# INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL CONTROL

## Tema 1: Introducción al control de procesos

**Dpto.:** Arquitectura de Computadores y Automática
**Autor**: Matilde Santos

# CONTROL DE PROCESOS

1.1. INTRODUCCIÓN

- Control
- Respuesta de un sistema

1.2. MODELOS

1.3. CONTROL DE PROCESOS

# 1.1 INTRODUCCIÓN AL CONTROL

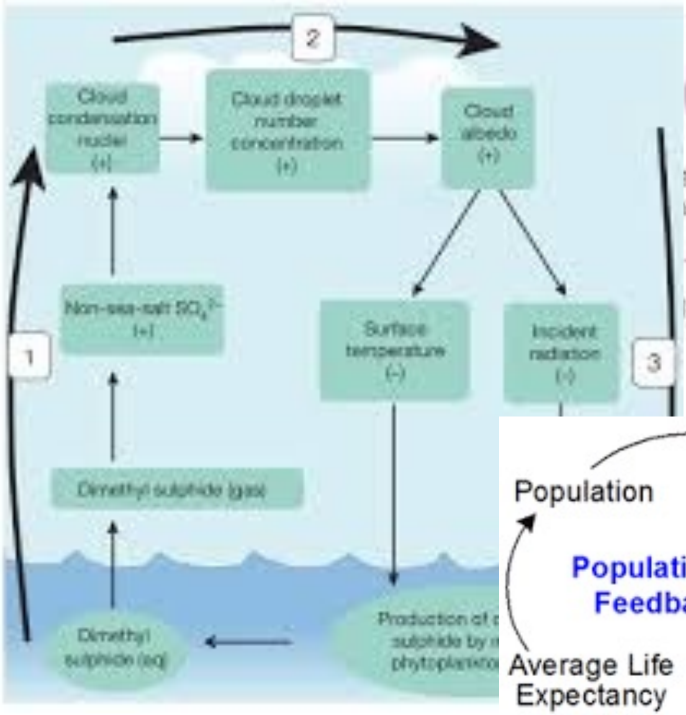
# Inteligencia Artificial aplicada al control ….

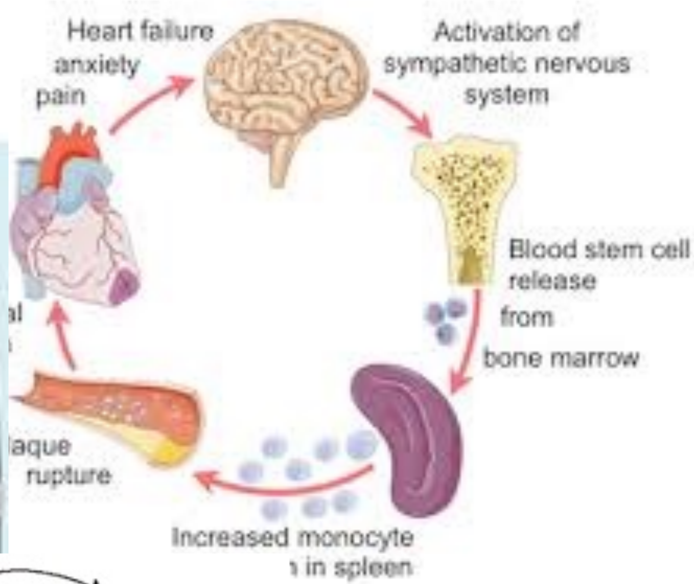
## …pero qué significa **Control**?

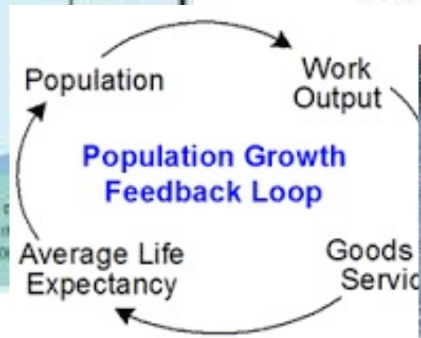
- Automatización
  - Robótica, manofactura, …
- Disciplina de la Ingeniería
  - Arquitecturas, mecanismos y **algoritmos**

# El control está en todas partes

- Vida
- Industria
- Naturaleza



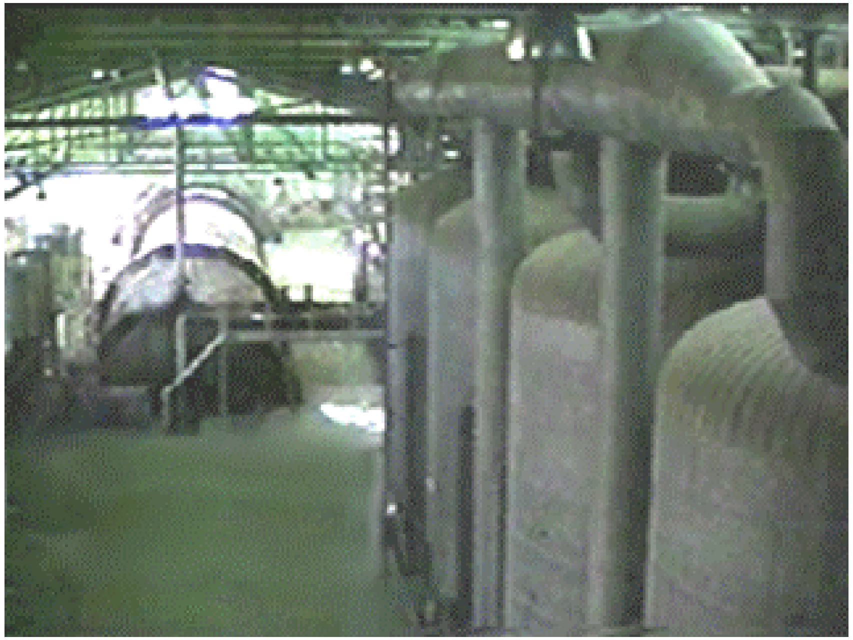




# Ejemplos

- The temperature of a chemical reactor
  - to maintain a consistent product output
- Automobile cruise control, steering system
  - to keep a fixed speed/ reach a desired direction travel
- Flight control
  - to keep a desired high/speed/path
- Computer disk drive
- Student-teacher learning process
- A human-arm control system (touch your nose)
- A control system for a twin-lift helicopter system
- Robotic microsurgical device
- Machine position control system
- Interior cabin temperature/air conditioning control system
- Rocket propulsion control system
- Oil refining, paper manufacturing, chemicals, power plants, robot arm, ….

# Introducción al Control de Procesos

- *El control de procesos abarca:*
  - *el estudio de las plantas o sistemas a controlar*
  - *las técnicas empleadas para tal fin*



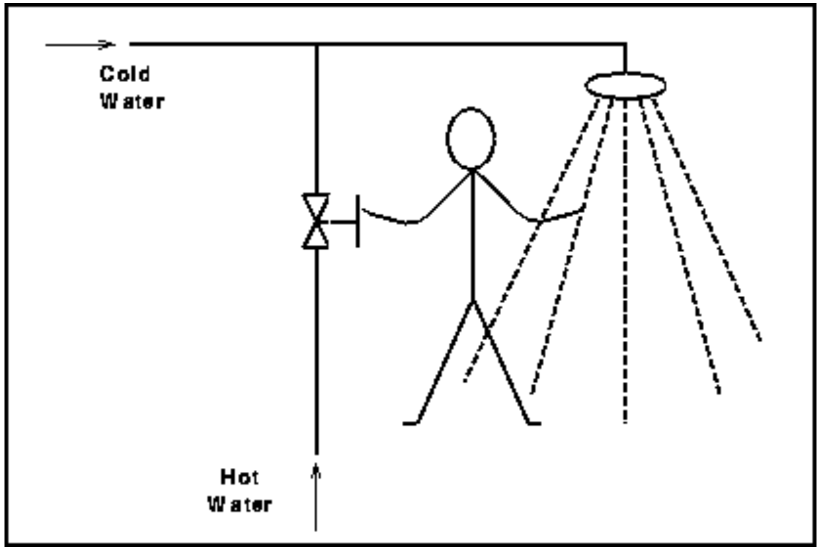
# Introducción al Control de Procesos

- modelado e identificación
  - análisis
- estrategias de control
  - síntesis

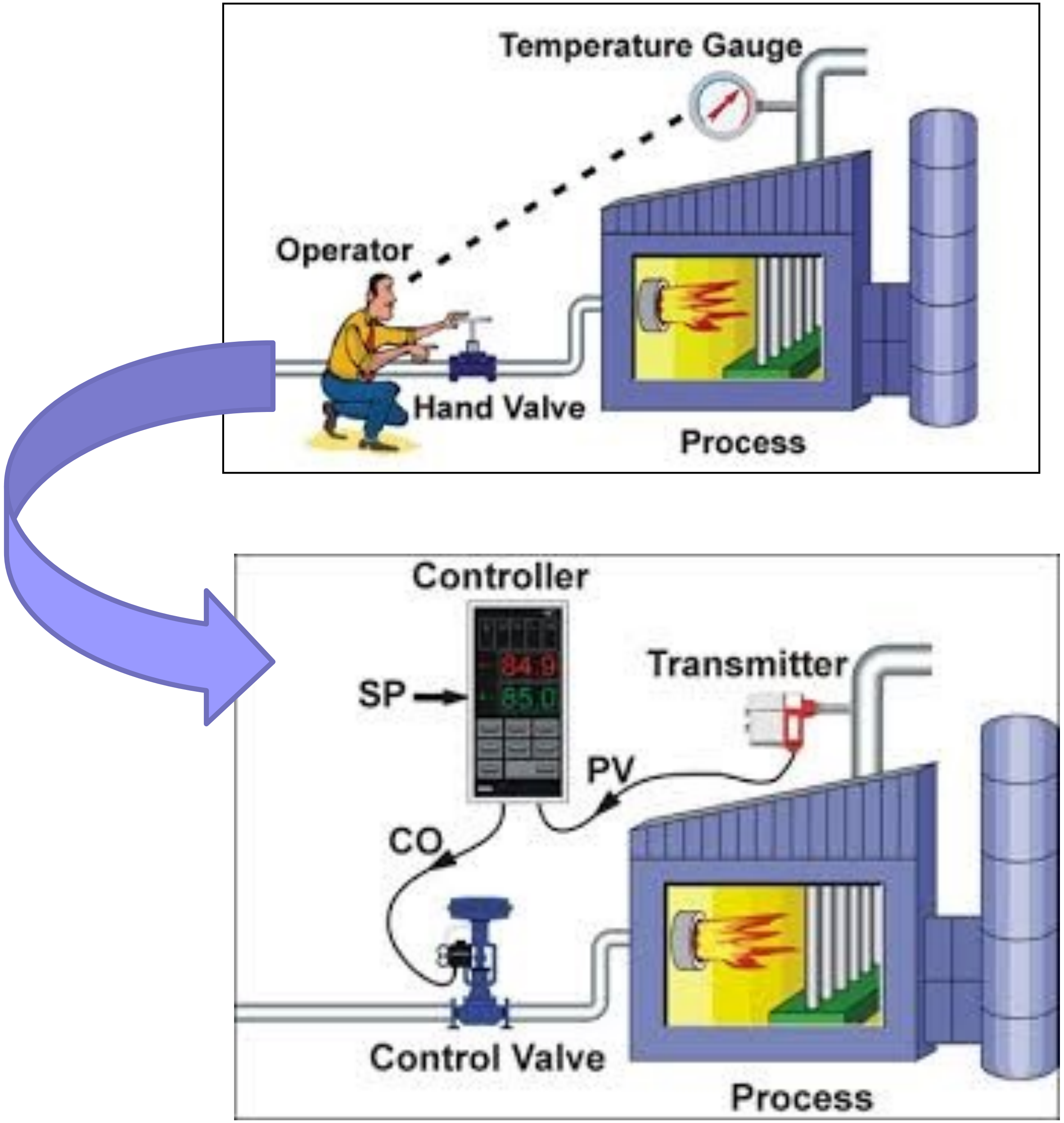
# Control

- Mantener la salida/comportamiento de un proceso/sistema dentro del rango deseado

- El controlador es un sistema (algoritmo, hardware, acción manual) que consigue ajustar el comportamiento de un sistema, planta o proceso al deseado

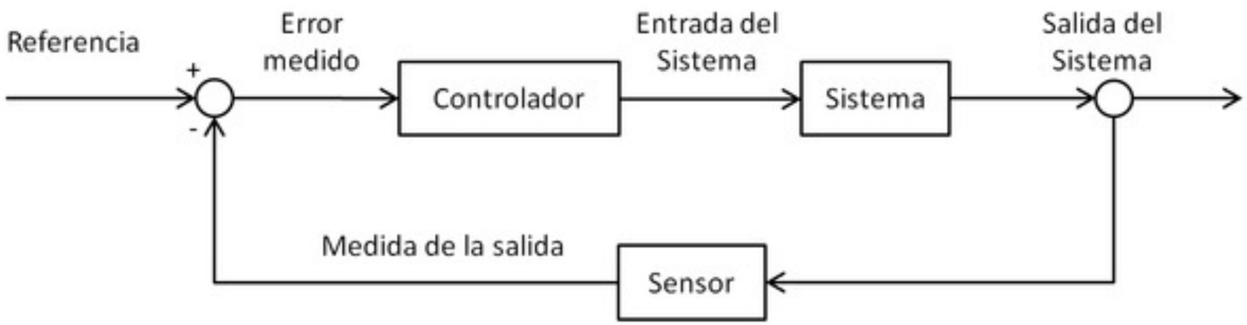



Realimentación


Temperature Gauge
Operator
Hand Valve
Process
Controller
84.9
85.0
SP
Transmitter
PV
CO
Control Valve
Process

■ El controlador es el encargado de mantener la salida al valor deseado (referencia)

- ante posibles perturbaciones externas



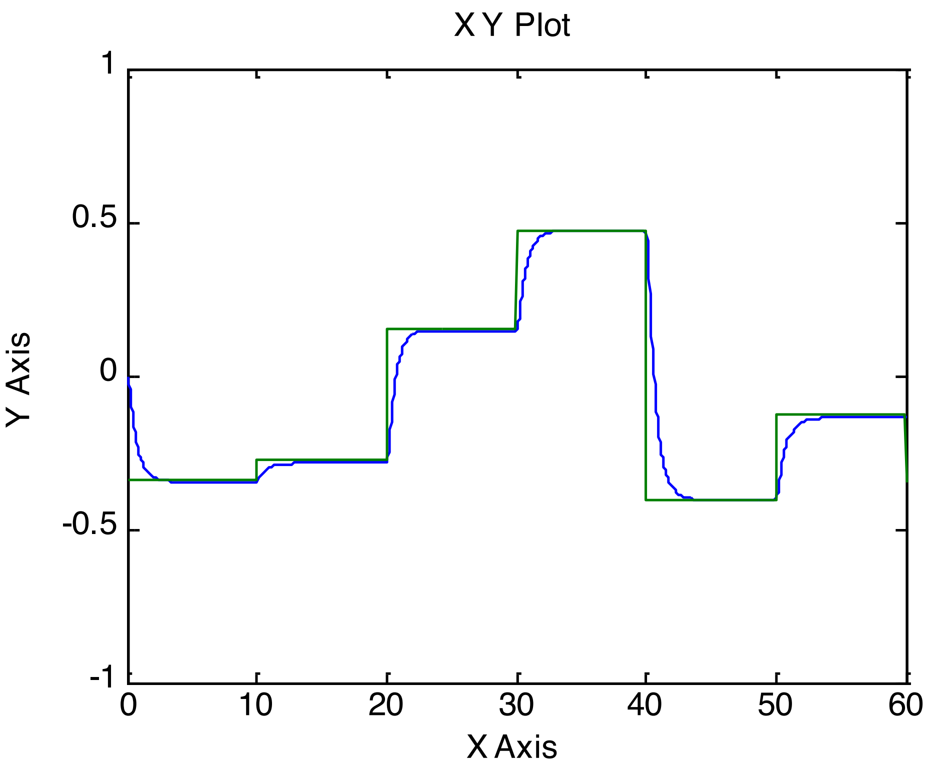

# Nomenclatura

- Referencia o consigna: r(t)
- Salida del sistema: y(t)
- Acción de control: u(t)

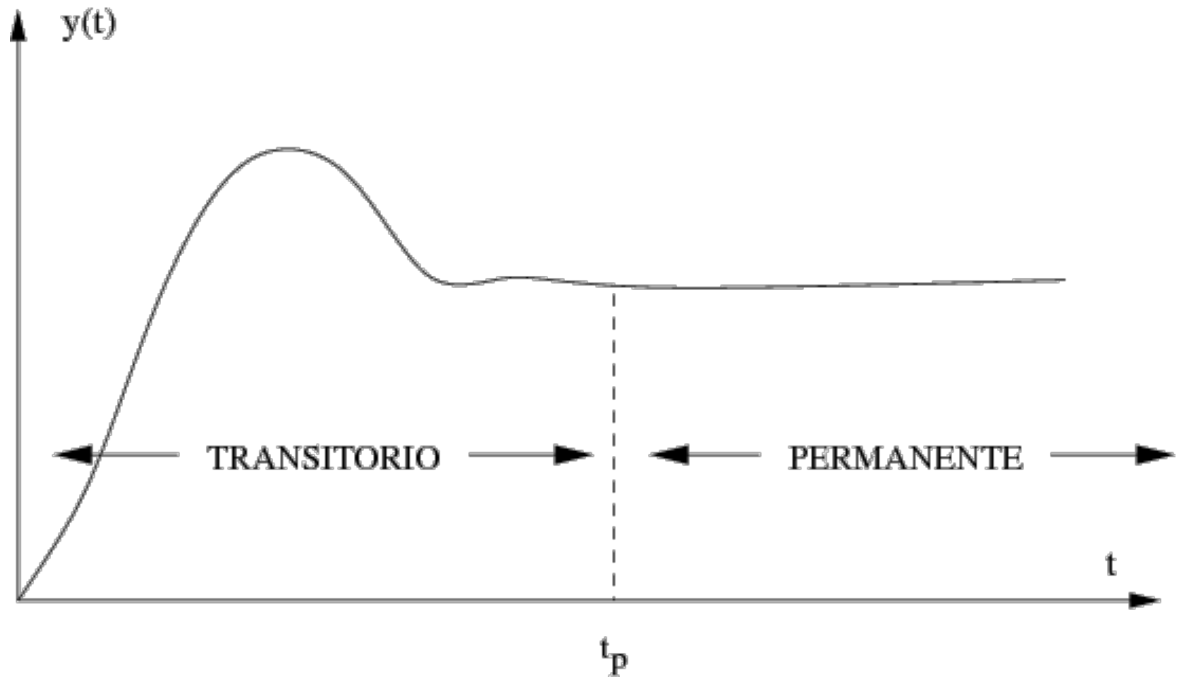
Error: $e(t) = r(t) - y(t)$

$$u(t) = f(e(t))$$

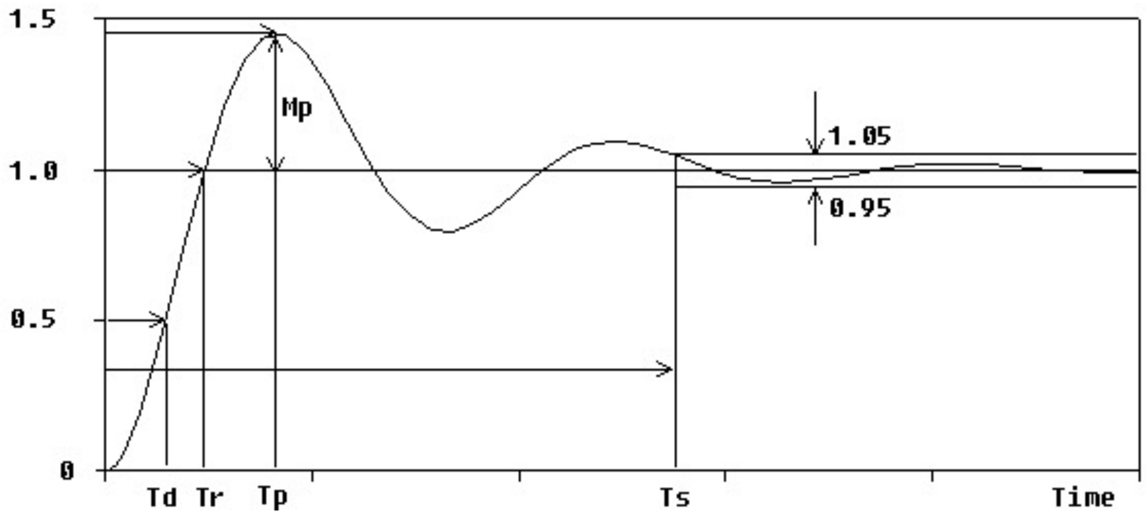
# EJEMPLO:



# RESPUESTA DE UN SISTEMA

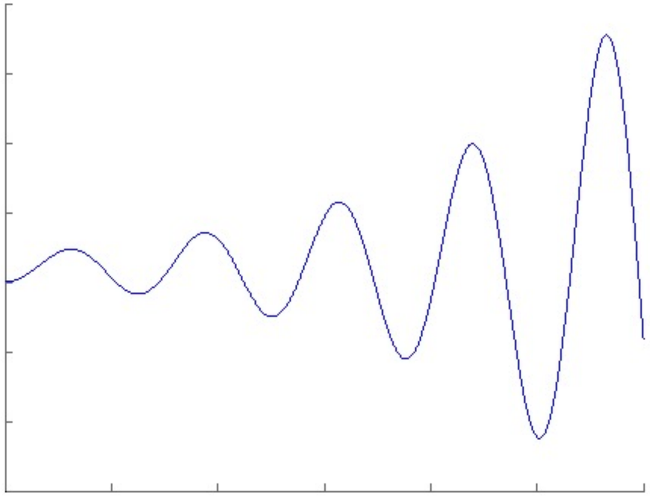



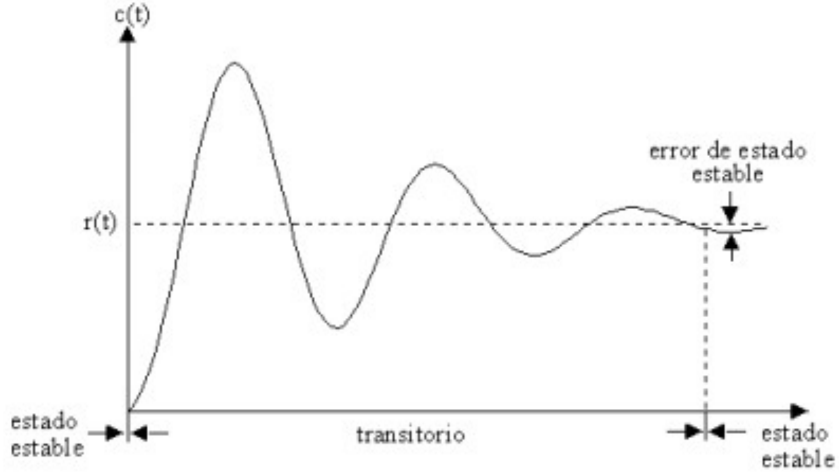
# RESPUESTA DE UN SISTEMA

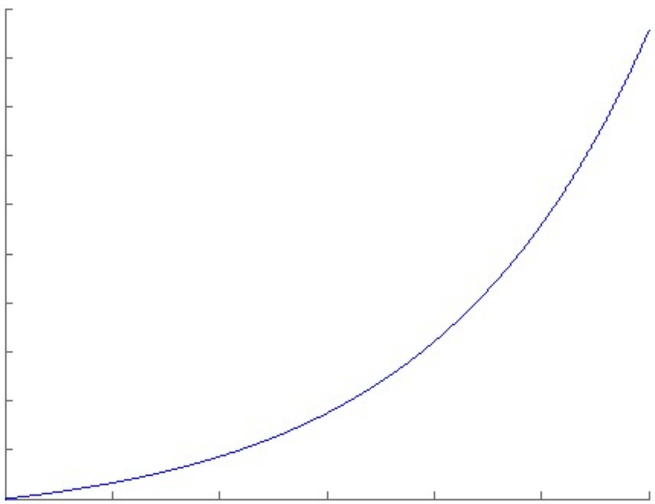


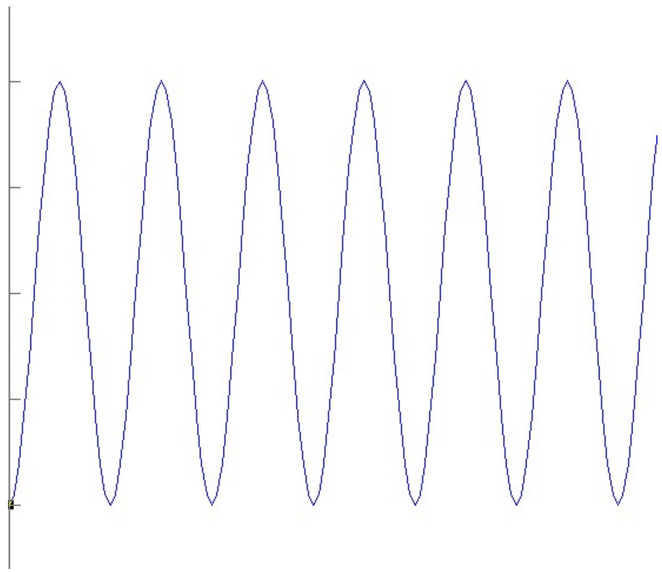

- **Tiempo de retardo ($t_{delay}$):** alcanza por primera vez la mitad del valor final o es distinta de cero
- **Tiempo de subida ($t_{rising}$):** la respuesta pasa del 0% al 100% de su valor final (o del 5% al 95% o del 10% al 90%).
- **Tiempo pico ($t_{peak}$):** tiempo en el que la respuesta alcanza el primer pico
- **Sobrelongación (%Mp):** máxima amplitud (%) en la que la respuesta excede la señal de referencia
- **Tiempo de asentamiento ($t_{setting}$):** la respuesta alcanza y permanece dentro de un porcentaje del valor final (2% o 5%).

# RESPUESTAS




c(t)
r(t)
error de estado
estable
estado
estable
transitorio
estado
estable





# 1.2 MODELOS

# MOTIVACIÓN

- Imitar el comportamiento de un sistema real o hipotético en un ordenador
  - No existe
  - Coste excesivo
  - Condiciones particulares de operación
    - Críticas
    - Peligrosas, dañinas
  - Y si ….? (modificaciones)
  - Predicciones comportamiento futuro

# SISTEMAS Y MODELOS

## SISTEMA

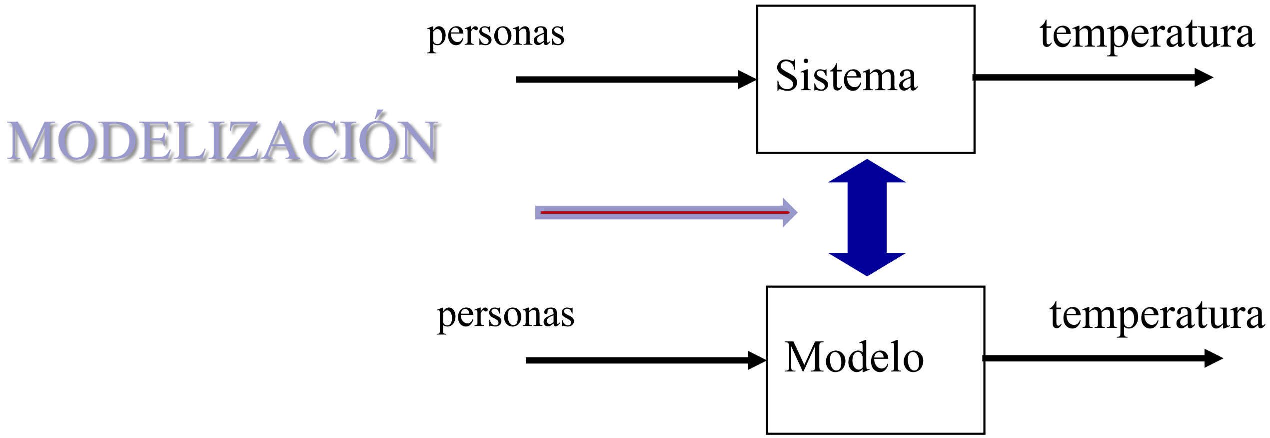
Objeto o conjunto de objetos cuyas propiedades o funcionamiento se quieren **analizar** y **estudiar**

## MODELO

Su representación es una abstracción de algunas propiedades o características

# MODELO

*El modelo de un sistema es cualquier tipo de descripción abstracta que refleja convenientemente sus características relevantes*




*Para los mismos estímulos del sistema real se obtienen valores o reacciones similares a los que podríamos observar en dicho sistema real*

# TIPOS DE MODELOS

- **MODELOS MATEMÁTICOS:**

  conjunto de relaciones matemáticas entre las variables del sistema

- **OTROS MODELOS:**

  distintas representaciones del sistema según su naturaleza y el tipo de información disponible (verbal, mental, prototipo, ….)

# TIPOS DE SISTEMAS

- Sistema Continuo
  - Las variables de estado evolucionan de modo continuo a lo largo del tiempo
    - Temperatura, audio, plasma, velocidad, posición

- Sistema Discreto
  - Las variables cambian en ciertos instantes de tiempo que obedece a un patrón periódico o no, y permanecen constantes el resto del tiempo
    - Reloj, edad
    - Peaje autopista, parking

# MODELOS MATEMÁTICOS

- CONTINUOS
- DISCRETOS

- DETERMINISTAS
- ESTOCÁSTICOS

- DINÁMICOS (memoria)
- ESTÁTICOS

- LINEALES
- NO LINEALES

# OBTENCIÓN DE MODELOS

MODELADO

Física

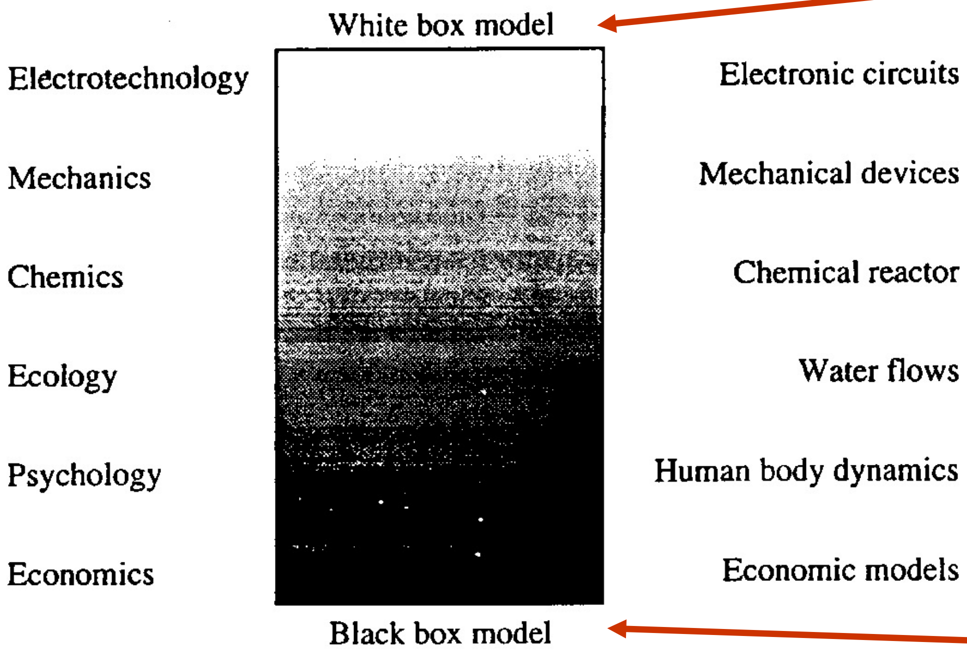
IDENTIFICACIÓN

Matemática, IA

# OBTENCIÓN DEL MODELO SEGÚN LA INFORMACIÓN

## GRADO DE DETALLE

Modelado




Identificación

*La complejidad va a depender del sistema que intentemos modelar y simular*

# MODELADO

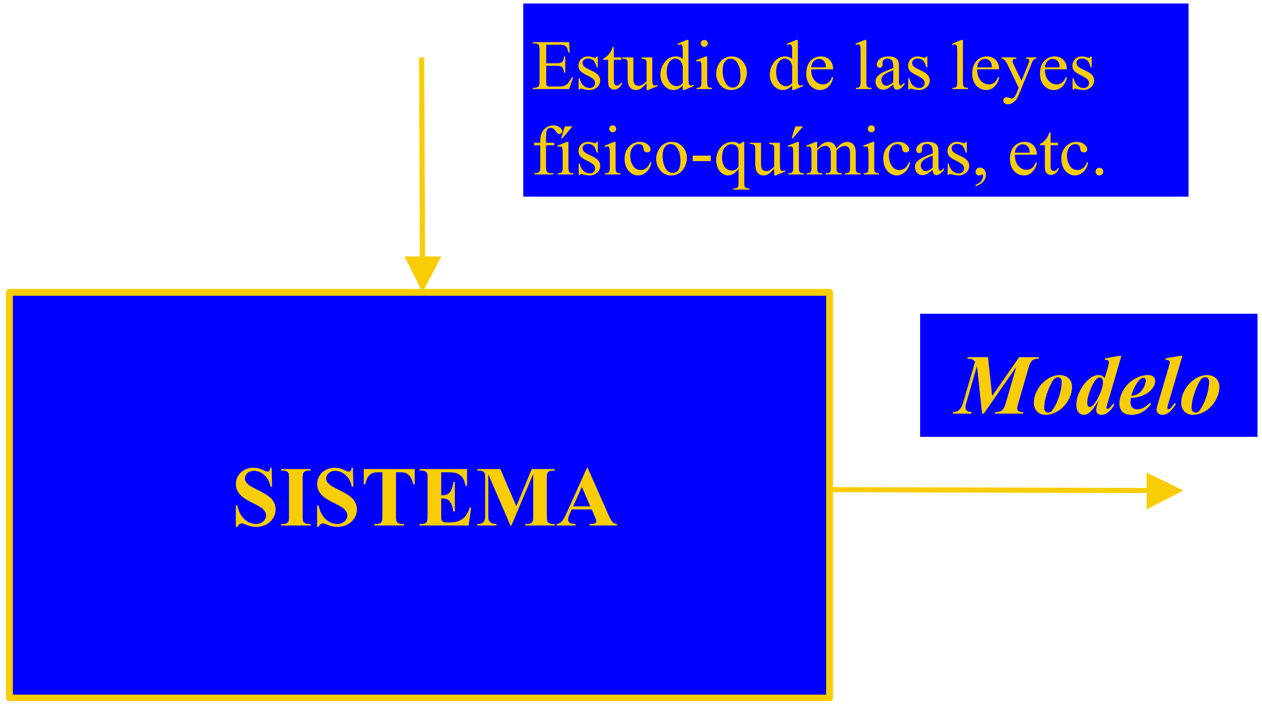
- Los métodos de modelado generan conjuntos de ecuaciones diferenciales (continuos) y algebraicas (discretos), normalmente no lineales:

  - hipótesis sobre el mismo
  - leyes de comportamiento físico-químicas, u otras particulares para el tipo de sistema
  - expresiones deducidas de datos experimentales

# MODELADO DE SISTEMAS

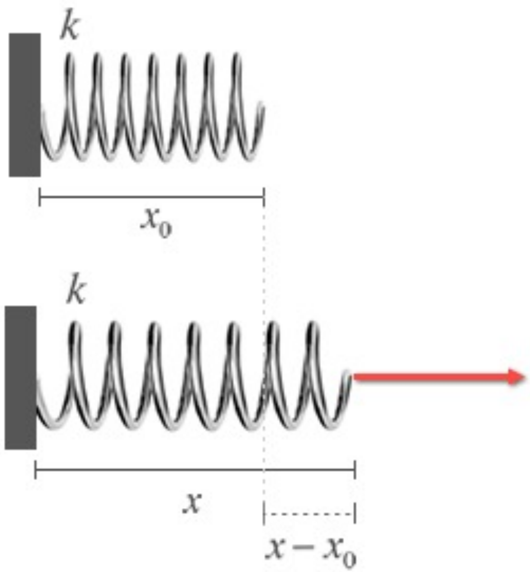
- se basa siempre en aproximaciones e hipótesis (representa parcialmente la realidad)
- se construye para un fin específico, y debe formularse de modo que sea útil para tal fin
- compromiso entre la sencillez (manejable) y la necesidad de recoger todos los aspectos esenciales del sistema (completo)

# MODELADO




• amplio rango de validez,
• tarea larga: requiere experiencia y conocimiento del sistema

# MUELLE

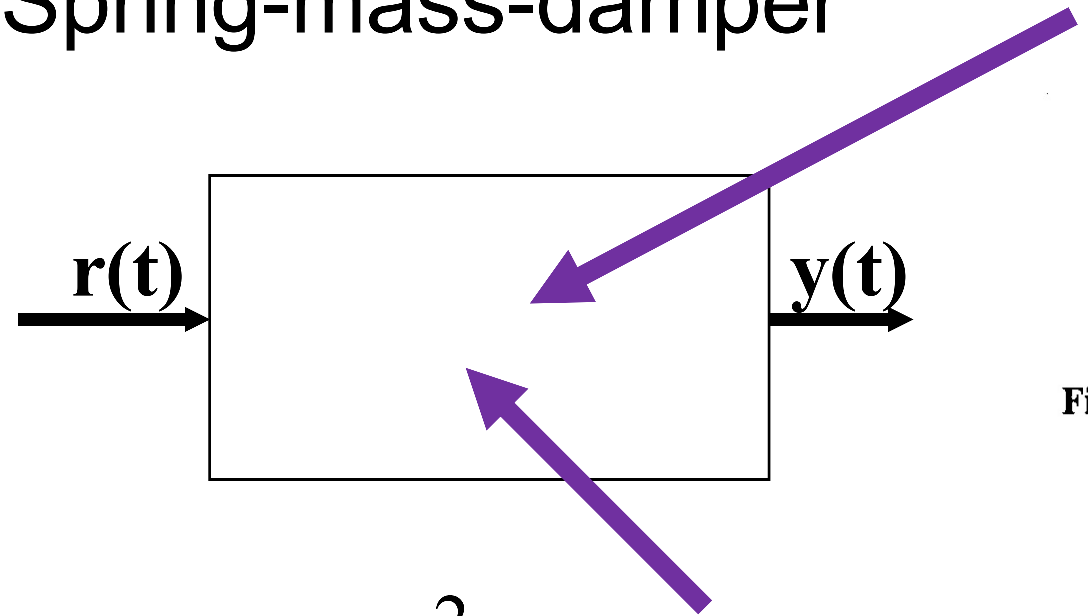



ley de Hooke

$$F=k\cdot(x-x_0)$$

# MODELIZACIÓN

- Spring-mass-damper



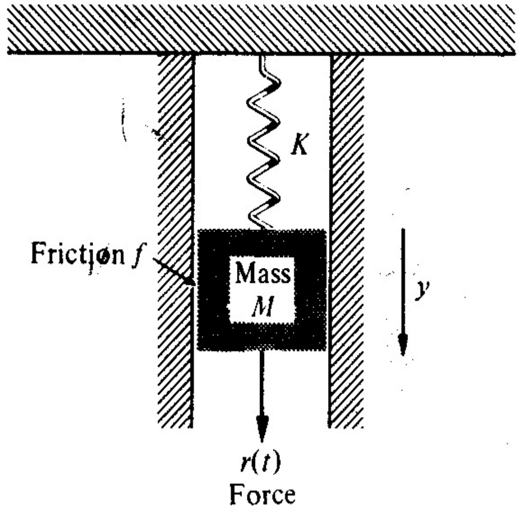




**Figure 2.1.** Spring-mass-damper system.

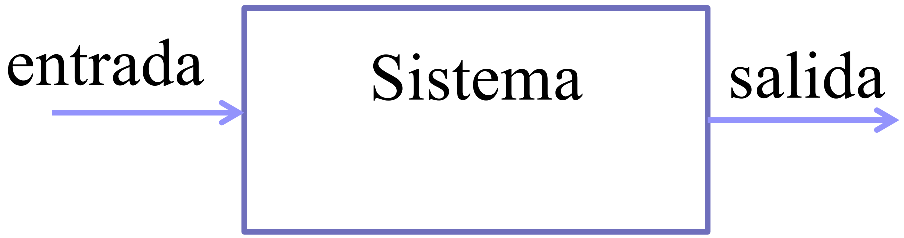
$$M\frac{d^2y(t)}{dt^2}+f\frac{dy(t)}{dt}+Ky(t)=r(t)$$

# FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

- OBTENER LAS ECUACIONES DIFERENCIALES

- APLICAR LA TRANSFORMADA DE LAPLACE A LAS ECUACIONES DIFERENCIALES

- RESOLVER LA ECUACIÓN DE LA VARIABLE DE INTERÉS EN EL DOMINIO S (SALIDA/ENTRADA)



# Paso del dominio temporal a frecuencia

- Para simulación y para observar ciertas propiedades:
  - Dominio de la frecuencia

- Dominio de Laplace (s)
  - S = jw (frecuencia)

# TRANSFORMADA DE LAPLACE

$$f(t) \longleftrightarrow F(s)$$

| $f(t)$ | $F(s)$ |
|---|---|
| Step function, $u(t)$ | $\dfrac{1}{s}$ |
| $e^{-at}$ | $\dfrac{1}{s+a}$ |
| $\sin \omega t$ | $\dfrac{\omega}{s^2+\omega^2}$ |
| $\cos \omega t$ | $\dfrac{s}{s^2+\omega^2}$ |
| $e^{-at}f(t)$ | $F(s+a)$ |
| $t^n$ | $\dfrac{n!}{s^{n+1}}$ |
| $f^{(k)}(t) = \dfrac{d^k f(t)}{dt^k}$ | $s^k F(s) - s^{k-1}f(0^+) - s^{k-2}f'(0^+) - \ldots - f^{(k-1)}(0^+)$ |
| $\int_{-\infty}^{t} f(t)dt$ | $\dfrac{F(s)}{s} + \dfrac{\int_{-\infty}^{0} f\,dt}{s}$ |
| Impulse function $\delta(t)$ | $1$ |

# TRANSFORMADA DE LAPLACE

- OPERADOR DIFERENCIAL

$$s \equiv \frac{d}{dt} \qquad\qquad s.F(s) \equiv \frac{df(t)}{dt}$$

- OPERADOR INTEGRAL

$$\frac{1}{s} \equiv \int_0^t dt \qquad\qquad \frac{1}{s}F(s) \equiv \int_0^t f(t)dt$$

# TRANSFORMADA DE LAPLACE

- Modelo en el dominio temporal (t)
  - Condiciones iniciales nulas (reposo)

$$M\frac{d^2y(t)}{dt^2}+f\frac{dy(t)}{dt}+Ky(t)=r(t)$$

T. L

- Modelo en el dominio de Laplace (s)

$$Ms^2Y(s)+fsY(s)+KY(s)=R(s)$$

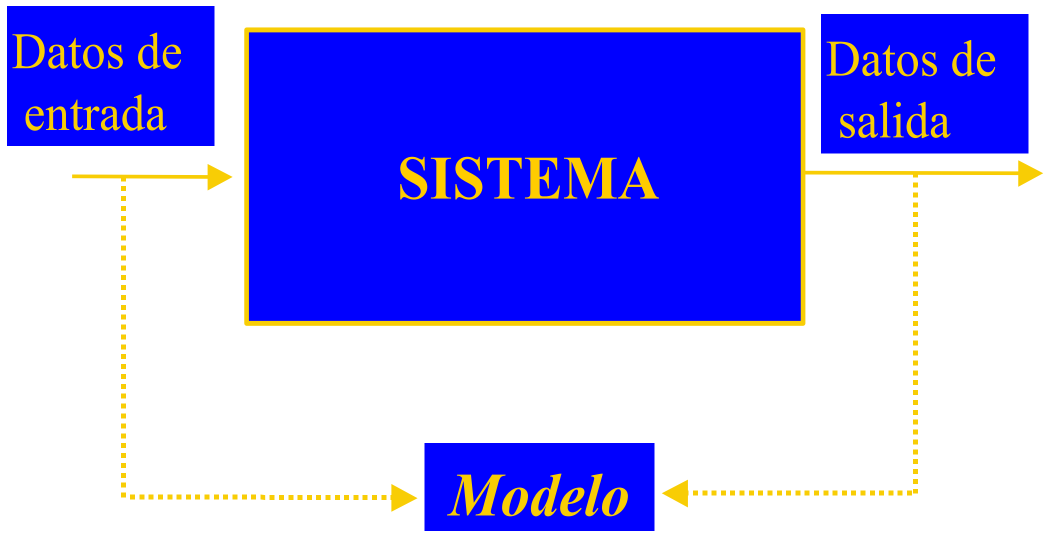
# FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

$$Ms^2Y(s) + fsY(s) + KY(s) = R(s)$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ms^2 + fs + K} = G(s)$$

**F. T**

# IDENTIFICACIÓN




- Generan ecuaciones lineales
  - Sin hacer hipótesis ni tener en cuenta los mecanismos internos de funcionamiento
  - Se basan exclusivamente en el uso de datos experimentales de entrada y salida (**caja negra**)
  - No aportan conocimiento físico

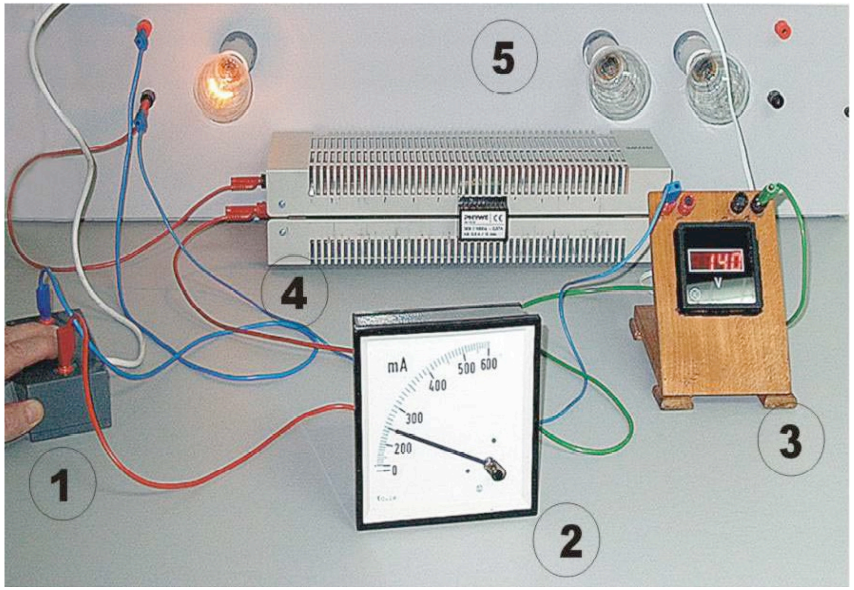
# FASES DE LA IDENTIFICACIÓN

- Escoger un tipo de modelo (clase)
  - función de transferencia, polinomio, exponencial …

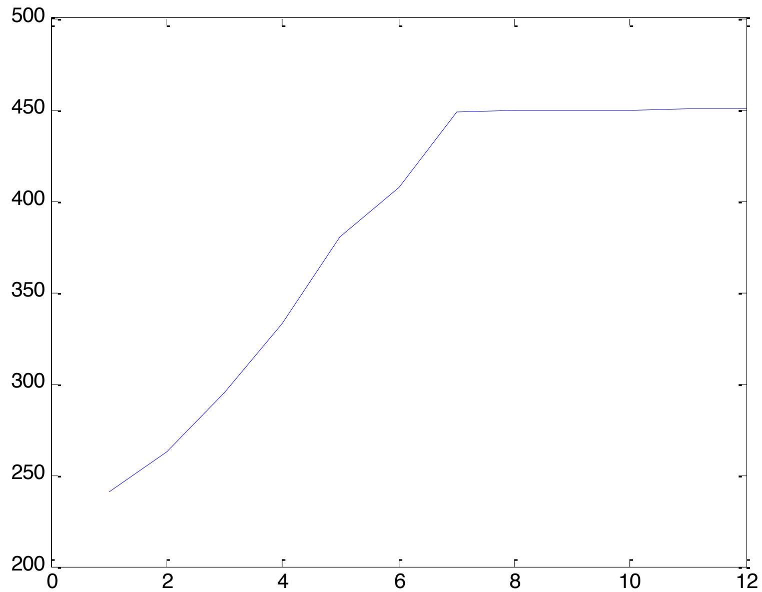
- Realizar experimentos y tomar un conjunto de valores de entrada y salida del sistema

- Estimar los parámetros del modelo por algún método numérico, para que se ajuste lo mejor posible a los datos experimentales

# Ejemplo de identificación




| Tensión (V) | Intensidad (A) | Resistencia (R) |
|---|---|---|
| 135 | 0.149 | 906.04 |
| 140 | 0.150 | 927.15 |
| 150 | 0.165 | 909 |
| 160 | 0.180 | 888.89 |
| 170 | 0.190 | 894.73 |
| 185 | 0.210 | 880.95 |
| 200 | 0.230 | 869.56 |




(1) Pulsador
(2) Amperímetro
(3) Voltímetro
(4) Resistencia variable (reóstato)
(5) Lámparas de filamento de carbón
(6) Lámpara de filamento metálico

$$V(t) = a\,I(t) + bI^2(t)$$

# IDENTIFICACIÓN

- Modelos lineales orientados a control
- Entorno de validez más restringido
- Suelen ser más sencillos de deducir
- No interpretación física de los parámetros

**Concepto de robustez**

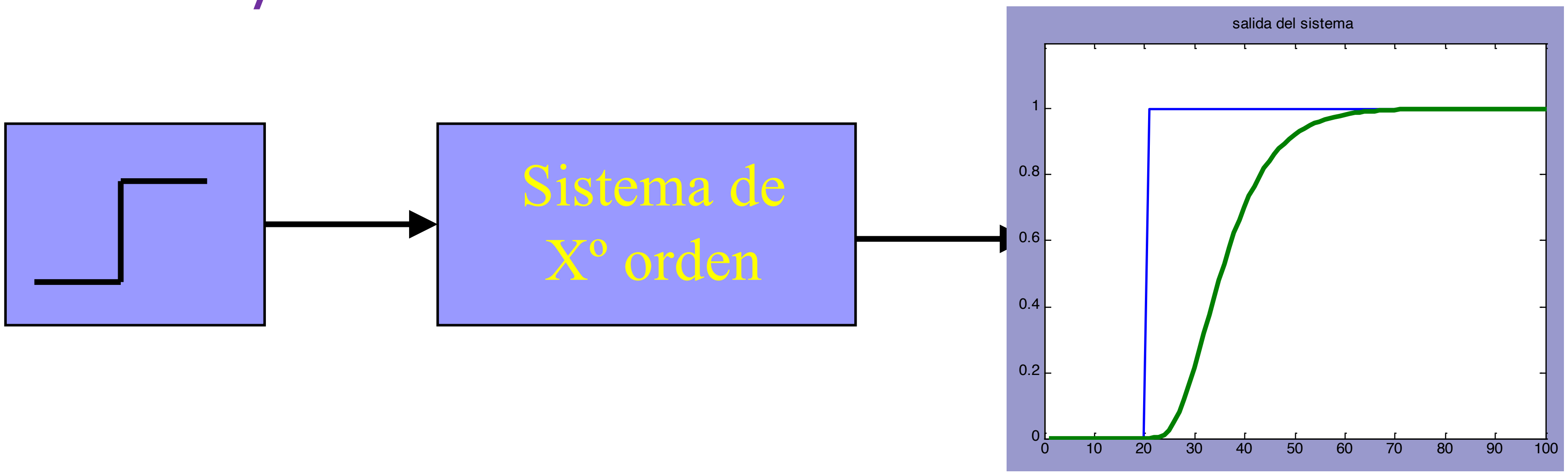
# IDENTIFICACIÓN BASADA EN ENTRADAS ESPECIALES

Hay entradas que al aplicarlas dan mucha información sobre el sistema

De la respuesta se puede identificar en directo una función de transferencia en el dominio de Laplace

# EJEMPLO 1: IDENTIFICACIÓN EN EL DOMINIO TEMPORAL

La mayoría de los procesos industriales producen una respuesta estable monótona creciente a una entrada escalón/salto



# EJEMPLO 1: IDENTIFICACIÓN EN EL DOMINIO TEMPORAL

MODELO: Función de transferencia de primer orden con retardo

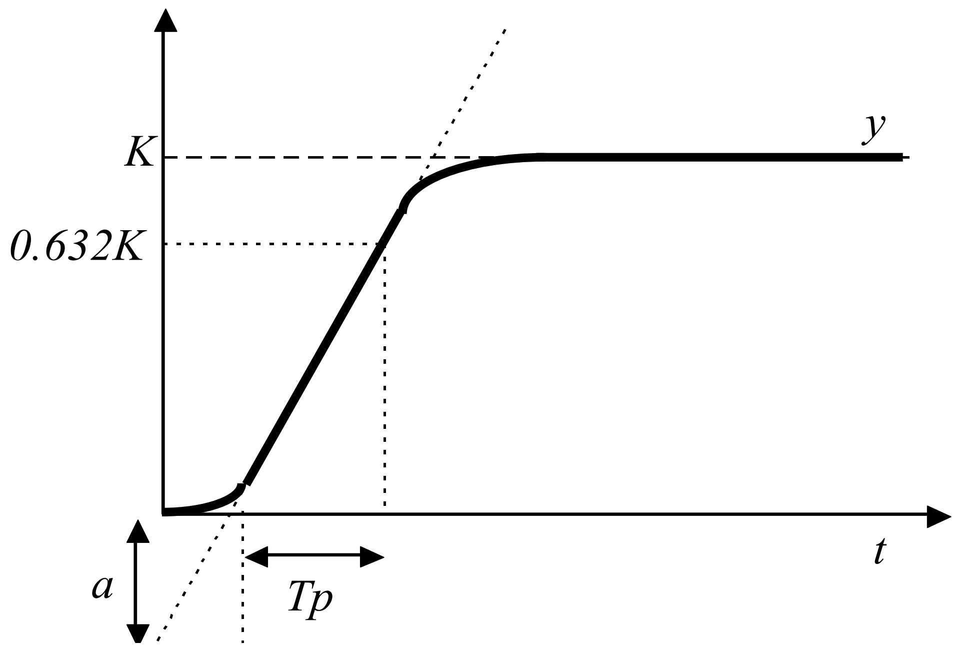
$$Gm(s) = \frac{K}{1 + s.Tp} e^{-sTo}$$

# EJEMPLO 1: IDENTIFICACIÓN EN EL DOMINIO TEMPORAL

Modelo

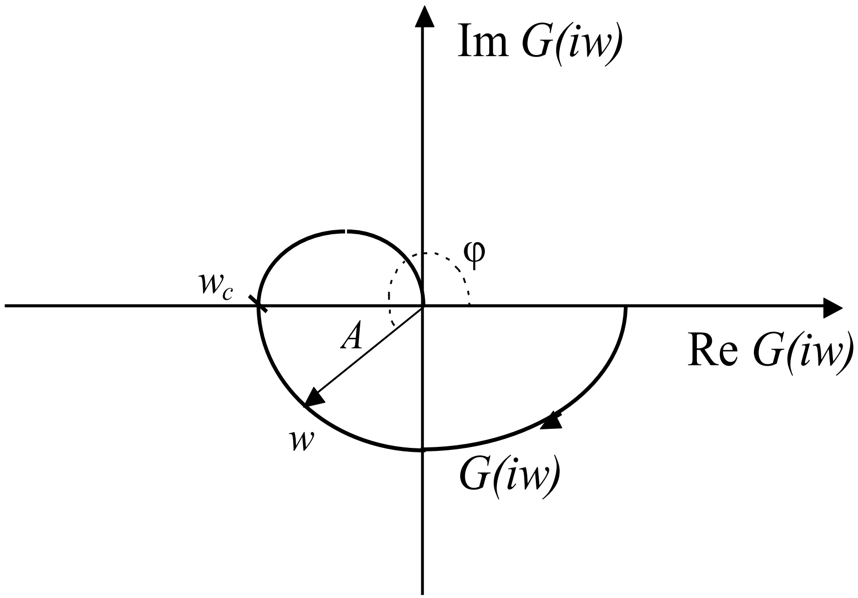
$$Gm(s) = \frac{K}{1 + s.Tp} e^{-sTo}$$

- Características en el dominio temporal:
  - Ganancia o valor estacionario K
  - Constante de tiempo Tp
  - Retardo To



# EJEMPLO 2: IDENTIFICACIÓN EN EL DOMINIO FRECUENCIAL

Una entrada sinusoidal permite obtener información relevante de un sistema para calcular su función de transferencia *G*



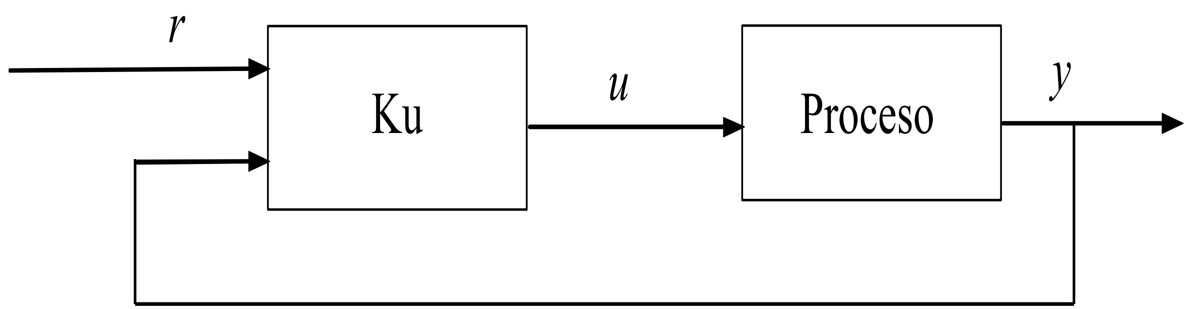

$$G(iw) = A(w).e^{i\varphi(w)}$$

Frecuencia crítica
o de cruce *wc*

# PUNTOS RELEVANTES

- la **ganancia crítica *Ku*** :
  - ganancia de un controlador proporcional a partir de la cual el sistema en lazo cerrado deja de ser estable

- el **periodo de oscilación mantenida *Tu***:
  - periodo de la oscilación que se consigue con ese valor de ganancia



# OBTENCIÓN DEL MODELO

MODELADO → Ecuación en t → TL → Función de transferencia

IDENTIFICACIÓN

→ Métodos recursivos (mínimos cuadrados, regresión)

→ Métodos basados en entradas especiales
- Dominio temporal (K, To, Tp)
- Dominio frecuencial (Ku, Tu)