



# Introducción rápida a los sistemas de control

---

Robótica

Alberto Díaz y Raúl Lara

Curso 2022/2023

Departamento de Sistemas Informáticos

License CC BY-NC-SA 4.0

# La teoría del control

---

Se ocupa del **control de sistemas dinámicos** en procesos de todo tipo.

- Se considera campo interdisciplinario de la ingeniería y de las matemáticas.

¿Cómo **llevar sistemas a estados deseados** en función de sus entradas ...

- ... **minimizando** el **tiempo** de ajuste, rebasamiento y error estacionario?
- ... **garantizando** un nivel de **estabilidad** de control?
- ... **persiguiendo** el grado de **optimalidad** ?

Por cierto, las entradas también reciben nombre de **referencia**.

Dentro de la teoría de control existen también otros dos aspectos de estudio:

- **Controlabilidad** : Alterar un sistema usando solo manipulaciones admisibles.
- **Observabilidad** : Medida de lo bien que se infieren los estados internos de un sistema a partir del conocimiento de sus salidas externas.

Existen dos grandes divisiones en la teoría de control, a saber:

- **Clásica** : Diseño de sistemas de una única entrada y una única salida<sup>1</sup>.
- **Moderna** : Diseño de sistemas con múltiples entradas y salidas.

---

<sup>1</sup> Excepto cuando se analiza el impacto de perturbaciones, donde sí se utiliza una segunda entrada.

# Función de transferencia

---

Función que **modela la salida** de un sistema **para cada entrada posible**<sup>2</sup>.

El caso más sencillo ofrece una entrada para una salida:

- La gráfica generada se denomina **curva de transferencia**.
- Muy común en áreas como tratamiento de señal o teoría de la comunicación.

Se suele utilizar sólo en sistemas lineales invariantes en el tiempo (LTI):

- La mayoría de sistemas tienen características de entrada/salida no lineales.
- Suelen comportarse linealmente dentro de sus parámetros "normales".

---

Modelización **teórica**, por lo que no tiene por qué replicar exactamente todos los detalles del sistema modelado.

# Ingeniería automática

---

Puede definirse como la **aplicación práctica de la Teoría del control**.

Sus objetivos fundamentales son:

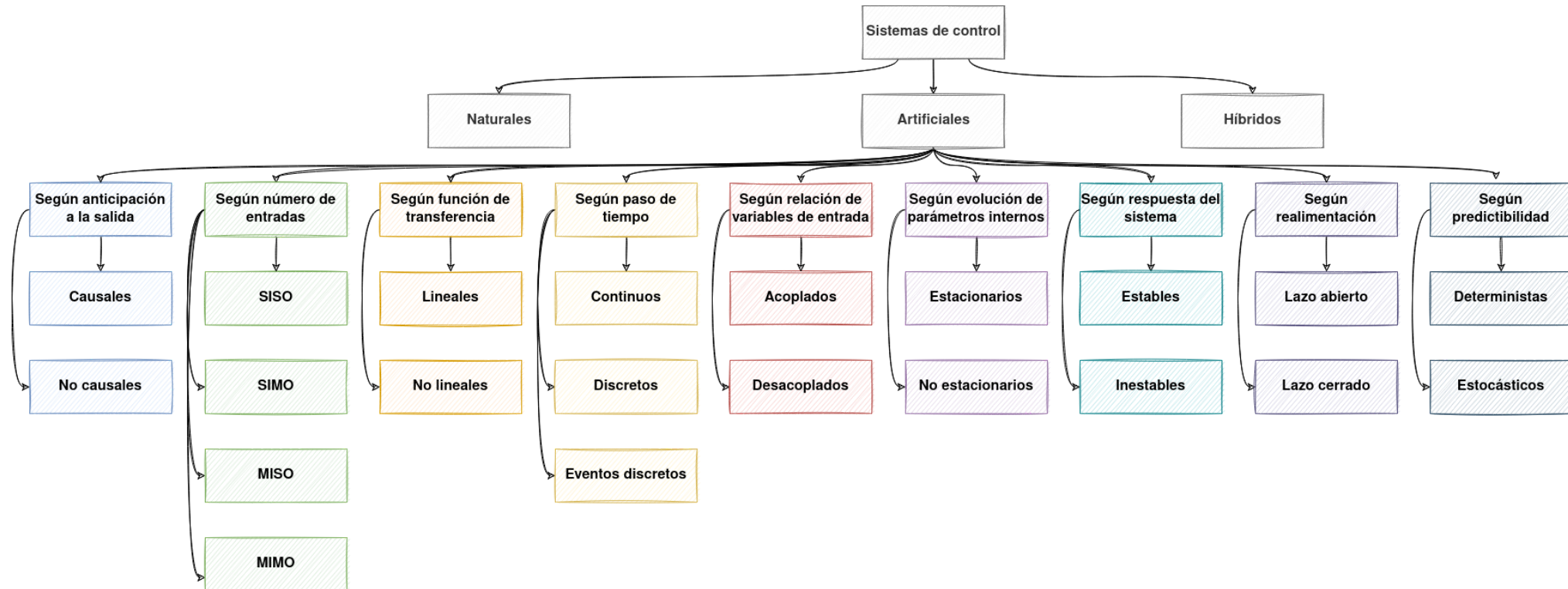
1. **Modelado** de sistemas dinámicos en términos de entradas y salidas.
2. **Diseño** de controladores para regular el comportamiento de dichos sistemas.
3. **Implementación** de controladores empleando la tecnología disponible.

Se suele considerar subcampo de la Ingeniería eléctrica:

- Pero sólo porque muchos controladores son eléctricos.
- En realidad no tiene por qué, también existen controladores mecánicos.
- Incluso hay sistemas *software* controlados por controladores Software.

# Sistemas de control (controladores)

**Regulan** el **comportamiento** de otros sistemas mediante bucles de control.



**Sistema de control automático** : Diseñado para funcionar sin intervención.

# Error y rebasamiento en un controlador

---

**Error**: Diferencia entre estado actual y estado deseado de un sistema.

**Rebasamiento**: Magnitud o dirección cuando el estado supera el *set point*.

Ambos son dos tipos de divergencias. Pueden ofrecer diferente información:

- **Existe/no existe** error: La menor cantidad de información.
- **Dirección**: Hacia dónde hay que ir para minimizar el error.
- **Magnitud**: La distancia al estado objetivo.

Controlar un sistema es mejor cuando conocemos dirección y magnitud.

# Clasificación según anticipación a la salida

---

Punto de vista respecto la relación entre salida y los valores actual y pasados.

**Causales** : La salida es consecuencia del valor actual y pasado de la entrada.

- Son con los que trabajaremos normalmente porque modelan sistemas reales

**No causales** : No es posible determinar la salida en función de la entrada.

- No existen físicamente, son representaciones abstractas

---

Estos controladores se diseñan de tal manera que la salida depende de valores futuros de la entrada.



# Clasificación según número de entradas y salidas

---

Clasificación sencilla en función de si hay una o muchas entradas o salidas:

- **SISO** (Single input, single output)
- **SIMO** (Single input, multiple output)
- **MISO** (Multiple input, single output)
- **MIMO** (Multiple input, multiple output)

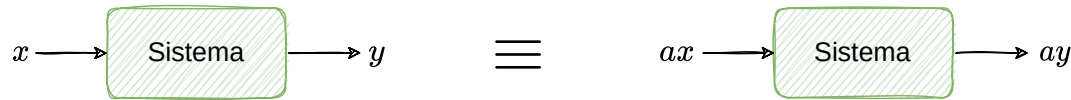


# Clasificación según función de transferencia

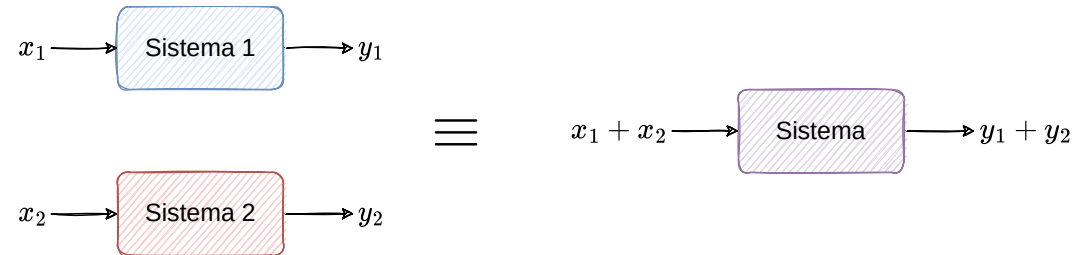
---

Un sistema es lineal si su función característica cumple los principios de:

## Homogeneidad



## Superposición



Por tanto el controlador se denominará:

- **Lineal**: Si cumple ambos principios de superposición y homogeneidad.
- **No lineal**: Si no cumple al menos uno de ellos.

# Clasificación según paso del tiempo

---

Otro punto de vista: ¿cómo se modela el paso del tiempo en un sistema?:

- De **tiempo continuo** : El tiempo evoluciona de manera continua.
- De **tiempo discreto** : El tiempo evoluciona de manera discreta.
- De **eventos discretos** : La tiempo evoluciona cuando ocurren ciertos eventos.

# Clasificación según relación entre las variables de entrada

---

Cuando hablamos de varios controladores, estos se pueden clasificar como:

- **Acoplados** : Si las variables de ambos están relacionadas entre sí.
- **Desacoplados** : Si no lo están.

# Clasificación según evolución de parámetros internos

---

Los controladores mantienen parámetros que modulan su respuesta.

Así diferenciamos dos tipos de controladores:

- **Estacionarios** : Los parámetros no varían durante su funcionamiento.
- **No estacionarios** : Los parámetros pueden variar a lo largo del tiempo.

# Clasificación según respuesta del sistema

---

La salida de un sistema pertenece a un dominio, por lo que podemos clasificarlos:

- **Estables** : Para toda entrada acotada la respuesta es acotada.
- **Inestables** : Al menos una entrada acotada produce una salida no acotada.

# Clasificación según realimentación

---

**Realimentación**: Relación secuencial de causas y efectos entre variables.

- O de otro modo, cuando una o más variables de salida se pasan a la entrada.
- También se la conoce como **retroalimentación** o **feedback**.
- Concepto muy antiguo, aunque fue formalizado por Norbert Wiener en 1948.

Dependiendo de la acción correctiva que tome el sistema:

- Si es apoyar la salida: Realimentación positiva o "efecto bola de nieve".
- En caso contrario: Realimentación negativa o regulación autocompensatoria.

Dos tipos, de **lazo cerrado** y de **lazo abierto**

# Control de lazo cerrado

---

Cuando se usa la realimentación para minimizar el error de la salida.

- El controlador usa el *feedback* para conocer en cada momento la salida real.

El *feedback* provee al controlador de un comportamiento correctivo:

1. El controlador monitoriza una variable de salida (PV, de *Process Variable*).
2. La compara con la referencia, consigna o punto de ajuste (SP, de *set point*).
3.  $SP - PV$  da lugar a la **señal de error**, que es la salida a minimizar

Ejemplos de estos sistemas de control:

- Convergencia fonética de un humano.
- Control de crucero de un vehículo.



# Control de lazo abierto

---

Aquellos controladores que no tienen en cuenta su influencia en el entorno.

Ejemplos de estos sistemas de control:

- Tostadora (las hay que comprueban el color de la rebanada).
- Secadora estándar (las hay que comprueban la humedad del tambor de secado).

# Controladores de lazo abierto vs. lazo cerrado

---

## Lazo abierto

### Ventajas

- Sencillos, de fácil mantenimiento

### Inconvenientes

- Requieren calibración inicial
- Sensibles a perturbaciones
- Mejor en modelos simples

## Lazo cerrado

### Ventajas

- Control de sistemas inestables
- Robustez frente perturbaciones

### Inconvenientes

- Mayor coste (más sensores)
- Son más complejos de modelar

# Clasificación según predictibilidad

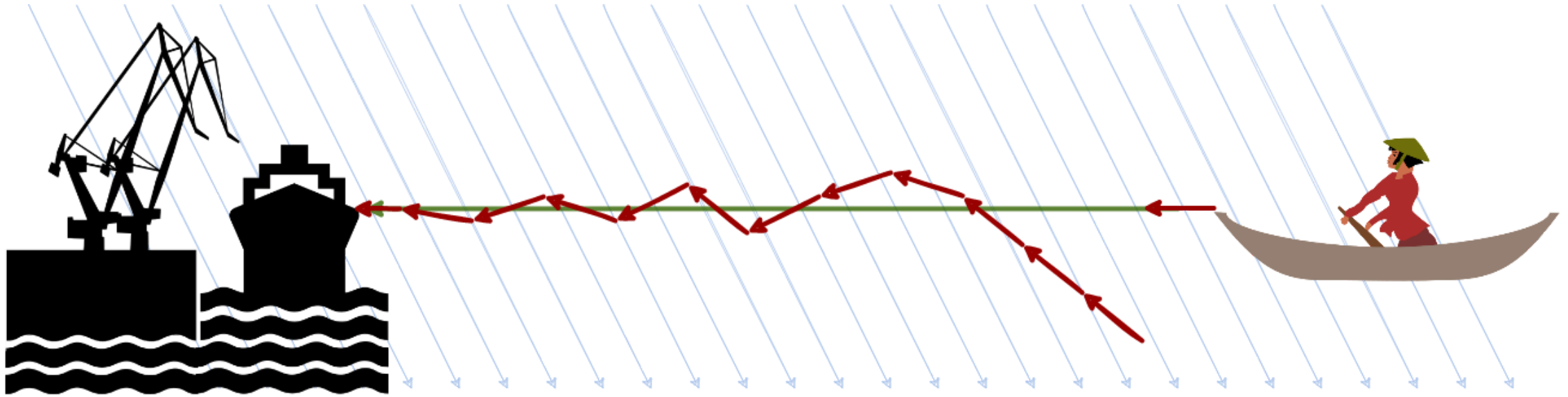
---

En función de lo predecible de la respuesta de un sistema, lo podemos clasificar como:

- **Determinista** : Si su comportamiento es extremadamente predecible.
- **Estocástico** : Si es imposible predecir su comportamiento futuro.

# Cibernética

# Etimología



La palabra timonel (en inglés *steersman*) viene el griego antiguo *kybernetes*:

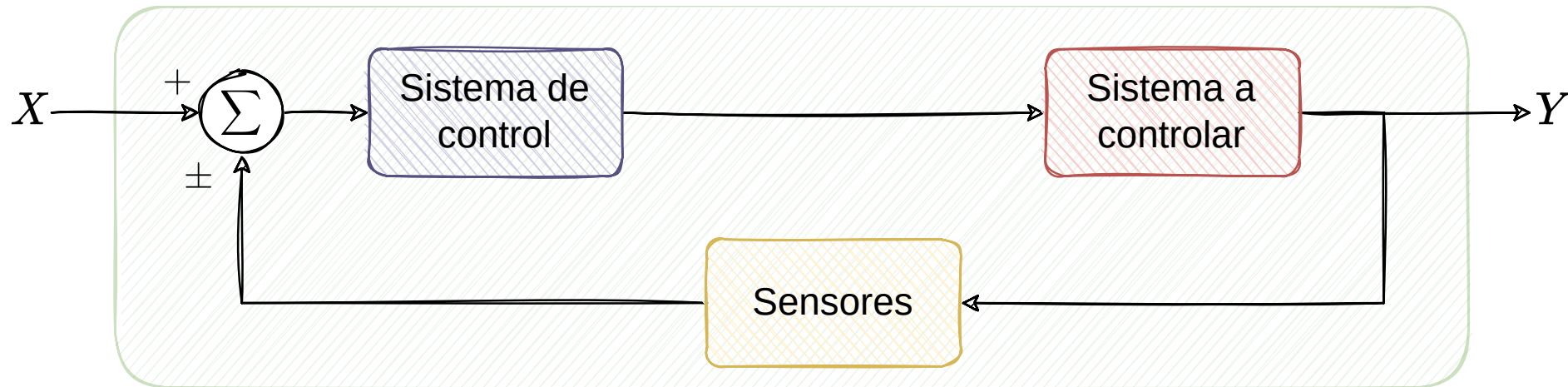
- Los romanos la usaron para su *gubernare* (no eran muy buenos navegando).
- Norbert Wiener tomó la palabra griega y le añadió el sufijo *ics*<sup>3</sup>

Podemos definir la **cibernética** como el **arte de** gobernar o **controlar**.

<sup>3</sup> En realidad remplazó el sufijo -tes (actor, agente) por -ike (disciplina, práctica, actividad), pasando de κυβερνήτης (kybernetes) a κυβερνητική (kybernetike). Disculpas por anticipado a todo estudiante de griego clásico.

# Sistema de control genérico

Desde el punto de vista de la cibernética, un sistema tiene la siguiente forma:



Generalmente son bucles de control con realimentación

- Realimentación positiva o negativa (de ahí el  $\pm$  en la generación del input).
- Puede haber sistemas de lazo abierto, pero no suelen ser de interés aquí.

# Componentes más importantes de la cibernética

---

**Realimentación** : Mejora el rendimiento dinámico del sistema.

- Es un principio muy general que abarca tecnología, astronomía, biología, ...

**Información** : Flujos de datos que rodean un sistema.

**Modelo** : Basada en que existe isomorfismo<sup>5</sup> entre diferentes sistemas.

**Ley de Ashby**<sup>6</sup>: *"cuanto mayor es la variedad de acciones, mayor es la variedad de perturbaciones a controlar"*.

- Sólo podemos controlar cuando sistema y controlador comparten variedad.

---

<sup>4</sup> Fue definida por *Shannon* como la cantidad de incertidumbre eliminada que se describe probabilísticamente.

<sup>5</sup> Sistemas mecánicos, electrónicos, etc. se pueden describir mediante las mismas ecuaciones diferenciales.

<sup>6</sup> En algunos contextos se conoce como la **Ley de la Variedad Requerida** .

# Sobre la Ley de Ashby

---

Podemos pensar en un **controlador** como un **reductor de variedad** :

- Cualquier alteración del entorno afecta al estado interno de un sistema.
- El objetivo es mantener a este lo más cerca de su estado objetivo (*set point*).
- El control por definición impide transmitir esa variedad existente en el entorno.

Es **justo lo contrario** al objetivo de la transmisión de información:

- Esta trata de mantener al máximo la variedad (e.g. compresión de datos).



**¡GRACIAS!**