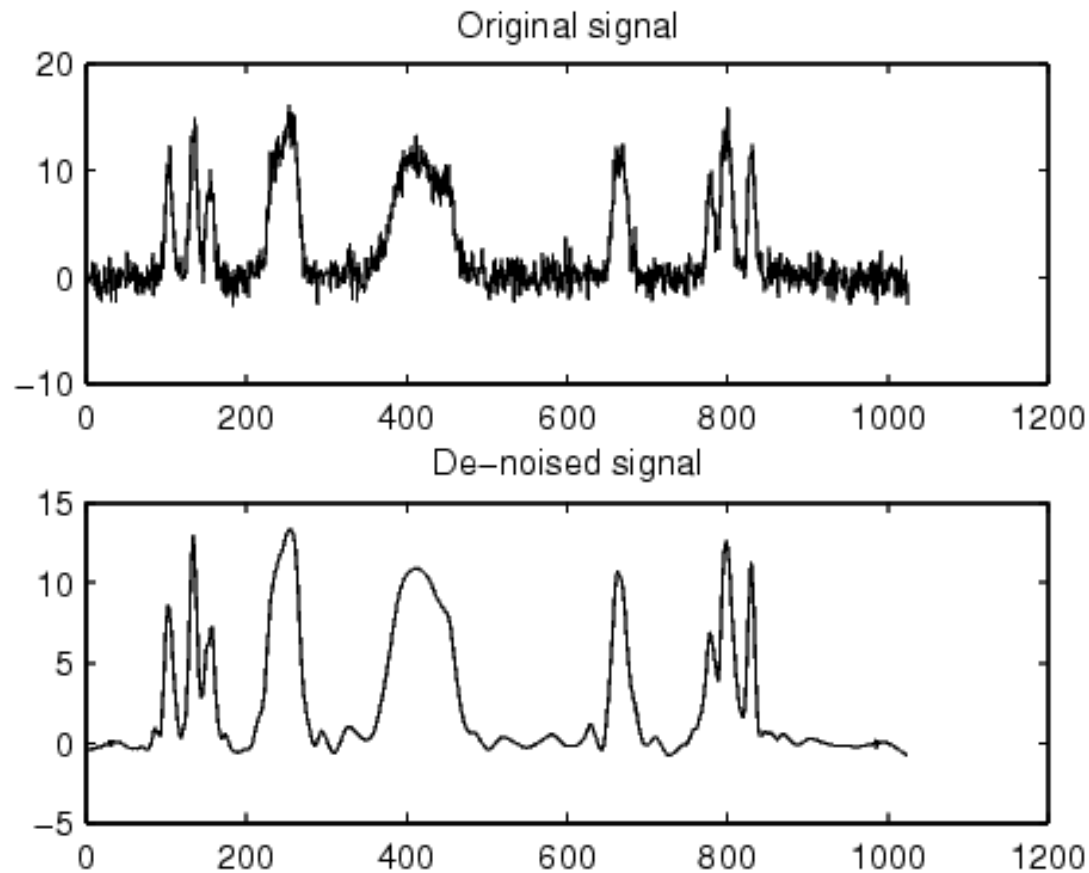


# Ejemplo Filtrado lineal 1D

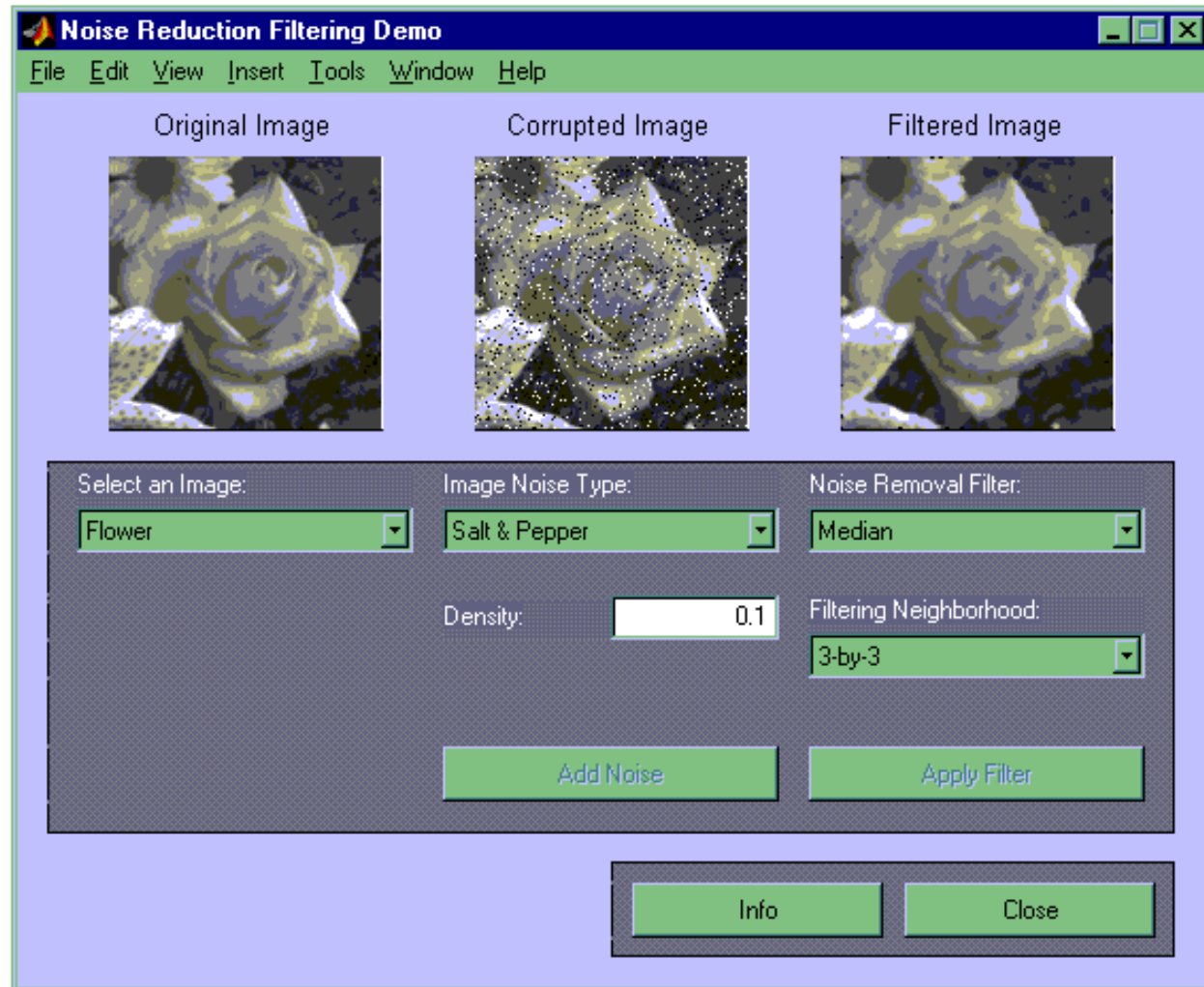


# Ejemplo Filtrado no lineal 1D

- Limpieza de ruido con Onditas



# Ejemplo Filtrado 2D





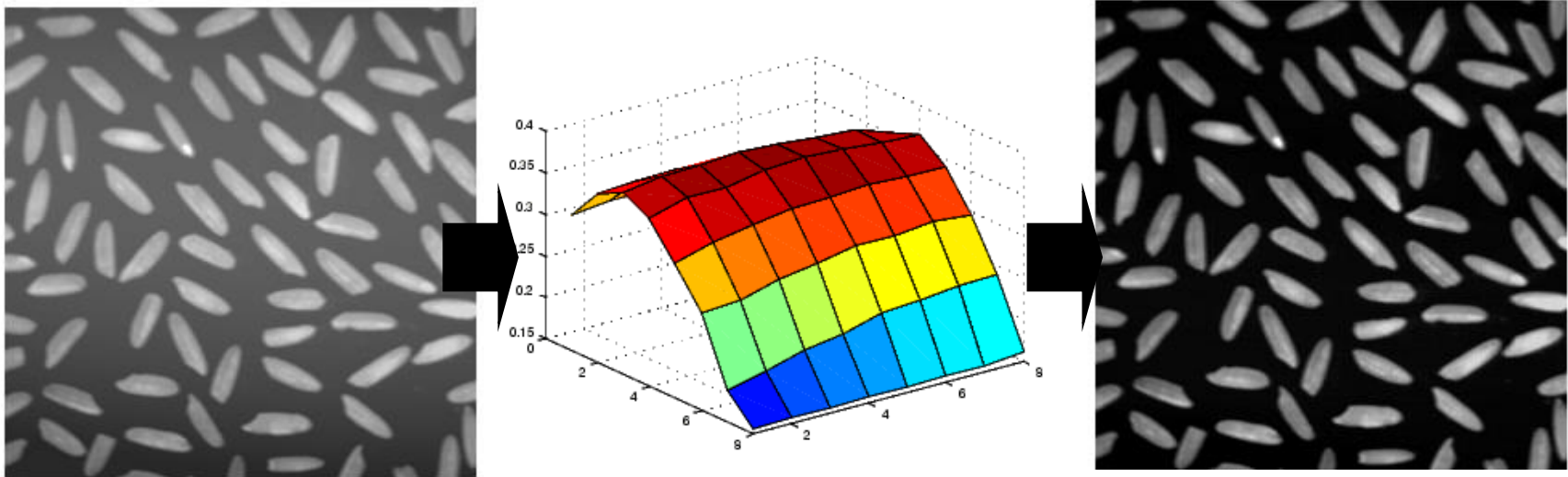
# Técnicas de Procesamiento de Señales

- Regeneración
  - Su objetivo es retornar la señal a su forma inicial, después que ésta haya sufrido algún tipo de distorsión.

Ej: Deconvolución de una Imagen Médica.

# Ejemplo: Regeneración

- Imagen con iluminación no uniforme:



# Técnicas de Procesamiento de Señales

- Detección
  - Determinación de la presencia o ausencia de una señal
  - Extracción de una señal útil de un ruido de fondo de grandes dimensiones.

Ej: Potenciales Evocados.

# Detección y correlación...

- La correlación cruzada puede ser utilizada para detectar y localizar una señal conocida de referencia inmersa en ruido:
  - Una copia de la señal conocida de referencia se correlaciona con la señal desconocida.
  - La correlación será alta cuando la referencia sea similar a la señal desconocida.
  - Un valor grande de correlación muestra el grado de confianza en la detección de la señal.
  - Este valor indica también cuando ocurre la señal de referencia.

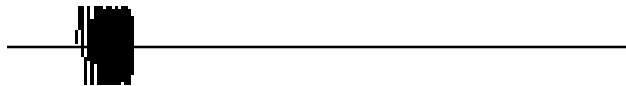
# Detección y correlación...



- Una señal “chirrido” (chirp) de radar o sonar ...



- emitida por un objeto “blanco” puede estar “enterrada” en ruido...



- pero correlacionándola con la referencia...



- revela claramente el momento en que se ha producido el eco...



**Otro ejemplo: detección del QRS**

# Técnicas de Procesamiento de Señales

- Identificación
  - Es un proceso complementario, que permite clasificar la señal observada.
  - Las técnicas de Correlación son frecuentemente usadas con este fin.
  - En el caso paramétrico culmina en la obtención de un conjunto de parámetros que caracterizan a la señal.

Ej: Diagnóstico Automático de Patologías (para casos complejos puede requerir el uso de técnicas de Reconocimiento de Patrones e IA).

# Identificación y correlación...

- La correlación cruzada puede ser utilizada para identificar una señal por comparación con una librería de señales conocidas de referencia:
  - La señal desconocida es correlacionada con un número de señales conocidas de referencia.
  - La mayor correlación corresponde al patrón o referencia más similar.

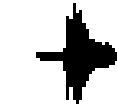
# Identificación y correlación...

- Por ejemplo:

El canto de un ruiseñor...



se correlaciona fuertemente con otro ruiseñor...



pero débilmente con una paloma...



o un herón...





# Identificación y correlación...

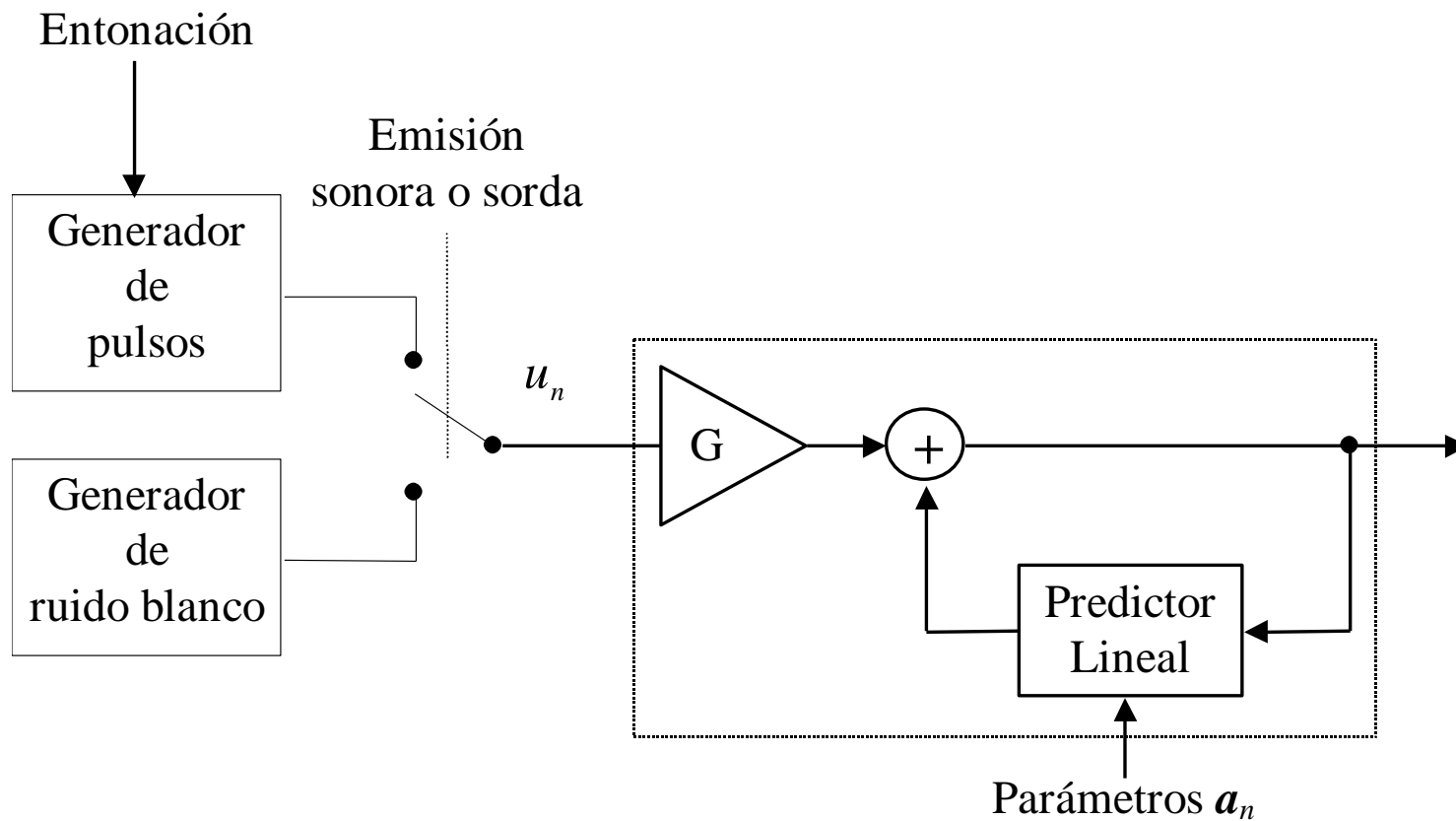
- La correlación cruzada es una de las formas en las cuales un sonar puede identificar distintos tipos de cuencas o lechos:
  - Cada cuenca tiene una “firma” de sonar única.
  - El sistema del sonar posee una librería de ecos pregrabados desde diferentes cuencas.
  - Un eco de sonar desconocido se correlaciona con la librería de ecos de referencia.
  - Cuando más grande es la correlación más probable es la coincidencia.

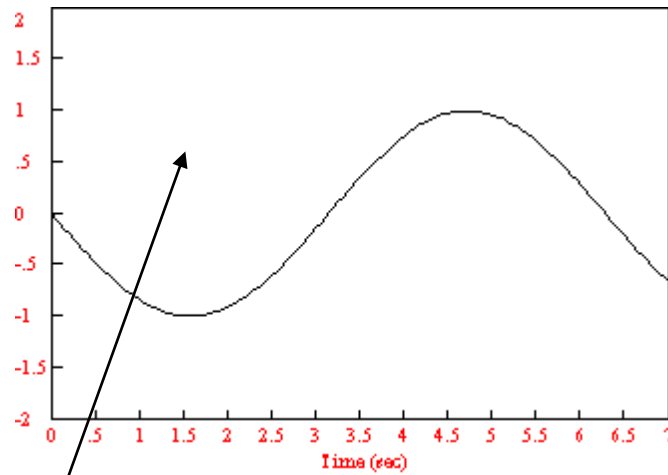
# Técnicas de Procesamiento de Señales

- Síntesis
  - Es la operación opuesta al análisis, consiste en crear una señal con una forma apropiada mediante la combinación, por ejemplo, de un número de señales elementales.

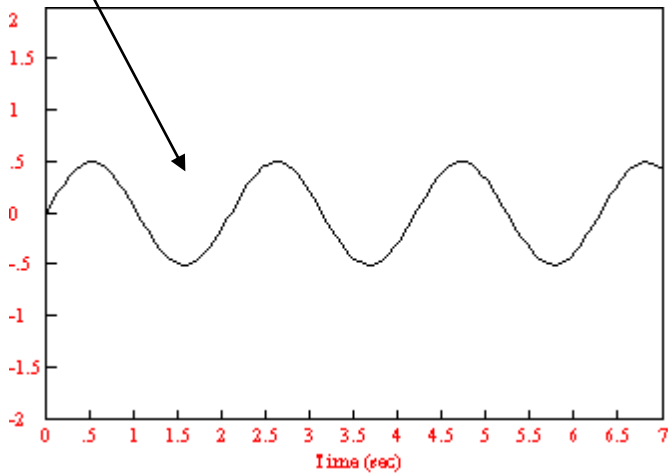
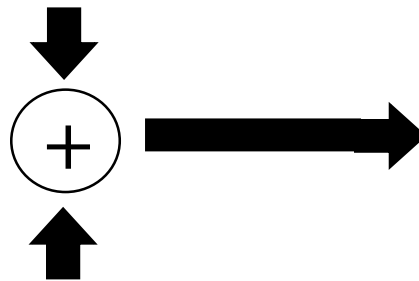
Ej: Sintetizador de Voz Artificial.

# Ej: Sintetizador paramétrico de voz

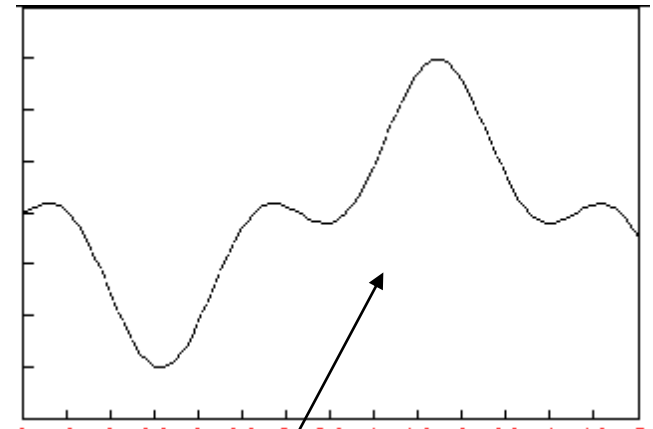




**Osciladores**



**Síntesis no paramétrica**



**Señal sintetizada**

# Técnicas de Procesamiento de Señales

- Codificación

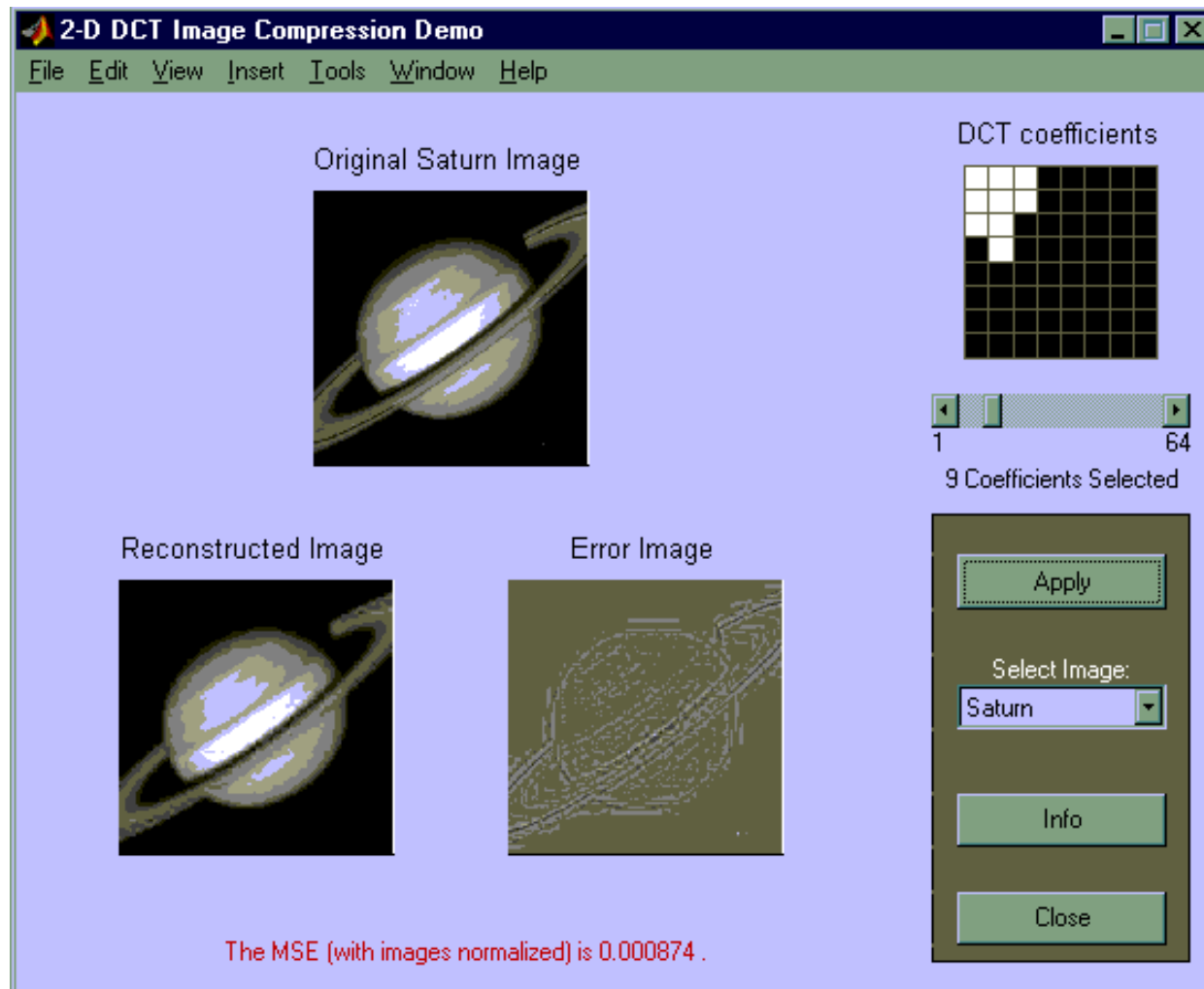
- 1) Reducción de redundancia en una señal.

- Es frecuentemente usada aprovechar el ancho de banda o el volumen de memoria de una computadora. Ej: Compresión de ECG.

- 2) Reducción de los efectos del ruido

- La modulación y traducción a frecuencias son las formas principales de adaptar una señal a las características de una línea de transmisión, de un filtro analizador, o de un medio de registro. Ej: Transmisión de ECG por TE.

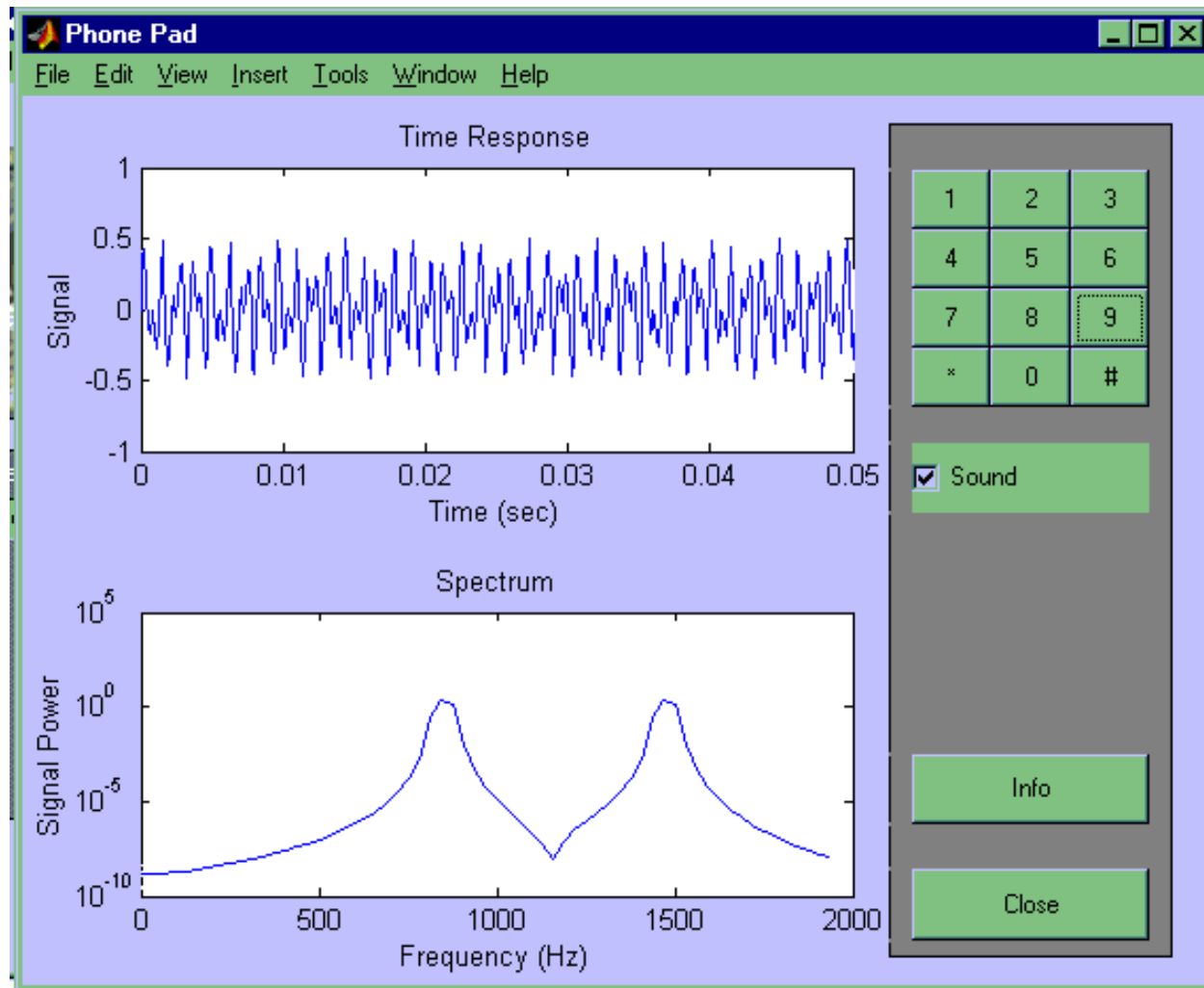
# Ejemplo de Codificación (1)



# TP N°1: Procesamiento Digital de Señales

- Ejercicios obligatorios para presentar (del libro “Introducción a las Señales y los Sistemas Discretos”).
  - Ejercicios 1 a 6, 9 y 10 del Capítulo 1.
  - Ejercicio 3 del Capítulo 3 (usar frecuencia de muestreo de 100 Hz) .
- La resolución de los ejercicios originales del TP1 es opcional para repaso e introducción a Matlab.

# Ejemplo de Codificación (2)





# Bibliografía para esta Unidad

En general se puede encontrar una introducción a señales en casi cualquier texto de “Señales y Sistemas”. Por ejemplo:

- Sinha: 2.1 a 2.5
- Kwakernaak: 1.1 a 1.3, 2.1 a 2.3, 2.5
- Oppenheim-Willsky: 2.1 a 2.4
- Cohen: 1.2, 1.3, 3.3

(Las referencias completas se encuentran en el libro de la Cátedra)