

# Señales y Sistemas

## Presentación del curso

Instituto de Ingeniería Eléctrica



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# Docentes



Federico Lecumberry



Pablo Cancela



Santiago Martínez



César Azambuya

# Horarios y salones

- Teórico. Martes 10:00 a 12:00 salón 303
- Teórico-Práctico. Jueves 10:00 a 12:00 (Consultas) por Zoom
- Práctico. Viernes de 11:30 a 13:30 salón B21

# Señales y sistemas

- Créditos: 11
  - 11 horas semanales de *dedicación total*
- Previas
  - 35 créditos en el Física y 50 en Matemática.
  - Cursos: Ecuaciones Diferenciales y Teoría de Circuitos.
  - Exámenes: Física 1, Física 3, Física Experimental 1, Geometría y Álgebra Lineal (GAL) 1, GAL 2, Cálculo Diferencial e Integral (CDI) en una variable, CDI en varias variables.

# Metodología de enseñanza

- Enseñar y **aprender**
- La propuesta es de *aula invertida*.
- La metodología de trabajo es la siguiente (3 + 2 + 2 + 4):
  - **trabajo previo al aula.** Incluye lectura del libro, ver videos de teórico, abordaje de ejercicios. Los videos pueden sumar unas 3 horas. Es recomendable destinar entre jueves y lunes a este trabajo previo.
  - **actividad en el aula.**
    - Los martes de 10:00 a 12:00 horas realizamos un clase presencial con actividades de *enseñanza activa*, con base en el trabajo previo y con énfasis en resaltar los principales conceptos teóricos y su aplicación.
    - Los viernes de 11:30 a 13:30 horas es la clase de consulta presencial donde se aborda la resolución de ejercicios seleccionados del tema correspondiente.
  - **actividades post-aula.** Repaso, clases de consultas y ejercicios de la segunda mitad de la semana.
  - Jueves de 10:00 a 12:00 clase de consulta teórico-práctica remota (Zoom)

# Metodología de enseñanza

## Señales y Sistemas: Cronograma 2023

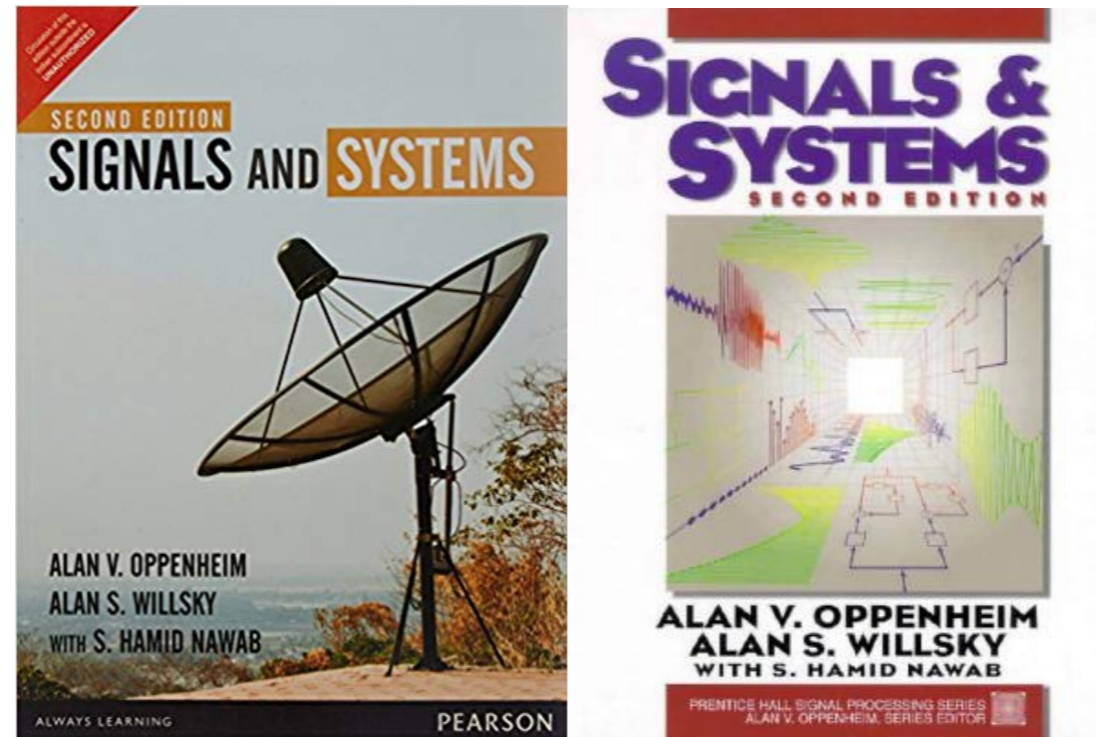
Fecha, Clase	Tema	Descripción	Libro
Ma 28/feb. T 01	Introducción	Resumen del curso, objetivo, modalidad de aprobación, laboratorios, conocimientos previos requeridos.	
1 Ju 02/mar. T 02	Señales y Sistemas	Señales continuas y discretas, señales periódicas, exponenciales y sinusoidales, escalón unitario. Sistemas continuos y discretos.	1.1 - 1.3
Vi 03/mar. P 01	Prácticos 0 y 1	Señales y Sistemas	
			
3 Ma 14/mar. T 05	Sistemas LTI	Representación de señales continuas y discretas en términos de impulsos, suma e integral de convolución, respuesta al impulso. Propiedades de los sistemas lineales e invariantes en el tiempo.	2.1 - 2.5
Ju 16/mar. T 06	Sistemas LTI	Sistemas caracterizados por ecuaciones diferenciales o de diferencias. Funciones singulares: impulso unitario, y su definición mediante la convolución.	
Vi 17/mar. P 03	Práctico 2	SLITs	
4 Ma 21/mar. T 07	Series de Fourier	Definición. Respuesta de sistemas LTI a exponenciales complejas. Convergencia y propiedades de las SdeF, Parseval. SdeF de señales periódicas discretas.	3.1 - 3.11
Ju 23/mar. T 08	Series de Fourier	SdeF y sistemas LTI. Filtrado.	4.1
Vi 24/mar. P 04	Práctico 3	Series de Fourier	
5 Ma 28/mar. T 09	Transformada de Fourier de Tiempo Continuo (CTFT)	Extensión de la SdeF a señales no periódicas. Transformada de Fourier de tiempo continuo (CTFT). Definición, propiedades, Parseval.	4.2 - 4.7
Ju 30/mar. T 10	Transformada de Fourier de Tiempo Continuo (CTFT)	Convolución, ejemplos, sistemas definidos por ecuaciones diferenciales lineales.	
Vi 31/mar. P 04	Práctico 4	Transformada de Fourier de Tiempo Continuo (CTFT)	

# Forma de evaluación


- El examen con contenidos teóricos y prácticos tiene dos partes
  - una primera parte escrita eliminatoria
  - una segunda parte oral
- Se realizarán dos pruebas parciales presenciales de 40 y 60 puntos, respectivamente.
- La segunda prueba tiene un mínimo de 15 puntos, requerido para ganar el curso. De acuerdo a los puntos obtenidos en las dos pruebas parciales se podrá:
  - **exonerar la parte escrita del examen** de la asignatura acumulando 60 o más puntos entre las dos pruebas.
  - **ganar el curso** obteniendo 15 puntos o más en la segunda prueba, y acumulando entre las dos pruebas más de 25 y menos de 60 puntos, debiendo en este caso dar el examen para aprobar la asignatura, o
  - **reprobar la asignatura** acumulando menos de 25 puntos entre las dos pruebas u obteniendo menos de 15 puntos en la segunda prueba.
- El examen se puede dar en calidad de libre.

# Materiales

- Libro del curso



V Oppenheim, S. Willsky, S. Hamid Nawab, *Signals and Systems*, Prentice Hall 2nd Edition, 1998 / Pearson 2nd Edition, 2015.

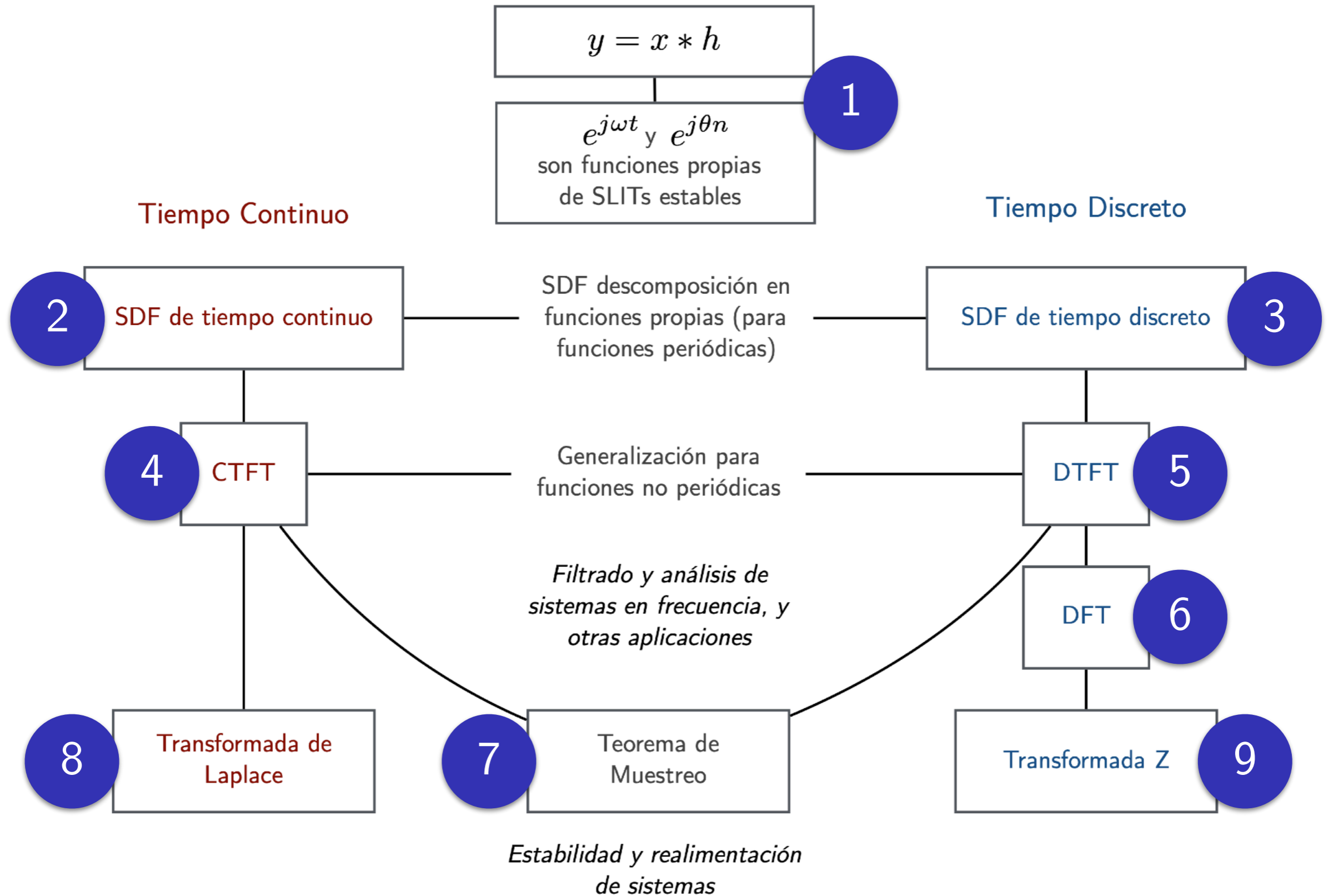
- EVA
- Open Flng 



# Conceptos centrales del curso

- Señales y sistemas
- Transformada de Fourier
- Muestreo y procesamiento digital

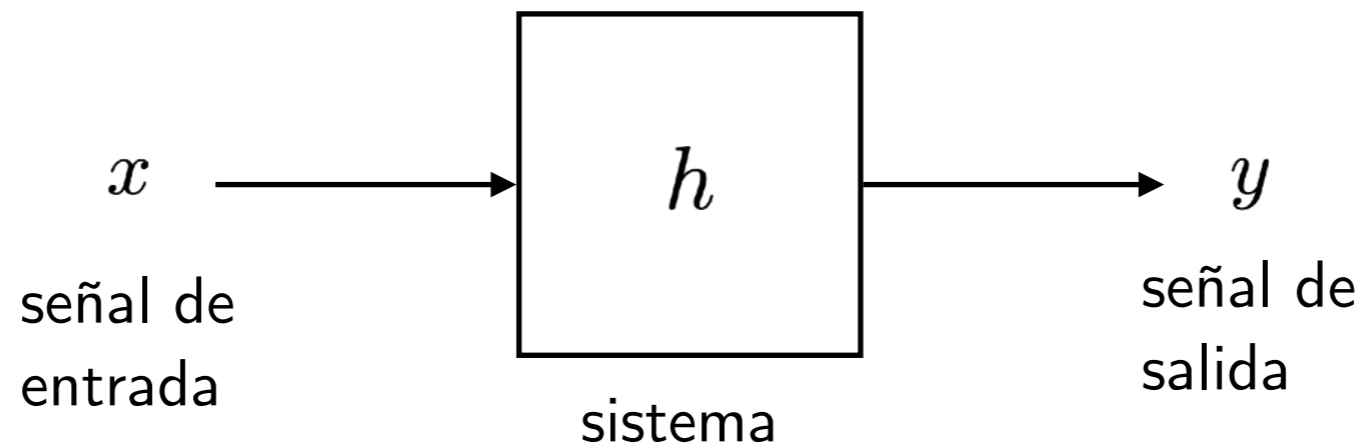
# Señales y sistemas

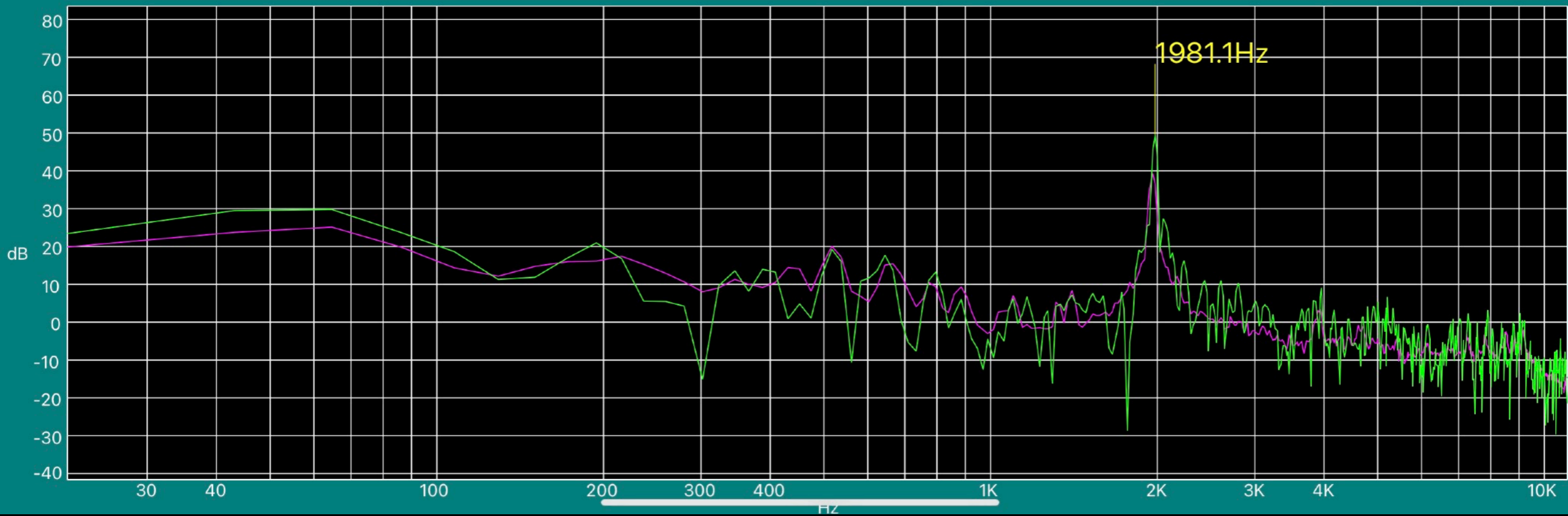
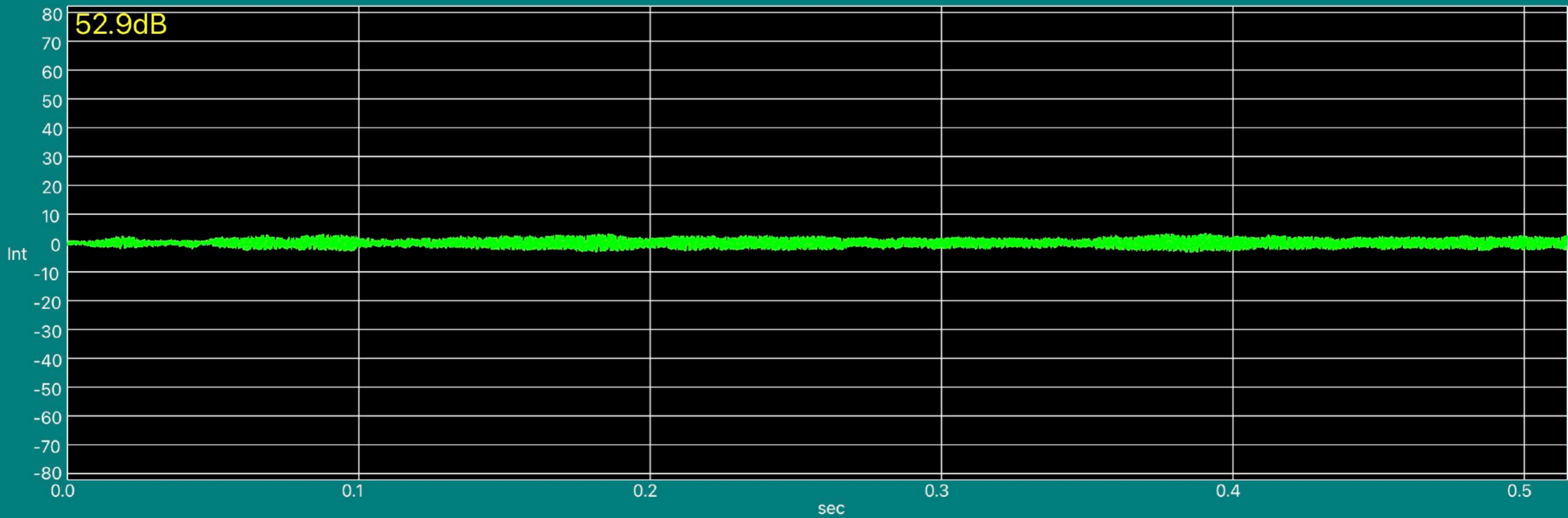


\* tiempo o variable

# Señales y sistemas

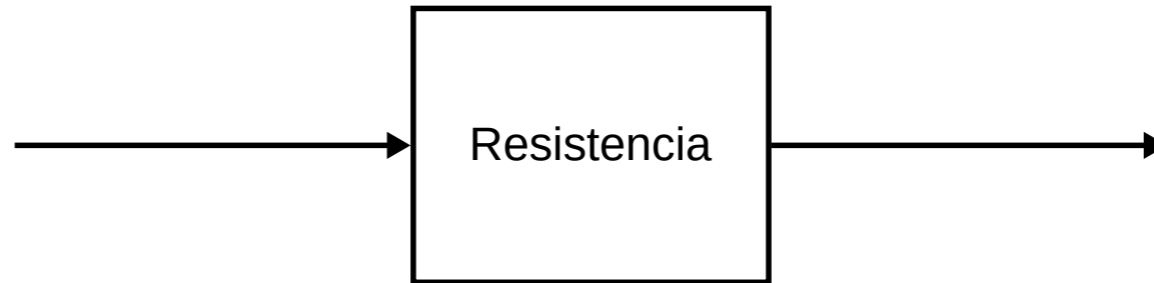
- Señal: función de una o más variables que representa un fenómeno de interés.
- Sistema: una transformación o procesamiento de señales.
  - Análisis: modelar un sistema existente
  - Diseño: construir un sistema
- Tiempo o variable
  - continua  $x(t)$
  - discreta  $x[n]$



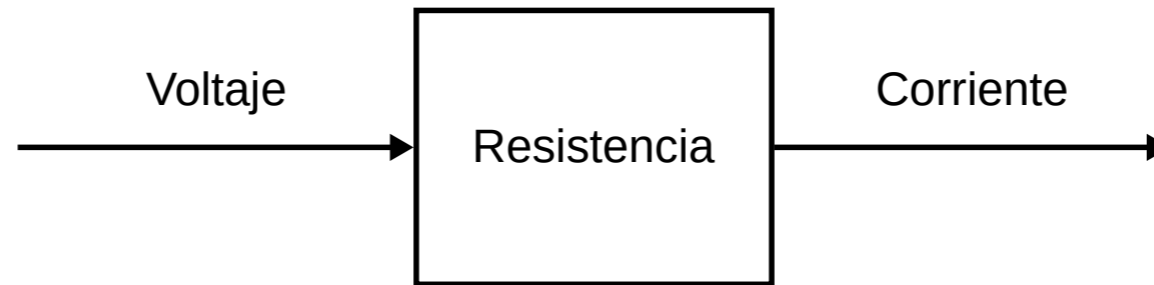




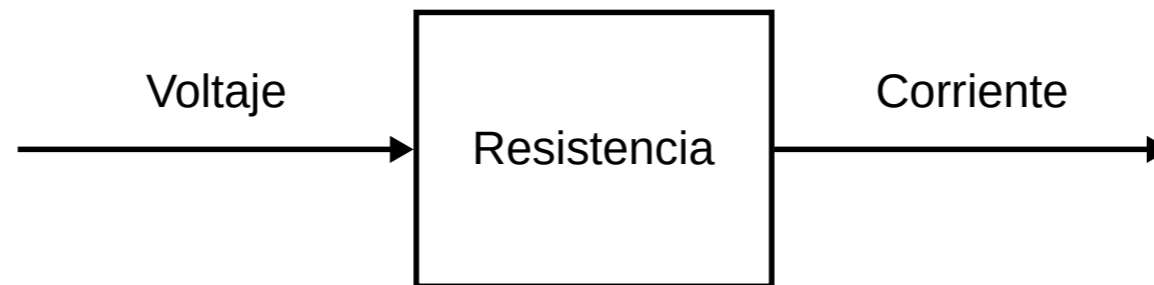
# Ejemplos



# Ejemplos



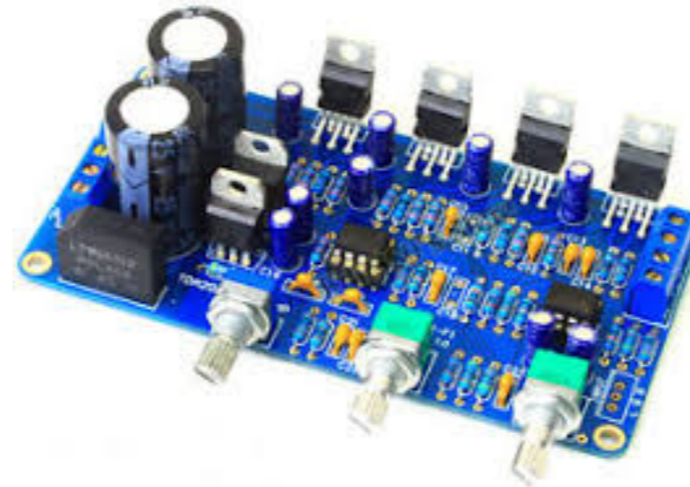
# Ejemplos



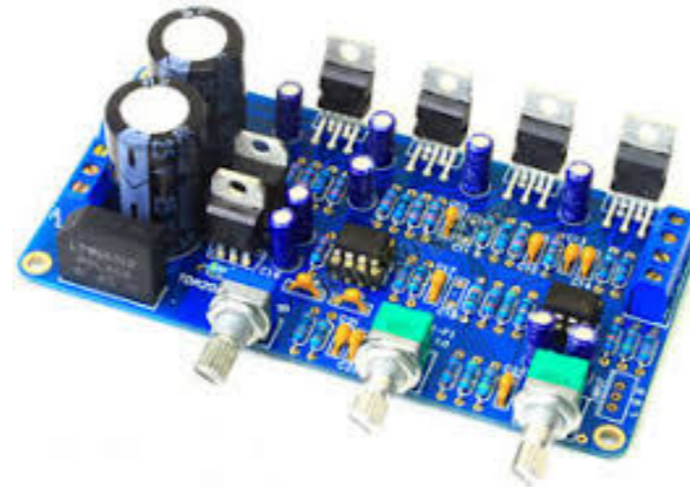
- ▶ Modelar implica una aproximación razonable de la realidad



# Ejemplos: electrónica



# Ejemplos: electrónica



# Ejemplos



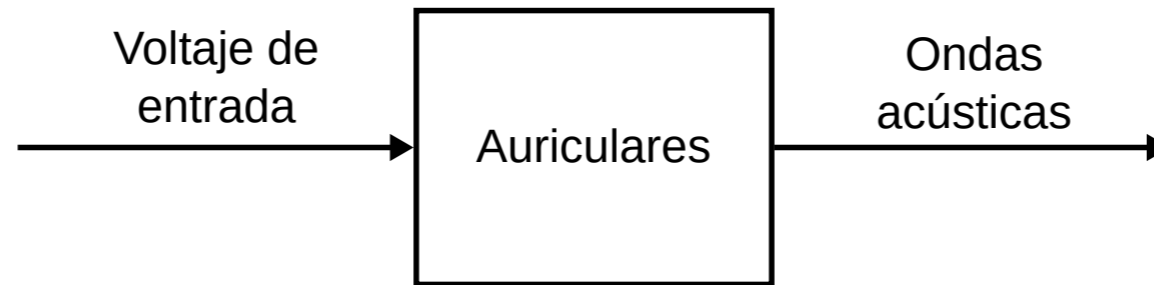
# Ejemplos



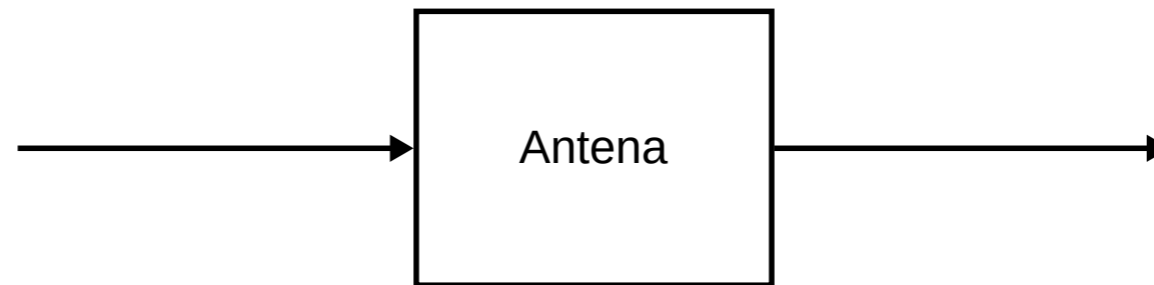
# Ejemplos



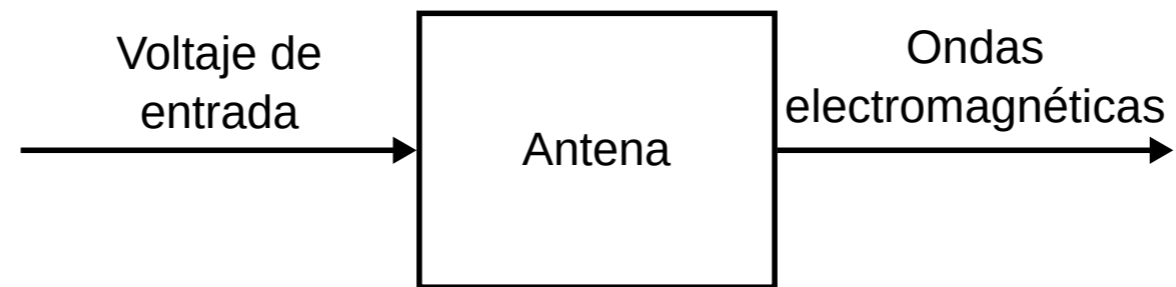
# Ejemplos



# Ejemplos:telecomunicaciones

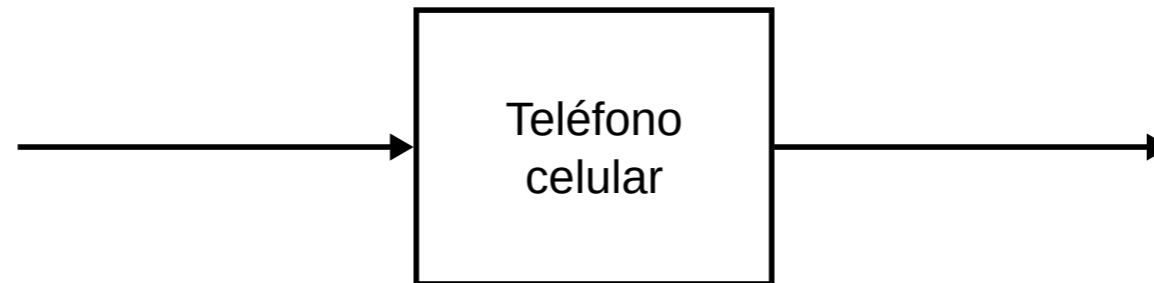


# Ejemplos:telecomunicaciones

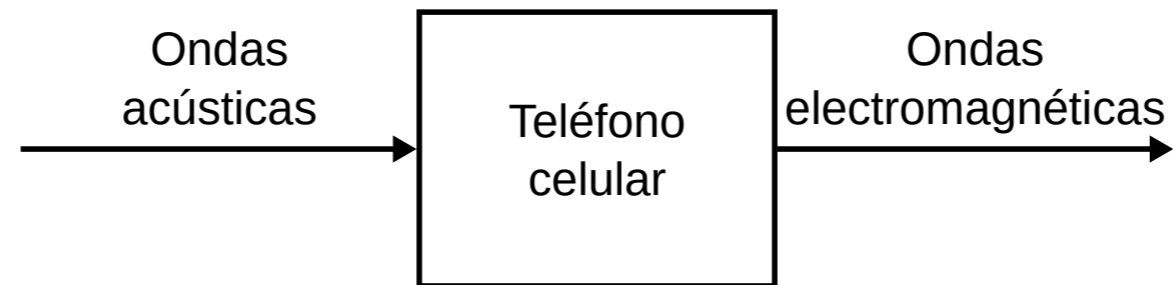




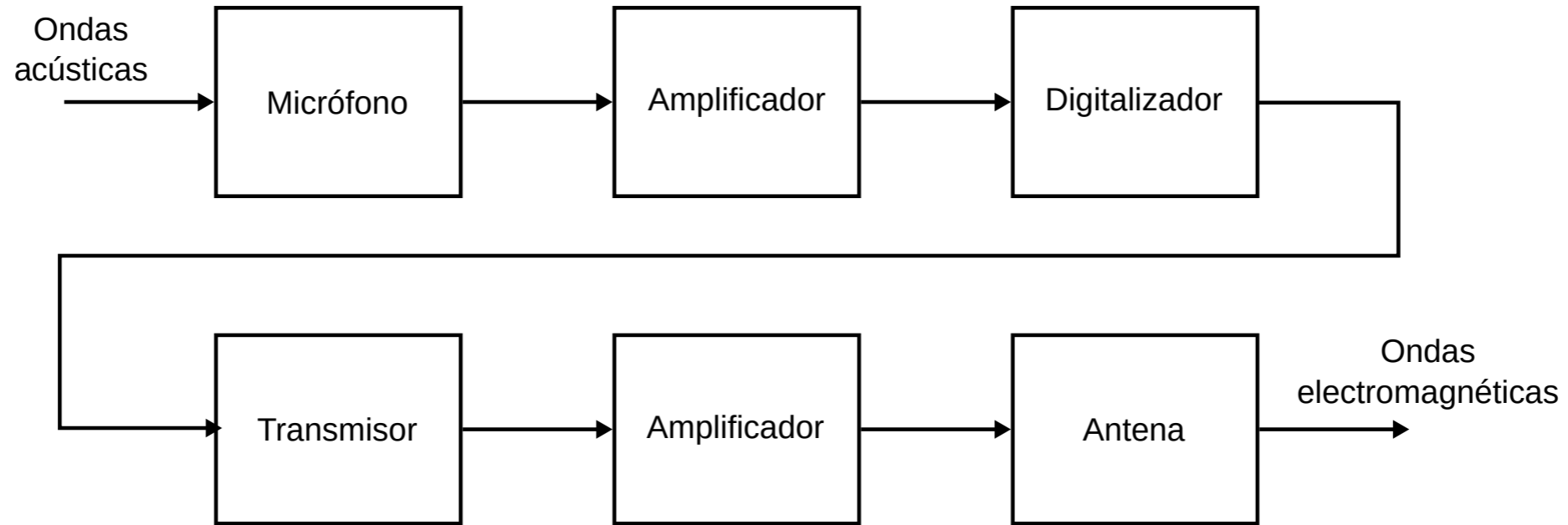
# Ejemplos



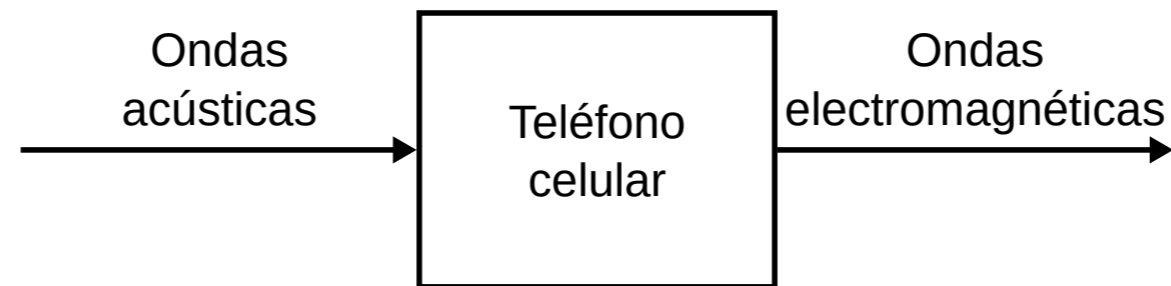
# Ejemplos



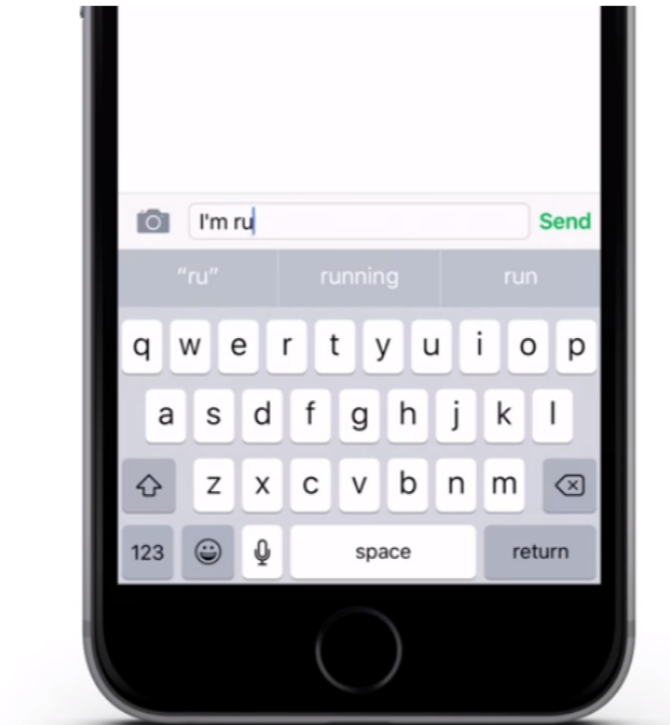
# Ejemplos



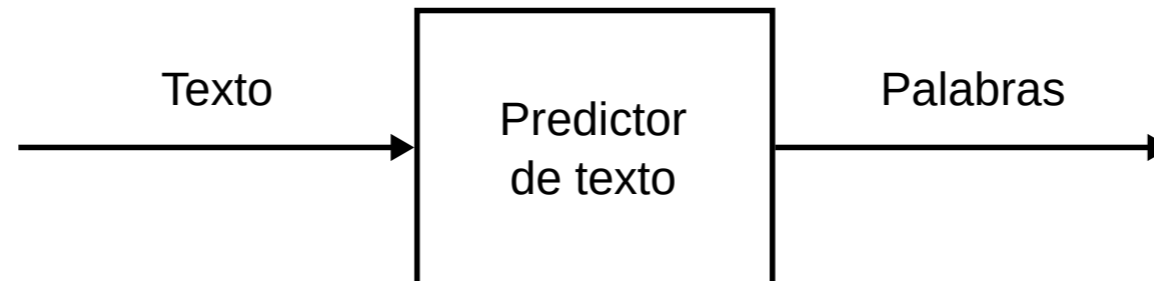
- Combinando sistemas obtenemos un nuevo sistema



# Ejemplos: aprendizaje automático

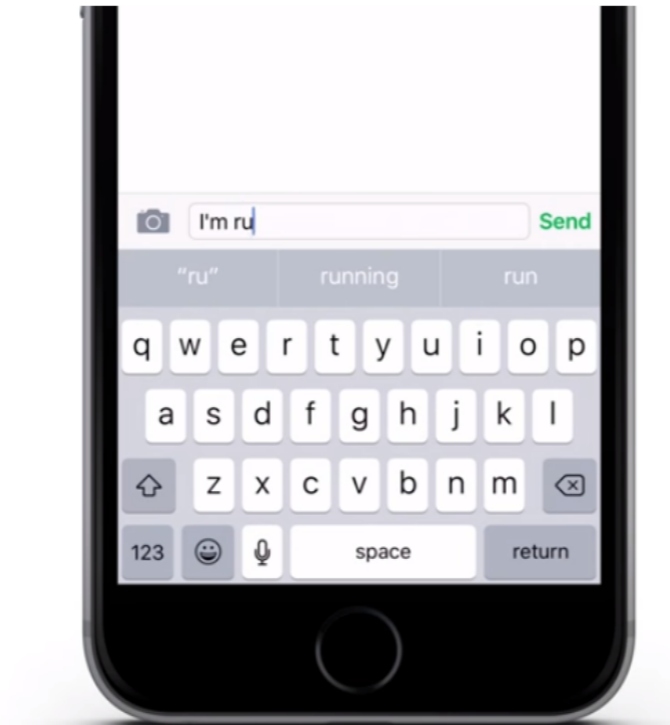


- ▶ Podemos modelar varios sistemas para un mismo ítem.

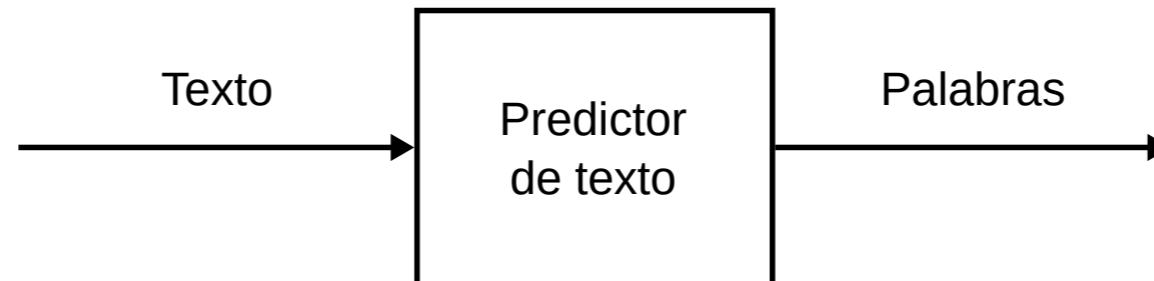


- ▶ Siempre buscamos simplificar: aquí no importa cómo se obtiene el texto.

# Ejemplos: aprendizaje automático

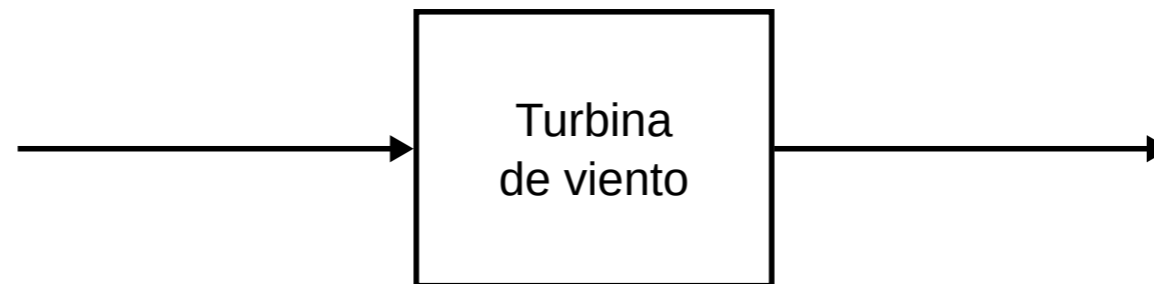


- ▶ Podemos modelar varios sistemas para un mismo ítem.

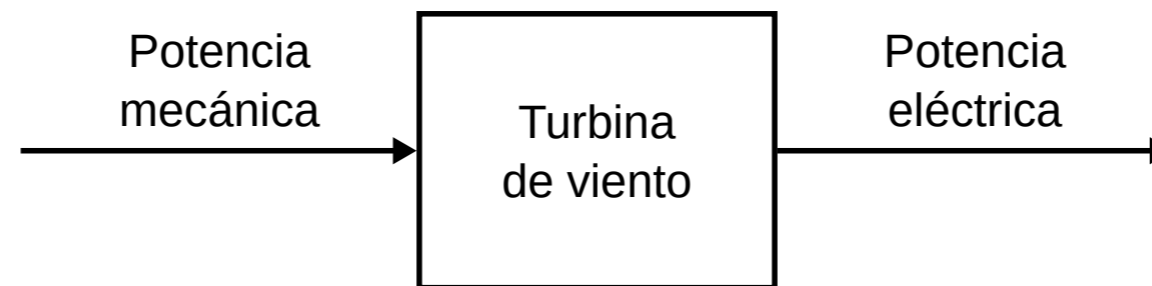


- ▶ Siempre buscamos simplificar: aquí no importa cómo se obtiene el texto.

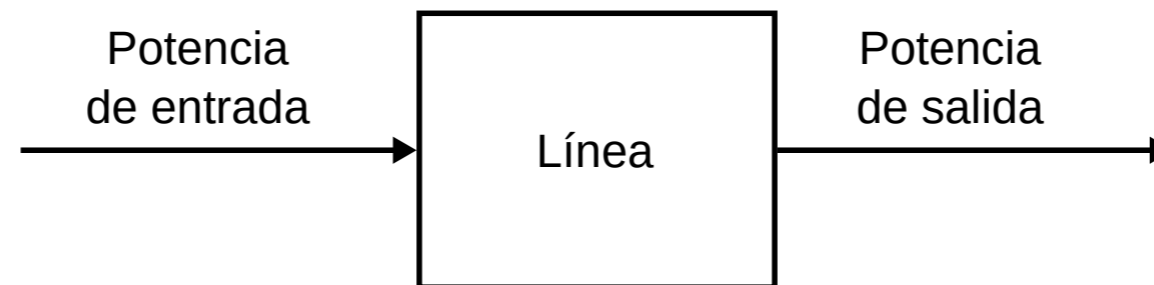
# Ejemplos: sistemas eléctricos



# Ejemplos: sistemas eléctricos

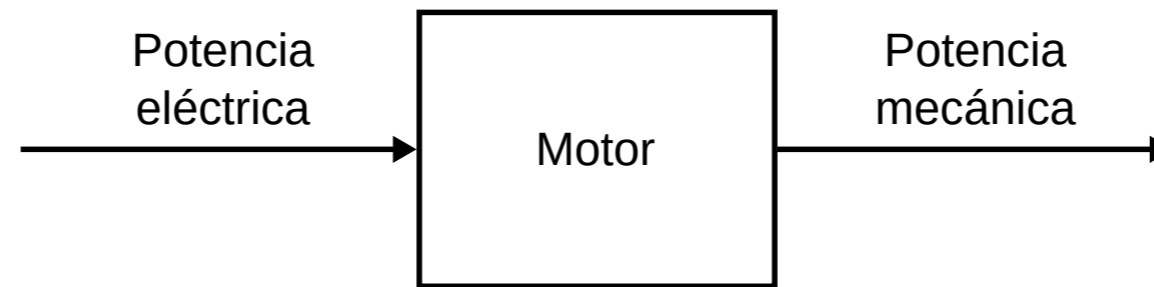


# Ejemplos: sistemas eléctricos

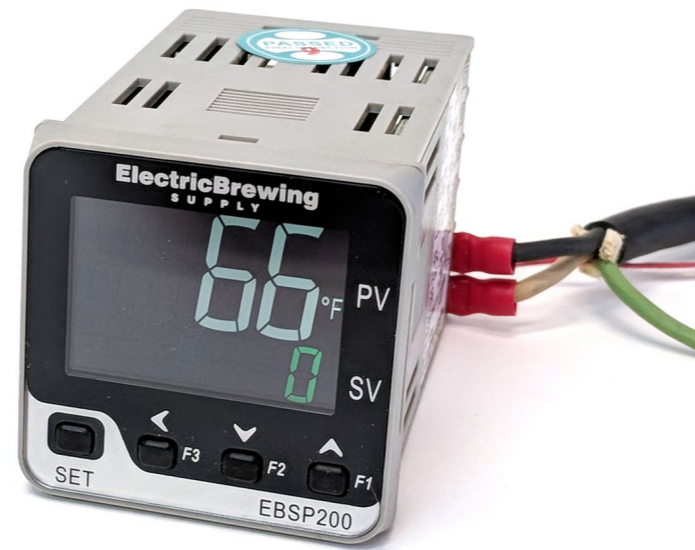




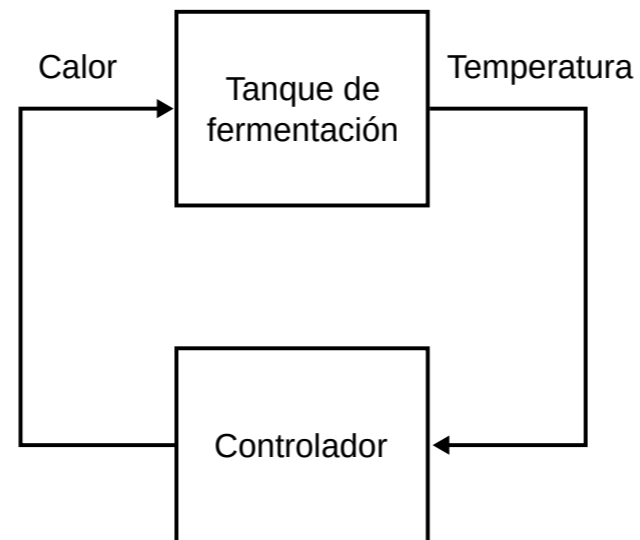
# Ejemplos: sistemas eléctricos



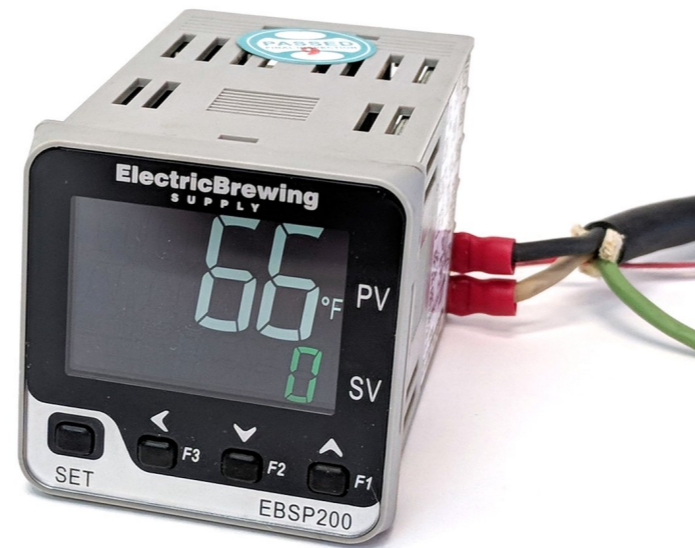
# Ejemplos: control



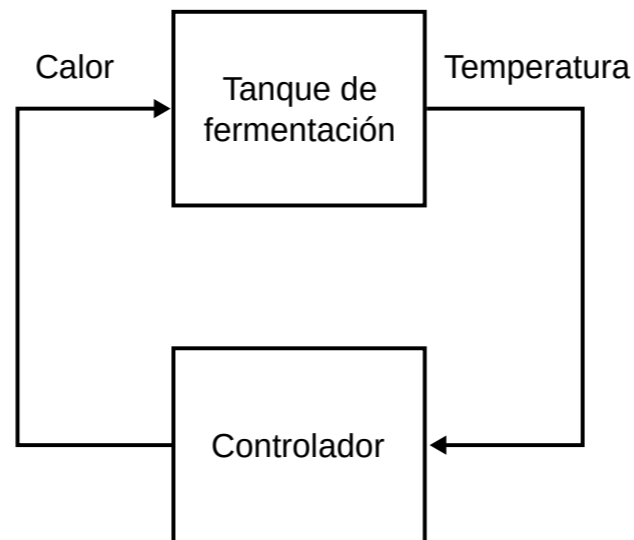
- ▶ Idea: diseñar sistemas que actúen sobre otros sistemas.



# Ejemplos: control

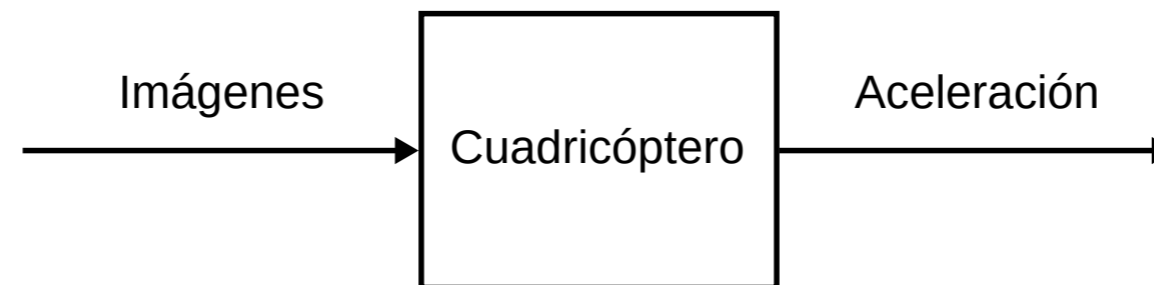


- ▶ Idea: diseñar sistemas que actúen sobre otros sistemas.

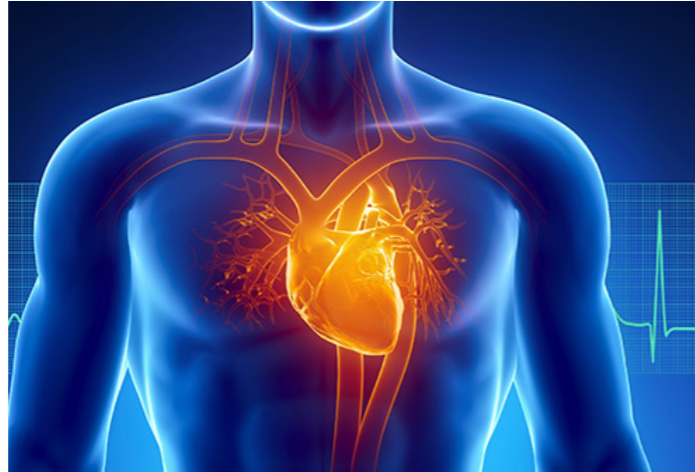


- ▶ Control de temperatura, velocidad, potencia, voltaje, y sistemas en general
- ▶ Concepto de realimentación: mirar la salida del sistema para decidir una acción
- ▶ Conexión con aprendizaje automático: ver qué sucede y cambiar el comportamiento

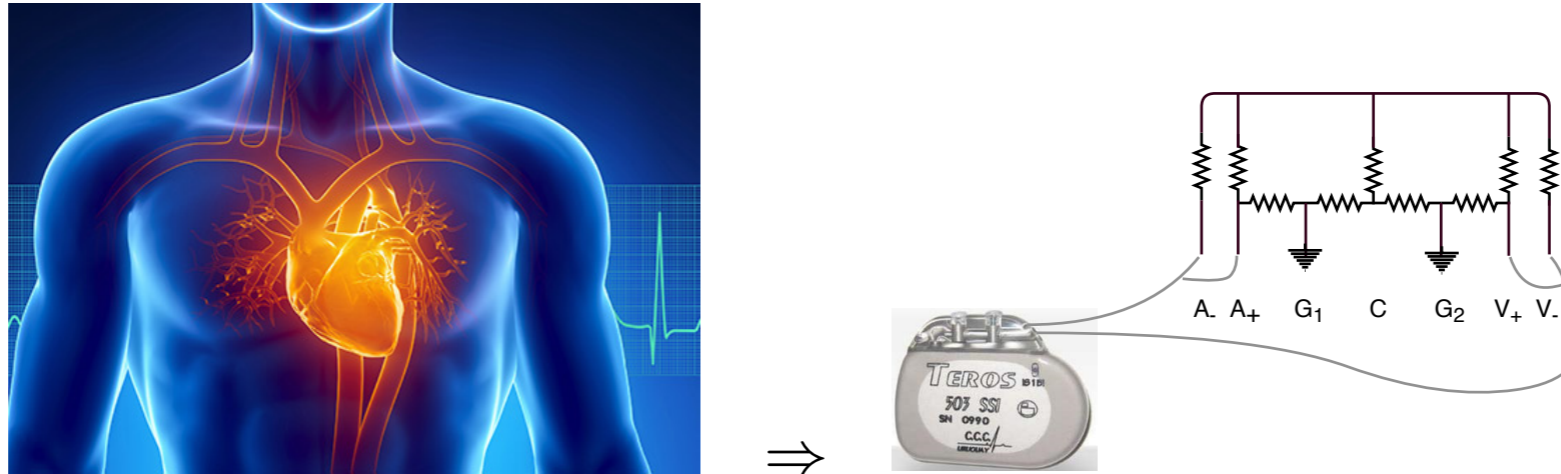
# Ejemplos: control y aprendizaje automático



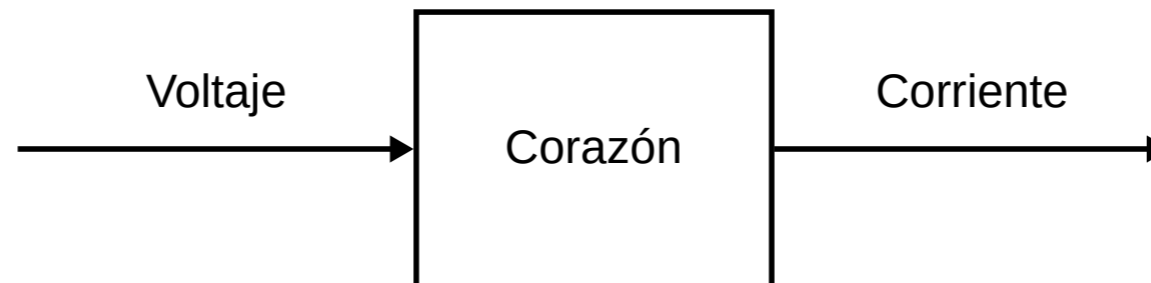
# Ejemplos: ingeniería biomédica



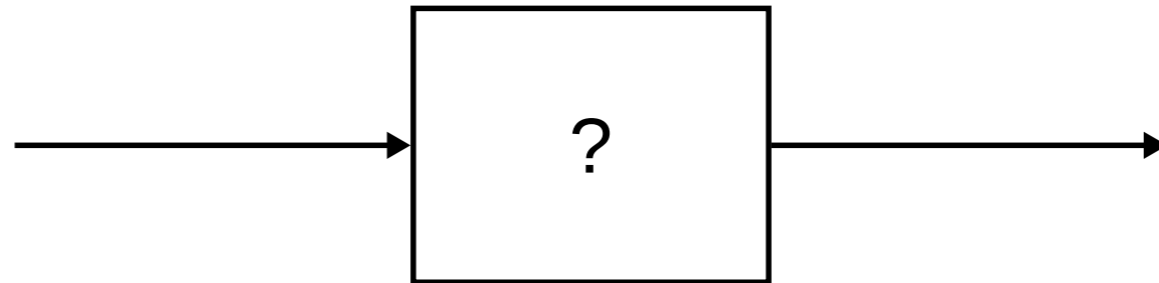
# Ejemplos: ingeniería biomédica



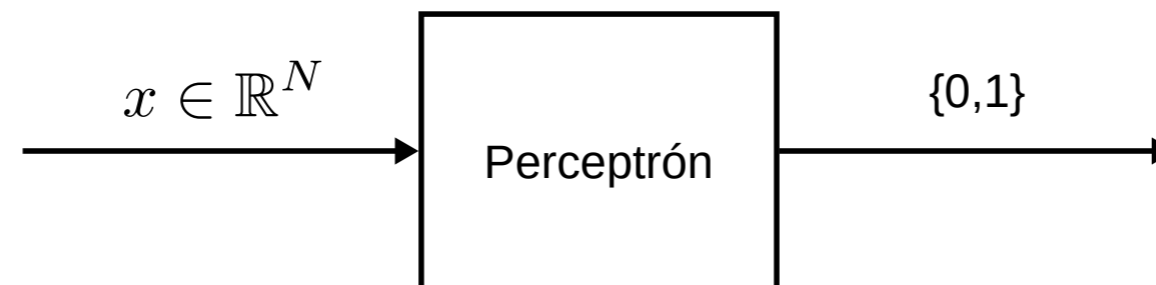
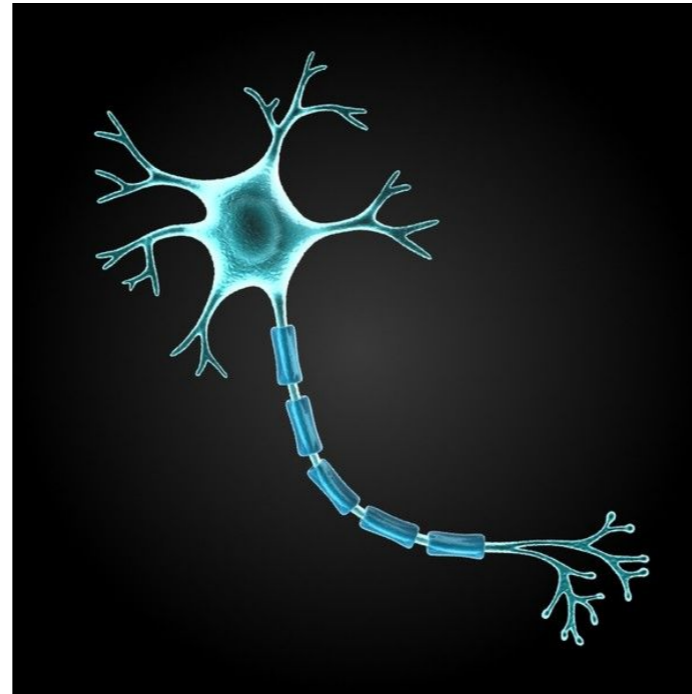
- ▶ Se busca un modelo sencillo para ensayar marcapasos
- ▶ F. Arzuaga, J. Barboza, S. Nogueira "Simulador de Corazón CHS01," Tesis PFC (Tutor: F. Silveira).



# Ejemplos

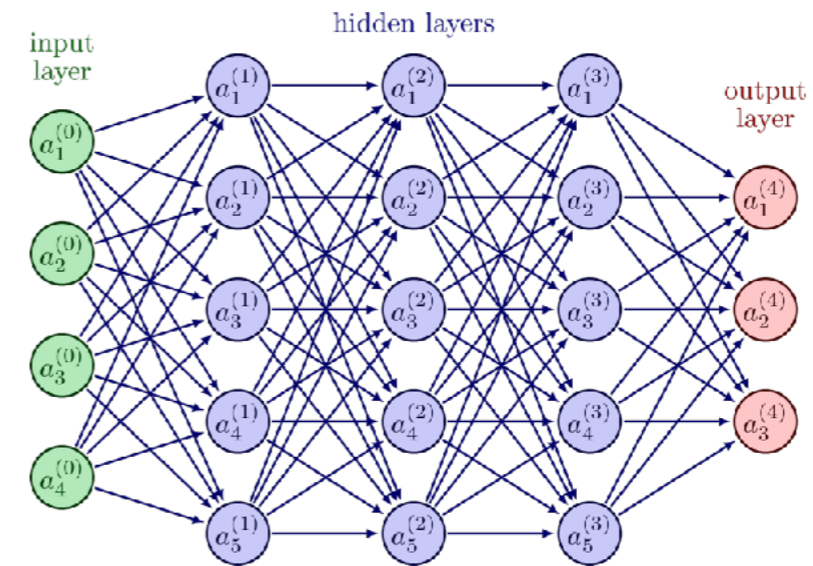
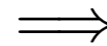


# Ejemplos: neurona artificial

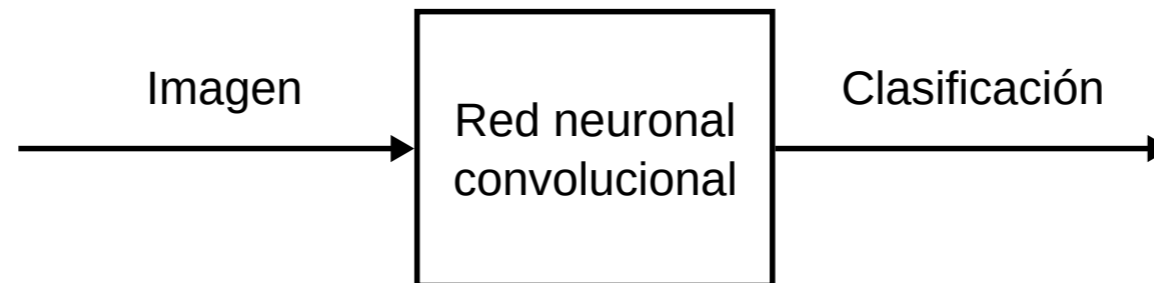




# Ejemplos: redes neuronales



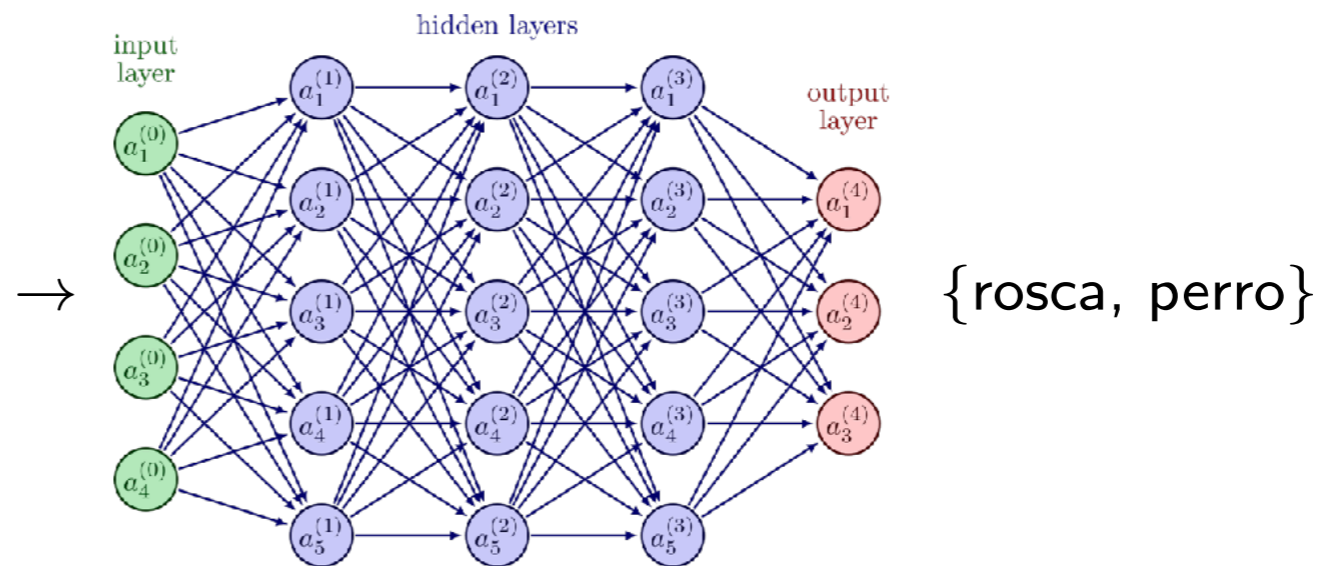
- ▶ Uniendo múltiples neuronas se obtiene una red neuronal



- ▶ Permite clasificaciones de entradas más complejas
- ▶ Se basan en el *producto de convolución*

# Ejemplos: aprendizaje automático

Puppy or Bagel?



- ▶ Aplicación de CNNs (Convolutional Neural Networks) a la detección de objetos en imágenes

# Señales y sistemas

- ▶ En resumen
  - ▶ Señales y sistemas modelan fenómenos de distinta complejidad.
  - ▶ Un mismo fenómeno es modelado de distintas formas según el objetivo.
  - ▶ Siempre se intenta simplificar.
  - ▶ Este curso: sistemas lineales e invariantes en el tiempo.

# Espectro de frecuencia

- ▶ Caracterización alternativa de una señal

# Espectro de dos tonos puros

- ▶ Frecuencias altas (bajas) se representan con valores altos (bajos) en el espectro

# Representación en el dominio del tiempo

- ▶ Frecuencias bajas y altas corresponden a transiciones temporales lentas o rápidas
- ▶ Espectro: representación alternativa de una señal que sintetiza información

# Frecuencias en imágenes

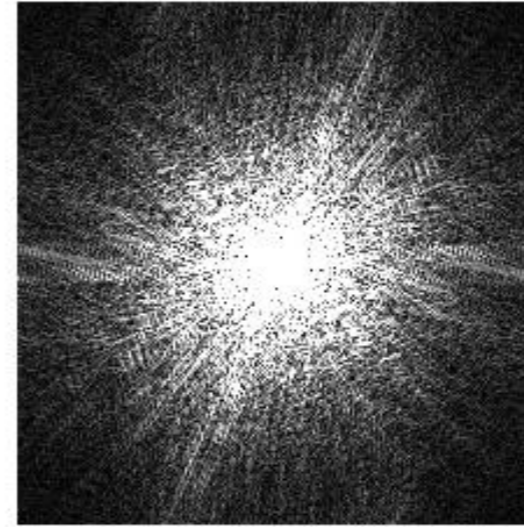


Figura: Imagen en tonos de gris y su distribución de frecuencias

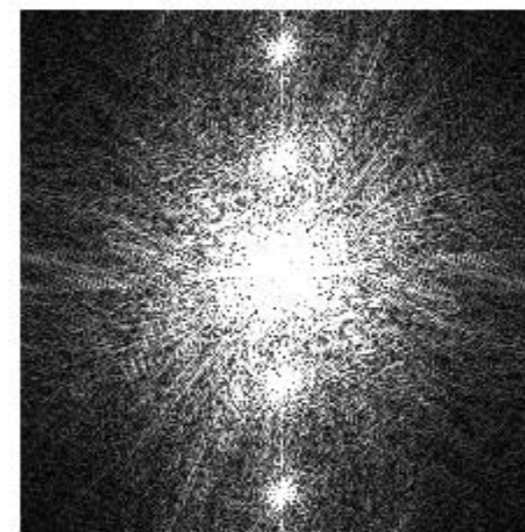
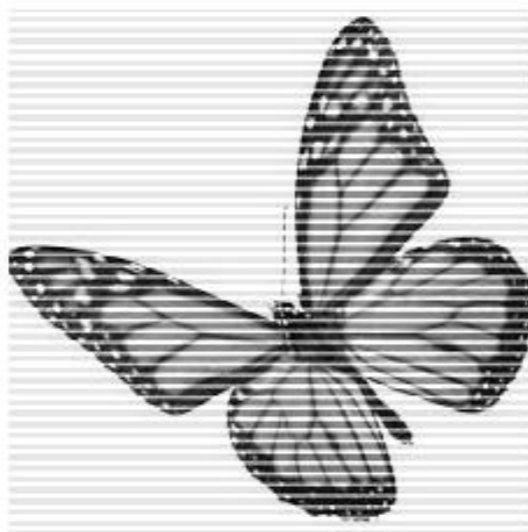


Figura: Imagen con distorsión y su distribución de frecuencias

Idea: variaciones rápidas  $\implies$  alta frecuencia

# Frecuencias en las imágenes

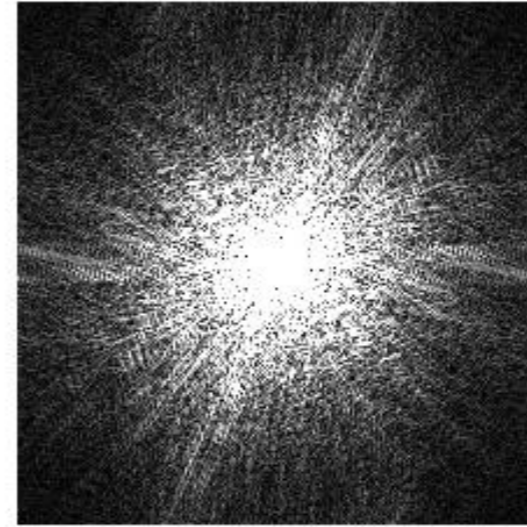


Figura: Imagen en tonos de gris y su distribución de frecuencias

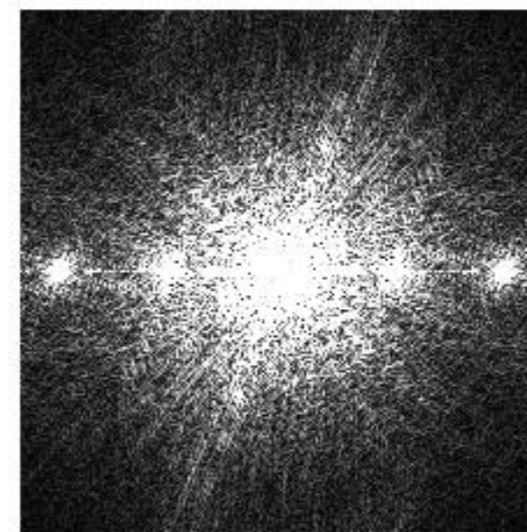
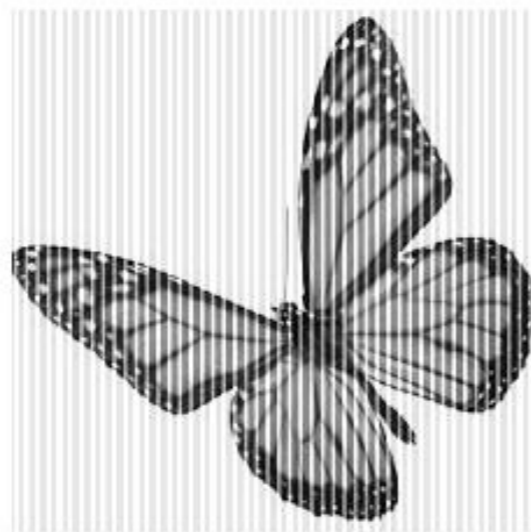


Figura: Imagen con distorsión y su distribución de frecuencias

Idea: variaciones rápidas  $\implies$  alta frecuencia



# Modulación

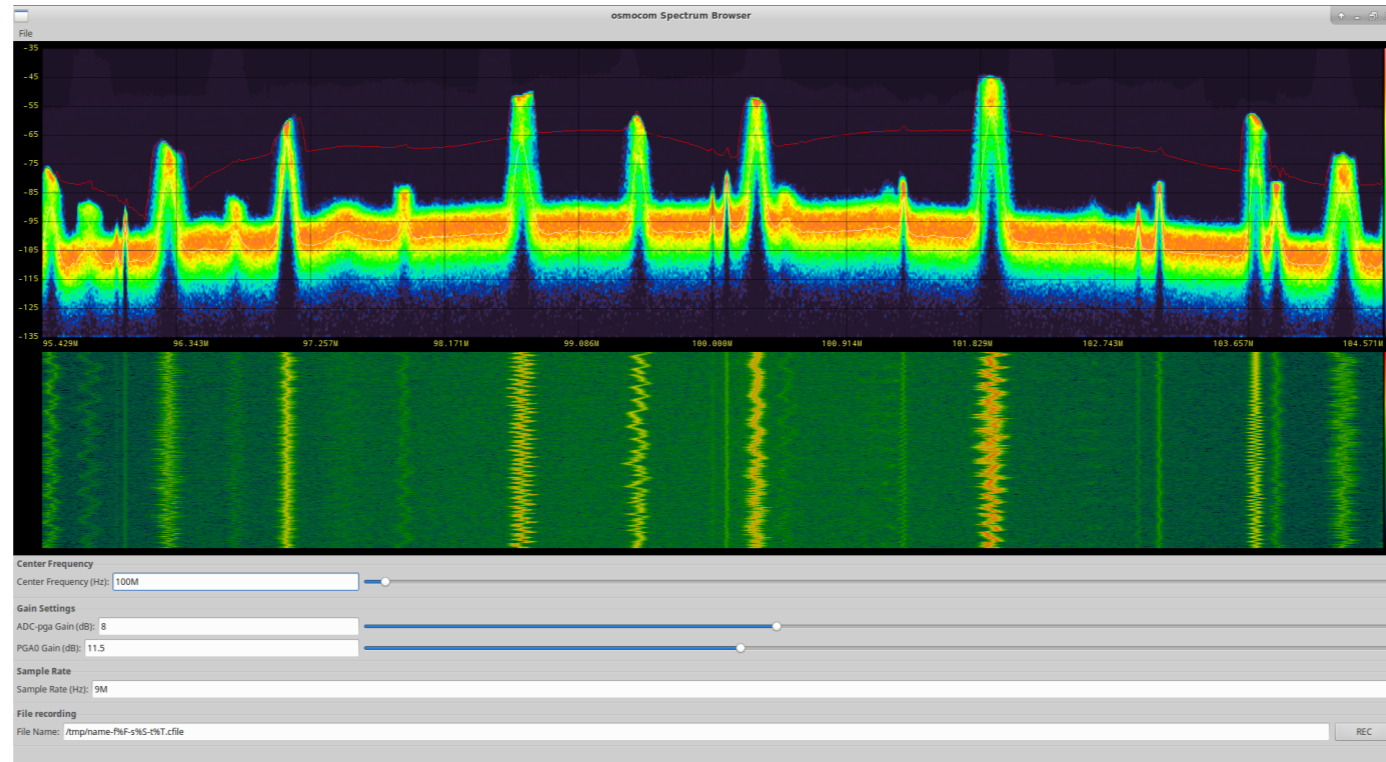


Figura: Señales de radio FM comparten el medio inalámbrico

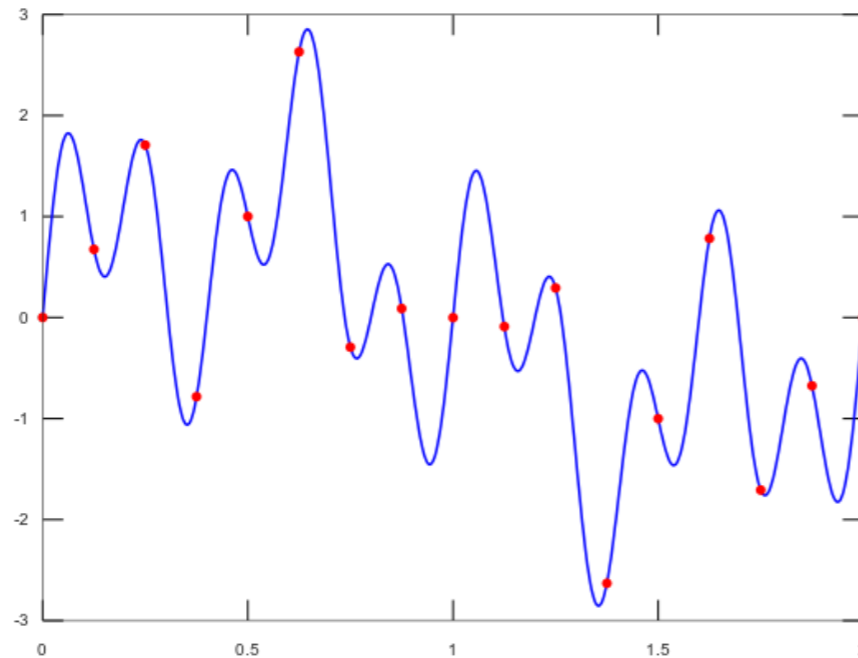
- ▶ La modulación permite enviar múltiples señales en simultaneo
- ▶ Ondas electromagnéticas se combinan linealmente
- ▶ Multiplexación en frecuencia permite separar señales en el receptor
- ▶ Canales de frecuencia: TV-cable, bus de datos PC, celulares multibanda, Wi-Fi

# Definición del espectro

## Transformada de Fourier

- ▶ Define matemáticamente el espectro de una señal
- ▶ Es una transformación reversible
- ▶ Sintetiza información en frecuencia
- ▶ Facilita el filtrado de una señal
- ▶ Caracteriza sistemas por su respuesta en frecuencia
- ▶ Es clave al transmitir señales inalámbricas
- ▶ Define hipótesis para digitalizar señales
- ▶ Permite el análisis de la estabilidad de un sistema
- ▶ Es una herramienta para el diseño de controladores
- ▶ Presenta distintas variantes según el tipo de señal
- ▶ **Concepto central del curso**

# Digitalización de una señal



$\Rightarrow 0, 1, 0, 1, 1, 1, 0, \dots$

Figura: Conversión de analógico a digital

- ▶ Muestreo
- ▶ Cuantificación y codificación binaria
- ▶ Ventajas
  - ▶ Procesamiento por computadora
  - ▶ Machine learning
  - ▶ Almacenamiento en discos
  - ▶ Detección y corrección de errores

# Digitalización de una señal

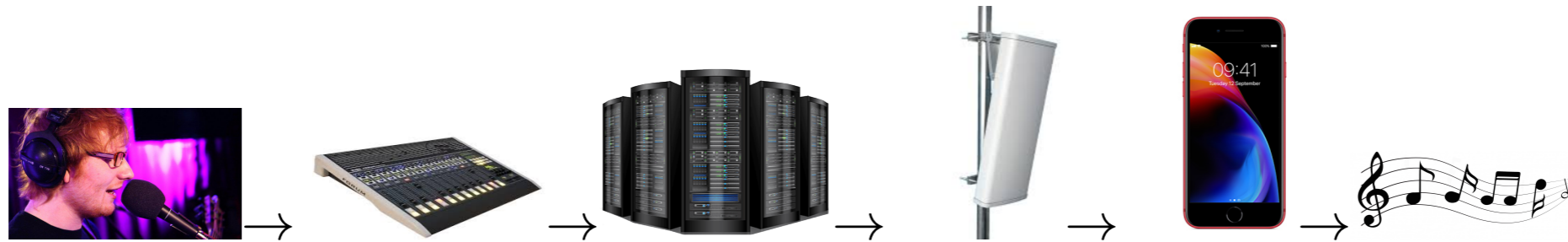


Figura: Progresión de una señal de audio

- ▶ La mayoría de las señales se procesan, almacenan, y transmiten en forma digital
- ▶ Señales de variable continua representadas por secuencias de números (muestras)
- ▶ Digitalización y reconstrucción de señales  $\Rightarrow$  Teorema de muestreo

# Muestreo y reconstrucción

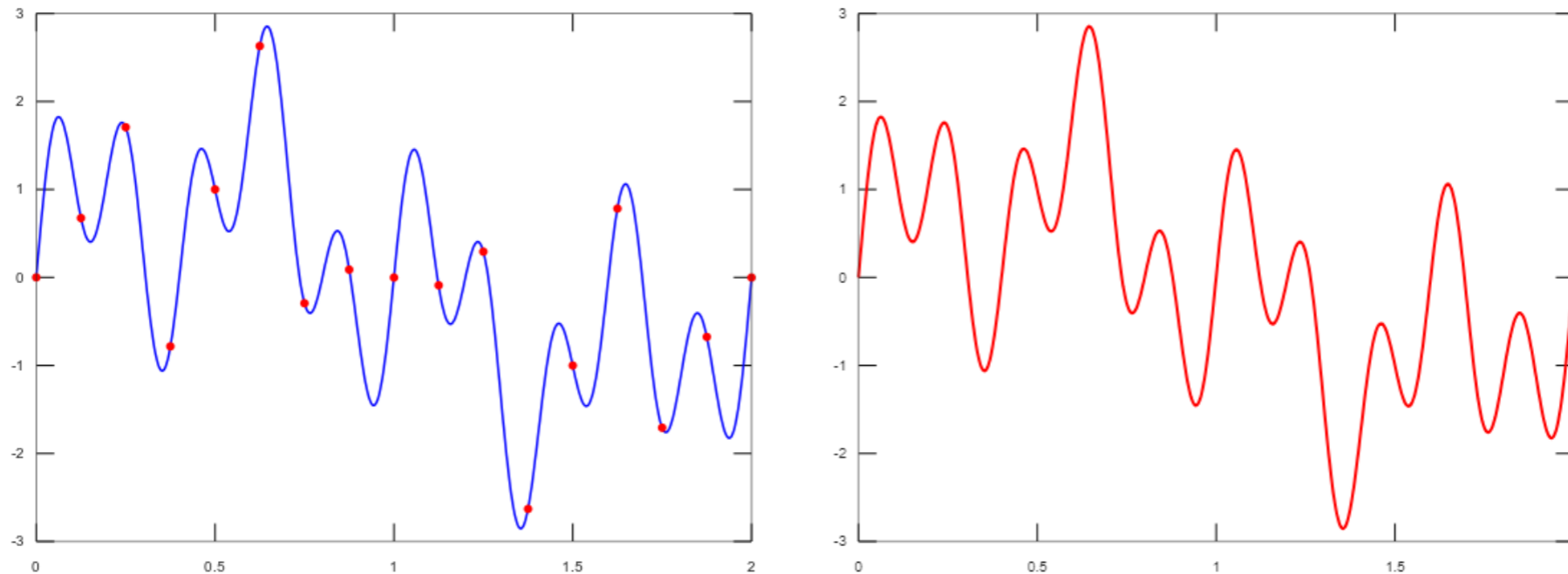


Figura: Muestreo y reconstrucción de una señal

- ▶ ¿Se puede reconstruir la señal original a partir de sus muestras?
- ▶ ¿Qué tan separadas pueden estar las muestras?
- ▶ Respuesta:

## Teorema de muestreo

Hipótesis: Señal de banda acotada en frecuencia  $\implies$  Reconstrucción sin error

# Aliasing

- ▶ Ocurre cuando no se cumplen las hipótesis del Teorema de Muestreo
- ▶ Induce una reconstrucción errónea de la señal
- ▶ En español: solapamiento o yuxtaposición

# Temario

- ▶ **Señales y sistemas**  
Señales de variable continua o discreta, exponenciales complejas, impulso unitario, propiedades de sistemas
- ▶ **Sistemas lineales invariantes en el tiempo (SLTIs)**  
Producto de convolución, respuesta al impulso, propiedades de SLTIs, definición de impulso, ecuaciones diferenciales
- ▶ **Series de Fourier** Exponenciales complejas como funciones propias de SLTIs, filtrado de señales periódicas, Parseval.
- ▶ **Transformada de Fourier (TDF) en tiempo continuo**  
Definición, propiedades, Parseval, convolución, ecuaciones diferenciales lineales.
- ▶ **Transformada de Fourier en tiempo discreto**  
Definición, propiedades, Parseval, convolución, dualidad con la serie de Fourier, transformada discreta de Fourier
- ▶ **Caracterización en frecuencia de señales y sistemas**  
Magnitud y fase de la TDF, respuesta en frecuencia de SLTIs, filtros ideales selectivos en frecuencia, sistemas de primer y segundo orden, diagramas de Bode

**Primer parcial**

# Temario

- ▶ **Muestreo**

Teorema de muestreo, reconstrucción y solapamiento, procesamiento en tiempo discreto de señales en tiempo continuo, cambio de frecuencia de muestreo, cuantización.

- ▶ **Sistemas de comunicación**

Modulación señales de tiempo continuo (AM, FM), y de señales digitales (PAM), multiplexación.

- ▶ **Transformada de Laplace**

Definición, diagrama de polos y ceros, análisis y caracterización de SLTIs usando la transformada de Laplace.

- ▶ **Transformada Z**

Definición, diagrama de polos y ceros, ecuaciones de diferencias, diseño de filtros digitales.

- ▶ **Sistemas lineales realimentados** Diseño de un sistema inverso, estabilización de sistemas inestables.

- ▶ **Charlas de aplicaciones**

Imágenes, sincrofasores, machine learning, control, comunicaciones.

## Segundo parcial



# Etiqueta

- ▶ Leer del libro, antes y después de clase
- ▶ Ser puntuales para evitar interrupciones
- ▶ Hacer preguntas y participar
- ▶ Llevar el práctico al día

# Continuamos con

- ▶ Definición y ejemplo de señales de variable continua y discreta
- ▶ Transformaciones de la variable independiente
- ▶ Señales periódicas y exponenciales complejas
- ▶ Sistemas y sus propiedades fundamentales

Corresponden al capítulo 1 del libro del curso.