



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Colombia

# Pontificia Universidad Javeriana

Facultad de Ingeniería

Departamento de Electrónica

## Controles

### Clase 1: Introducción

Gerardo Becerra, Ph.D.

[gbecerra@javeriana.edu.co](mailto:gbecerra@javeriana.edu.co)

Enero 22, 2020

# Presentación del Curso

---

# Descripción General del Curso

---

- El curso está dedicado al diseño e implementación de sistemas de control de entrada sencilla - salida sencilla en los dominios continuo y discreto.
- Se estudian procedimientos de análisis y diseño de controladores en el dominio del tiempo y la frecuencia.
- Se plantean los problemas fundamentales en el diseño de controladores: estabilidad, robustez y optimización.
- Se desarrollan proyectos en los que se implementan sistemas de control mediante:
  - Construcción de modelos
  - Diseño de la estrategia de control
  - Implementación de la solución
  - Validación de la solución.
- Es requisito para el énfasis en Control y Automatización de pregrado y para asignaturas coterminales de maestría en el área de control automático.

# Objetivos del Curso

---

- Posicionar el control de sistemas en el contexto de automática.
- Definir y analizar especificaciones de desempeño de un sistema de control lineal e invariante.
- Modificar la respuesta dinámica de sistemas mediante sistemas de control.
- Seleccionar un controlador y sus parámetros óptimos para un problema dado.
- Reconocer y plantear alternativas de solución a los problemas básicos de control.

# Estrategias Pedagógicas del Curso

---

- Asignación de lecturas para estudio individual anterior y posterior a la clase.
- Exposiciones teóricas por parte del profesor (sesiones teóricas).
- Desarrollo de proyectos de aplicación (sesiones prácticas).
- Uso de herramientas de simulación y diseño de controladores.

## Actividades de Evaluación del Curso

---

Componente	Fecha	Valor
Examen parcial	Semana 9	30%
Examen final	Semana 17	30%
Talleres	Semana 16	20%
Tareas	Permanente	20%

## Capítulo 1: Introducción al Control:

- Semana 1:
  - Introducción a la automatización: estructura jerárquica, dominios de control.
  - Definiciones y términos asociados a los sistemas de control.
  - Estructura de un sistema de control de lazo cerrado.
  - Definición de bloques y variables
- Semana 2:
  - Especificaciones de desempeño.
  - Modelo en espacio de estados y función de transferencia.
  - Respuesta en el tiempo (FOL, FOLPDT, SO, resumen).
  - Error en estado estacionario.
  - Estabilidad.

# Contenidos Generales del Curso (cont)

## Capítulo 2: Sintonización de Controladores:

- Semana 3:
  1. Acciones de control y controladores.
    - Controladores de dos posiciones (ON-OFF).
    - Controladores de tres términos: P, PI, PID.
- Semana 4:
  1. Criterios clásicos de sintonización (no óptimos):
    - Modelos aproximados FOPDT.
    - Métodos de Ziegler-Nichols, Cohen-Coon.
  2. Criterios de sintonización óptima:
    - Índices de desempeño.
    - Sintonía por criterios IAE, ITAE, ISE.
- Semana 5: Sesión de Matlab:
  - Síntesis de controladores: método matemático por igualación de funciones características.



### Capítulo 3: Diseño de compensadores por lugar geométrico de las raíces (LGR) y respuesta en frecuencia:

- Semana 6:
  1. Diseño de compensadores por LGR.
  2. Aproximación de polos dominantes.
- Semana 7:
  1. Diseño de compensador en adelanto.
  2. Diseño de compensador en atraso.
  3. Diseño de compensador en adelanto-atraso.

## Contenidos Generales del Curso (cont)

---

- Semana 8: Diseño en el dominio de la frecuencia:
  - Respuesta en frecuencia: diagramas de Bode, márgenes de fase y ganancia.
  - Compensador en adelanto.
- Semana 9: **Examen parcial.**
- Semana 10: Sesión de Matlab
  1. Diseño de compensador en atraso.
  2. Diseño de compensador en adelanto-atraso.
- Semana 11: Sesión de Matlab

## Capítulo 4: Sistemas de control en tiempo discreto:

- Semana 12: Sesión de Matlab
- Semana 13: Elementos de un sistema de control digital
  1. Diagrama de bloques.
  2. Sistemas de datos muestreados.
  3. Funciones de transferencia.
  4. Correspondencia entre los planos  $s$  y  $z$ .
  5. Presentación de proyecto.

# Contenidos Generales del Curso (cont)

---

- Semana 14: Controladores discretos
  - Métodos de discretización de controladores.
    - PID discreto.
    - Transformación backward, forward, bilineal.
  - Diseño de controladores digitales
    - Diseño por LGR en el plano  $z$
- Semana 15, 16: Sesión de Matlab - Implementación de Algoritmos.
- Semana 17: Entrega de proyecto.
- Semana 18: **Examen final.**

# Bibliografía del Curso

---

## Texto guía:

- Dorf, R. C., Bishop, (2011). Sistemas de control moderno. Pearson Prentice Hall.

## Otras referencias:

- Franklin, G. F., Powell, J. D., & Workman, M. L. (2006). Digital control of dynamic systems. Menlo Park: Addison-wesley.
- Golnaraghi, F., & Kuo, B. C. (2010). Automatic control systems. Wiley.
- CHEN Chi-Tsong. ANALOG AND DIGITAL CONTROL SYSTEM DESIGN: Transfer-Function, State-Space, and Algebraic Methods. Philadelphia: Saunders College, 1993.
- SMITH Carlos A. and CORRIPIO Armando. PRINCIPLES AND PRACTICE OF AUTOMATIC PROCESS CONTROL - 2nd. Edition. New York: John Wiley and Sons. 1997.

# Declaración de los Reglamentos

- 113. Constituyen faltas graves:
  - d. El fraude en actividades, trabajos y evaluaciones académicos y la posesión o utilización de material no autorizado en los mismos.”
- “118. Adicional a la sanción disciplinaria, el fraude en actividades, trabajos y evaluaciones académicos se sancionará académicamente con la pérdida de la asignatura, la cual será calificada con nota definitiva de cero punto cero (0.0)”
- “120. Además de la sanción disciplinaria, el plagio o la suplantación en una evaluación académica, en exámenes preparatorios, en trabajo de grado y tesis, se sancionarán académicamente con la pérdida de la asignatura la cual será calificada con nota definitiva de cero punto cero (0.0).”
- “67. Evaluación supletoria es aquella que reemplaza otra evaluación académica que el estudiante no pudo presentar oportunamente, por razones debidamente justificadas por escrito ante el Director del Programa. Dicha justificación deberá presentarse en un plazo no superior a los cinco días hábiles siguientes a la fecha de la evaluación no presentada.”

## Comunicación durante el curso

---

- Discord: <https://discordapp.com/download>
- Enlace de invitación al servidor privado: <https://discord.gg/R5XnvFM>
- Contenidos del curso.
- Trabajos propuestos.
- Discusiones y preguntas.

# Fundamentos de Sistemas de Control

---



## Automática:

- Ciencia que estudia los métodos y procedimientos que permiten la sustitución del operador humano por uno artificial, en una tarea previamente programada.

## Automatización:

- Es la realización de tareas y funciones mediante máquinas de funcionamiento autónomo, sin la intervención directa del hombre.

## Por qué es importante el control?

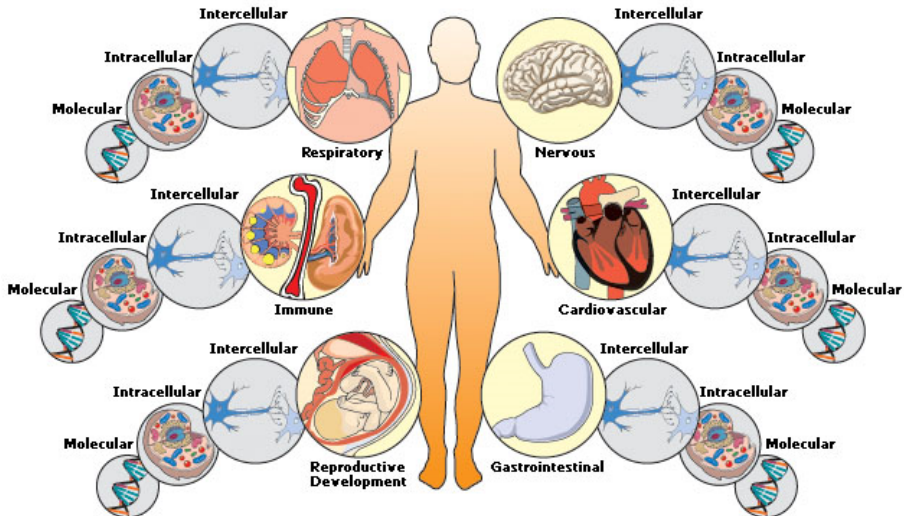
- En robótica: (video) (video)
- En la industria automotriz: (video)
- En vehículos autónomos: (video)
- En la industria aeronáutica: (video)

- Ingenieros → crean productos para ayudar a las personas.
- Entender, modelar y controlar materiales y fuerzas de la naturaleza.
- Ingeniería de sistemas de control:
  - Área de la ingeniería que busca entender, modelar y controlar segmentos del ambiente, llamados **sistemas**.
  - Basada en los principios de teoría de retroalimentación, análisis de sistemas lineales.
  - Fuertes fundamentos matemáticos y gran aplicabilidad en diversas áreas.

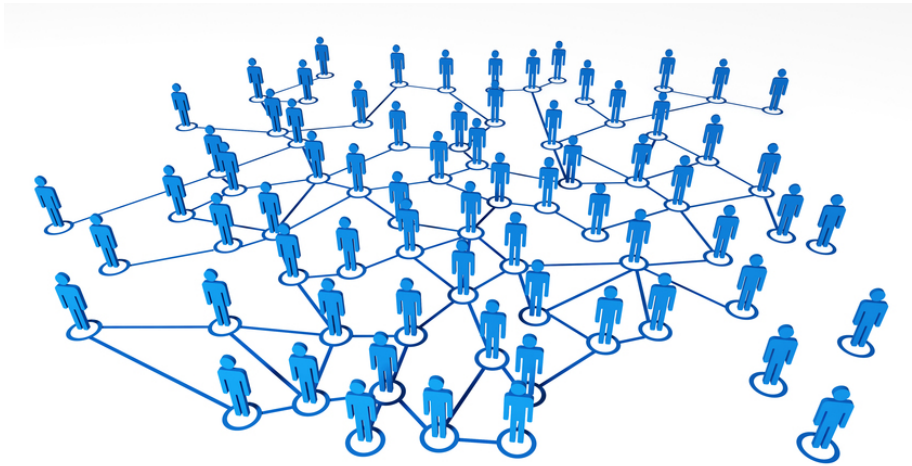
# ¿Qué es un sistema?



# ¿Qué es un sistema?



# ¿Qué es un sistema?



# Sistema

---

- Interconexión de componentes, dispositivos o subsistemas.
- Proceso que toma unas entradas y las transforma en salidas.



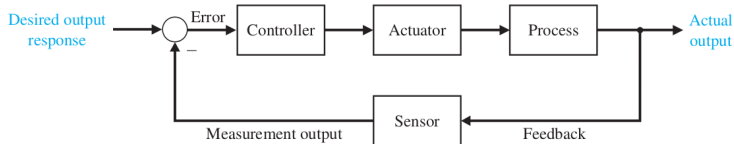
- Relación entrada - salida: representa la relación causa - efecto del proceso.
- Existe una frontera que separa los componentes internos del mundo externo.
- Enfoque sistemático para analizar el comportamiento: modelos matemáticos.

# Sistema de Control

- Interconexión de componentes que forman una configuración que provee una respuesta deseada.
- Sistema de control de lazo abierto: Usa un **controlador** y un **actuador** para obtener la respuesta del proceso deseada.

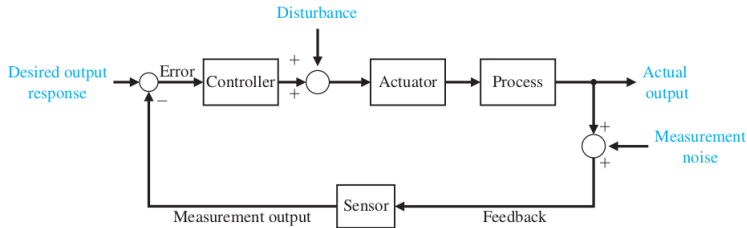


- Sistema de control de lazo cerrado: Utiliza una medida adicional de la salida para compararla con la respuesta deseada.



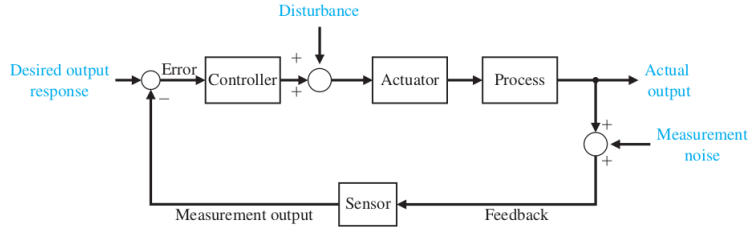


# Sistema de Control



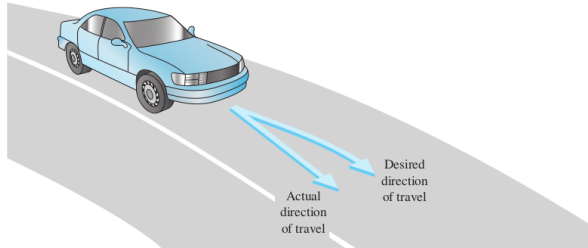
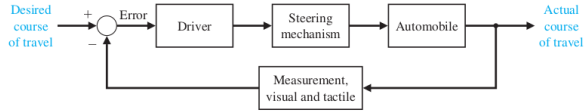
- Referencia (set-point): valor deseado de la variable controlada.
- Variable controlada: cantidad o condición que se mide y controla. Normalmente es la salida del sistema.
- Variable manipulada: cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.
- Perturbación: señal externa que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de control.

# Sistema de Control

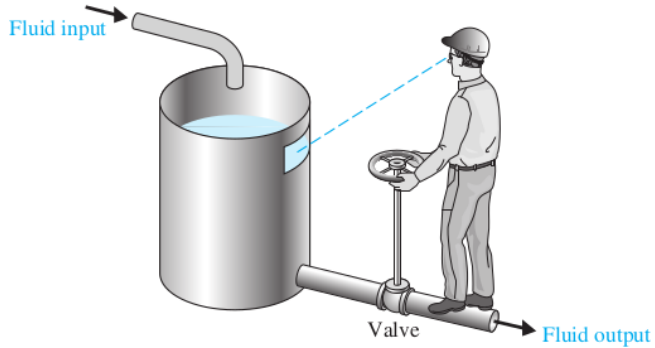


- Ruido de medida: señal externa que contamina la medición hecha con el sensor sobre la variable controlada.
- Error: Diferencia entre la referencia y la medición obtenida mediante el sensor.

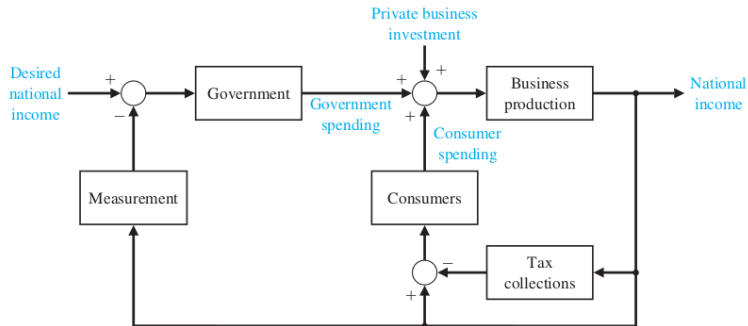
# Sistemas de Control - Ejemplos: Vehículos autónomos



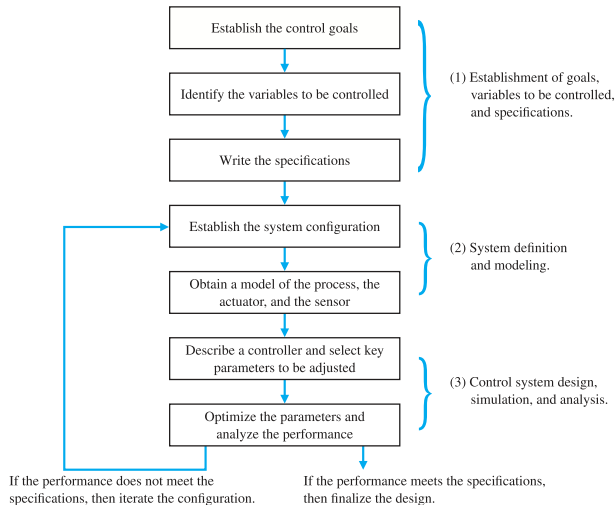
## Sistemas de Control - Ejemplos: Operador humano en el lazo de control



# Sistemas de Control - Ejemplos: Ingresos en una nación



**Objetivo:** Obtener la configuración, especificaciones e identificación de los parámetros clave del sistema propuesto para satisfacer los requerimientos.



1. Describa sensores típicos que puedan usarse para medir las siguientes variables:
  - Posición lineal
  - Posición rotacional
  - Temperatura
  - Presión
  - Fuerza
  - Flujo de líquido
  - Campo magnético terrestre
2. Describa actuadores típicos que puedan convertir las siguientes variables:
  - Energía eléctrica en energía mecánica
  - Deformación mecánica en energía eléctrica
  - Energía química en energía cinética
  - Calor en energía eléctrica

3. Una cámara con foco automático ajusta la distancia entre el lente y el sensor usando un rayo infrarojo para determinar la distancia al objetivo. Realice un bosquejo del diagrama de bloques de éste sistema de control especificando los diferentes componentes y señales. Explique brevemente su operación.



4. Considere el péndulo invertido mostrado en la figura. El objetivo es mantener el péndulo en la posición vertical ( $\theta = 0$ ) en la presencia de disturbios. Realice el bosquejo del diagrama de bloques del sistema de control. Identifique el proceso, sensor, actuador y controlador.

