

# Introducción al Modelado y Simulación de Sistemas

Materia: Simulación

Prof. Dr. BARSEKH-ONJI Aboud

Facultad de Ingeniería  
Universidad Anáhuac México

27 de enero de 2026

# Índice

1. Introducción a la Teoría de Sistemas
2. Clasificación de Sistemas
  - 2.1 Segundo el marco temporal
  - 2.2 Segundo la complejidad
  - 2.3 Segundo la incertidumbre
  - 2.4 Segundo la varianza en el tiempo
  - 2.5 Sistemas Lineales y No Lineales
  - 2.6 Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo
3. La Filosofía de Sistemas
  - 3.1 El Método de la Ciencia
  - 3.2 Problemas de la Ciencia y el Surgimiento del Sistema
4. Modelado de Sistemas
5. Clasificación de Modelos
6. El Rol y el Poder de la Simulación
7. Fases del Modelado y de la Simulación
8. Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual
9. Verificación y Validación (V&V)

# ¿Qué es un Sistema?

## Definición Rigurosa

Un **sistema** es una colección de entidades (o componentes) que actúan e interactúan entre sí para lograr un objetivo lógico común.

- Un sistema está definido por un **límite** que lo separa de su **entorno**.
- La elección del límite es una decisión crítica en el modelado.
- **Endógeno:** Elementos dentro del sistema.
- **Exógeno:** Elementos fuera del sistema (en el entorno).

# Características de un Sistema

Dentro de sus límites, un sistema se caracteriza por:

- **Componentes o Entidades:** Elementos discretos (e.g., camiones, operarios, paquetes).
- **Atributos:** Propiedades de las entidades (e.g., capacidad, velocidad, estado).
- **Actividades:** Procesos que consumen tiempo y causan cambios (e.g., carga de un camión, viaje).
- **Estado del Sistema:** Descripción completa del sistema en un punto específico del tiempo.

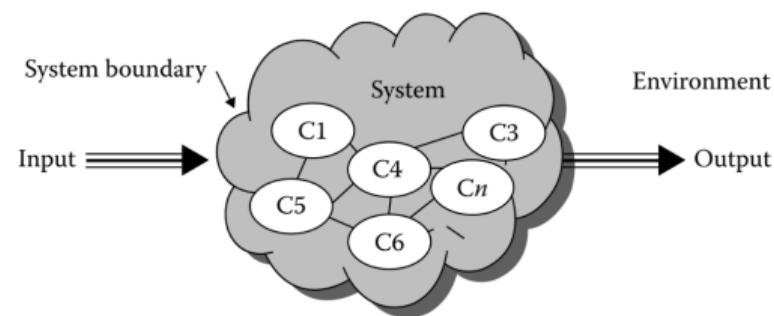


Figura 1: Representación conceptual de un sistema y su interacción con el entorno.

# Ejemplo: Una Fábrica como Sistema

## Aplicando los Conceptos

Consideremos una fábrica como sistema:

- **Componentes:** Trabajadores, máquinas, materias primas.
- **Atributos:** Velocidad de producción, tasa de fallos de las máquinas.
- **Actividades:** Fabricación de piezas, ensamblaje, mantenimiento.
- **Estado:** Número de piezas en buffer, estado de cada máquina.
- **Entorno:** Proveedores, clientes, factores económicos.

# Delimitando el Campo de Estudio

## Definición del Límite

Es una partición que diferencia las entidades del entorno. La elección del límite depende del observador, del tiempo y de la naturaleza del estudio.

- Puede ser material (piel de un cuerpo) o inmaterial (pertenencia a un grupo).
- Determina qué puede entrar o salir del sistema (entradas y salidas).
- Puede ser **nítido** (claramente definido) o **difuso** (mal definido).

# Componentes e Interacciones

## Componentes:

- Son los bloques de construcción fundamentales.
- Sus relaciones de entrada-salida se pueden modelar con ecuaciones diferenciales o en diferencias.
- **Ejemplo de negocio:** Clientes, proveedores, gobierno.

## Interacciones:

- Pueden ser estáticas o dinámicas.
- Restringidas o no restringidas.
- Unidireccionales o bidireccionales.
- Fuerza de interacción:
  - 0: Sin interacción.
  - 1: Interacción total.
  - Entre 0 y 1: Interacción parcial.

## Interacción Continua

Los sistemas abiertos, como los organismos vivos, intercambian continuamente materia y energía con su entorno para sobrevivir.

- **Entrada (Input):** Lo que entra al sistema desde el exterior.
- **Salida (Output):** Lo que sale del sistema hacia el entorno.
- **Procesamiento (Throughput):** La transformación de la entrada en salida.
- El entorno incluye: competencia, tecnología, capital, regulación, etc.

# Enfoques de Estudio: Caja Negra vs. Caja Blanca

## Caja Negra (Black Box)

- Nos preocupamos solo por la **entrada** y la **salida**.
- Se ignoran las complejidades internas del sistema.
- **Ejemplo:** Medir el consumo total de combustible (entrada) de una ciudad y su nivel de emisiones (salida) sin detallar el consumo individual.

## Caja Blanca (White Box)

- Nos preocupamos por los **detalles internos** y los procesos del sistema, además de las entradas y salidas.
- **Ejemplo:** Rastrear el movimiento de cada tanque de combustible a cada edificio particular de la ciudad para entender la contaminación.

# Índice

1. Introducción a la Teoría de Sistemas
2. Clasificación de Sistemas
  - 2.1 Segundo el marco temporal
  - 2.2 Segundo la complejidad
  - 2.3 Segundo la incertidumbre
  - 2.4 Segundo la varianza en el tiempo
  - 2.5 Sistemas Lineales y No Lineales
  - 2.6 Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo
3. La Filosofía de Sistemas
  - 3.1 El Método de la Ciencia
  - 3.2 Problemas de la Ciencia y el Surgimiento del Sistema
4. Modelado de Sistemas
5. Clasificación de Modelos
6. El Rol y el Poder de la Simulación
7. Fases del Modelado y de la Simulación
8. Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual
9. Verificación y Validación (V&V)

# Dimensiones para Clasificar Sistemas

## Importancia

Comprender las diversas clasificaciones de los sistemas es esencial para seleccionar la metodología de modelado y simulación más apropiada para un problema dado.

- Según el marco temporal.
- Según la complejidad.
- Según el nivel de incertidumbre.
- Según la varianza en el tiempo.
- Linealidad y no linealidad.
- Varianza e invarianza en el tiempo.

# Clasificación según el Marco Temporal

## Sistemas Continuos

- Las variables de estado cambian de manera **continua** e ininterrumpida.
- Descritos por **ecuaciones diferenciales**.
- **Ejemplo:** El nivel de agua en un tanque que se llena y vacía, el vuelo de un misil.

## Sistemas Discretos

- Las variables de estado cambian solo en puntos **discretos** en el tiempo (eventos).
- El estado permanece constante entre eventos.
- **Ejemplo:** Un sistema de colas en un banco, sistemas logísticos y de manufactura.

## Sistemas Híbridos

Contienen componentes tanto continuos como discretos. Ejemplo: una planta química con flujo continuo controlado por válvulas discretas.

# Clasificación por Complejidad

## Sistemas Físicos:

Variables medibles cuantitativamente con dispositivos (eléctricos, mecánicos, etc.). Menos complejos.

## Sistemas Conceptuales:

Mediciones cualitativas o imaginarias (psicológicos, sociales, económicos). Más complejos.

## Sistemas Esotéricos:

Las mediciones no son posibles con dispositivos físicos. Complejidad del más alto orden.

# Clasificación por Complejidad

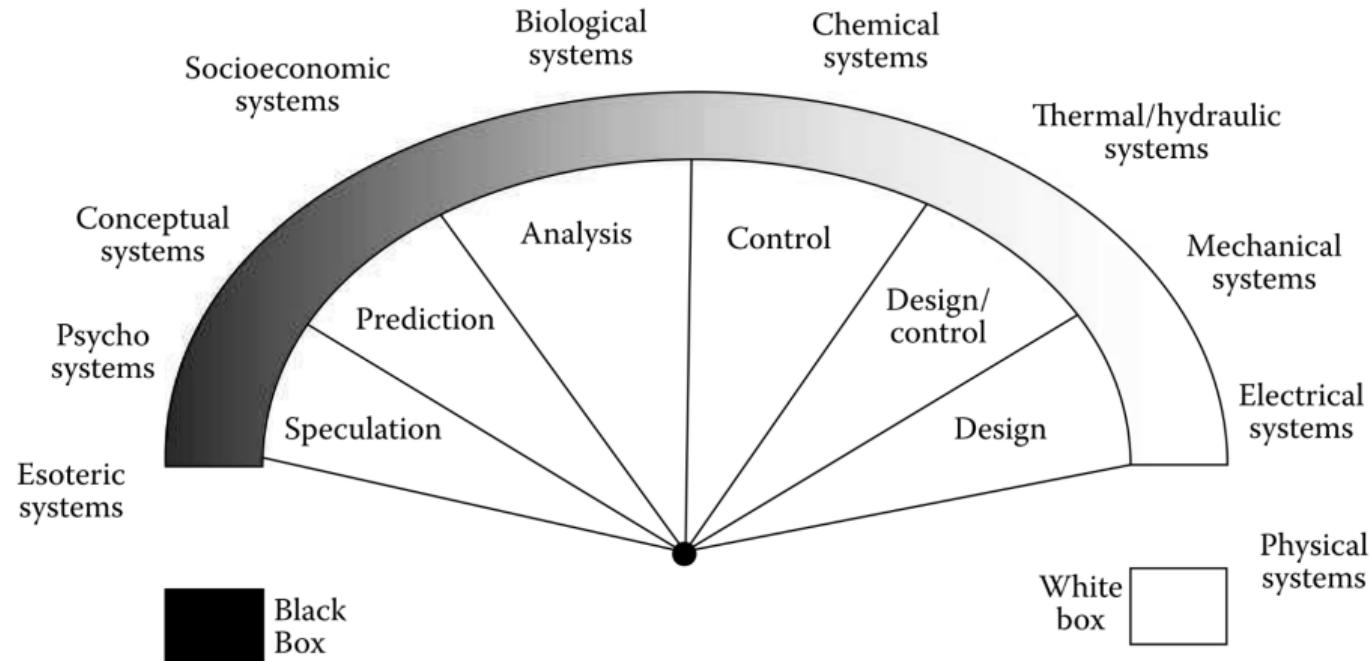


Figura 2: Clasificación de sistemas con base en su complejidad

# Clasificación según el Nivel de Incertidumbre

## Determinísticos:

- Comportamiento futuro predecible con certeza si se conoce el estado actual y las entradas. Sin componentes aleatorios.
- *Ejemplo:* Movimiento de los planetas.

## Estocásticos:

- Contienen al menos un componente aleatorio. El comportamiento no puede predecirse con certeza.
- *Ejemplo:* Tiempos de llegada de clientes, fallos de máquinas.

## Difusos:

- Caracterizados por variables cuantificables en términos lingüísticos y con alto grado de ambigüedad.

# Señales y Sistemas: Continuo vs. Discreto

- **Sistemas de Tiempo Continuo:**  
Entradas y salidas son señales de tiempo continuo.
- **Sistemas de Tiempo Discreto:**  
Entradas y salidas son señales definidas solo en instantes discretos.

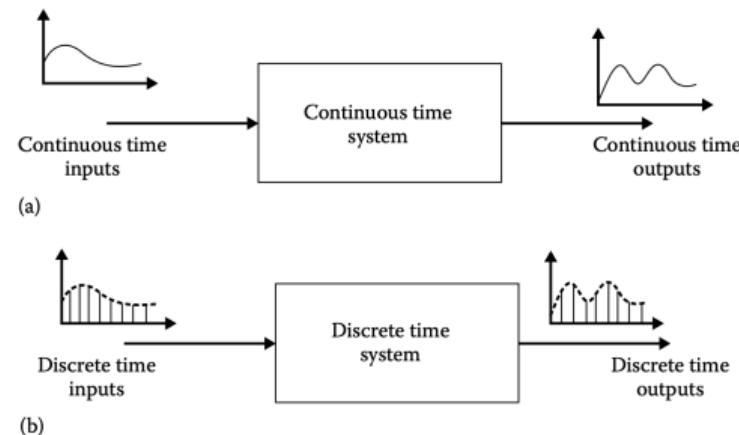


Figura 3: Sistemas analógicos y digitales.

# Procesando Señales Continuas con Sistemas Discretos

## Conversión Analógico-Digital (ADC) y Digital-Análogo (DAC)

Para procesar señales continuas con sistemas discretos, es necesario convertirlas.

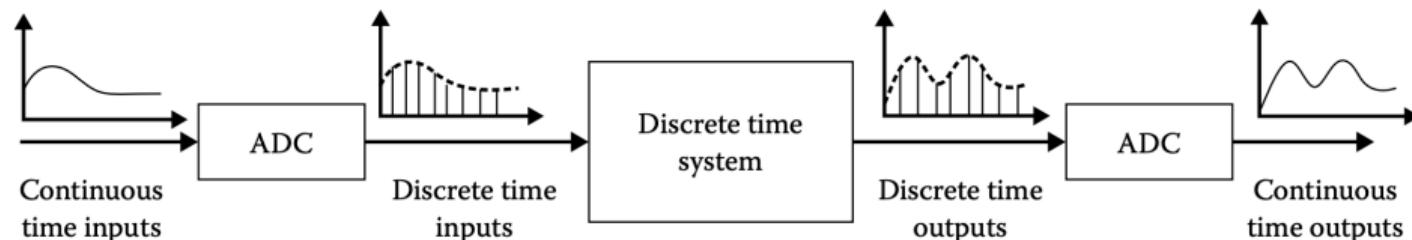


Figura 4: Procesamiento de señales de tiempo continuo por sistemas de tiempo discreto.

# Tipos de Señales: Eje de Tiempo vs. Amplitud

## Calificando las Señales

**Tiempo Discreto/Continuo:** Califica la naturaleza de la señal en el eje del tiempo (eje X).

**Analógico/Digital:** Califica la naturaleza de la amplitud de la señal (eje Y).

# Tipos de Señales: Eje de Tiempo vs. Amplitud

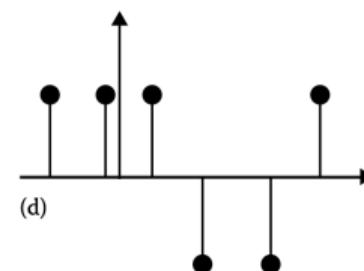
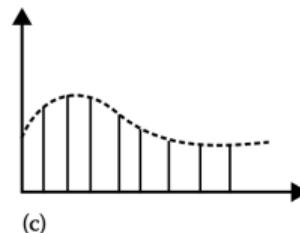
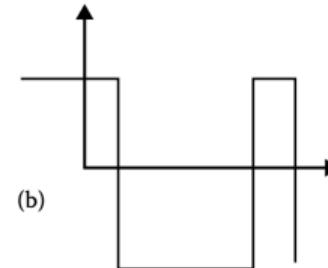
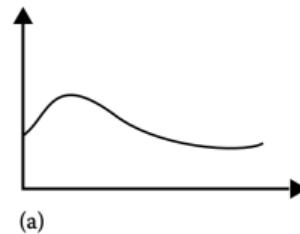


Figura 5: Diferentes tipos de señales.

# Clasificación según la Varianza en el Tiempo

## Sistemas Estáticos

- El tiempo no juega un papel explícito.
- Representan el sistema en un único punto en el tiempo.
- **Técnica:** Simulación de Monte Carlo.
- *Ejemplo:* Estimar el costo de un proyecto con costos de actividad aleatorios.

## Sistemas Dinámicos

- El estado del sistema evoluciona con el tiempo.
- La gran mayoría de los sistemas de interés.
- *Ejemplos:* Sistemas de colas (discreto), nivel de un tanque (continuo).

# Sistemas Lineales y No Lineales

## Importancia de los Sistemas Lineales:

1. La mayoría de las situaciones de ingeniería son lineales (en un rango).
2. La mayoría de las situaciones en ciencias sociales no son lineales.
3. Existen soluciones exactas mediante técnicas estándar.

## Sistemas No Lineales:

- No hay métodos estándar para analizarlos.
- Requieren enfoques gráficos, experimentales o aproximaciones.

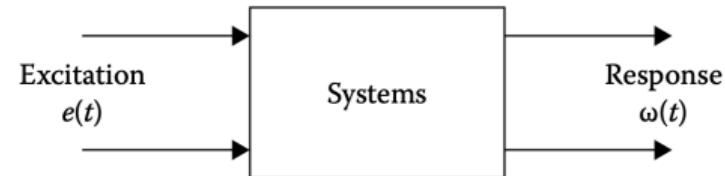


Figura 6: Representación de un sistema de dos puertos.

# Linealidad en la Práctica: Ley de Ohm y Ley de Hooke

## Ley de Ohm

La relación lineal ( $V \propto I$ ) no se mantiene siempre. Si la corriente aumenta excesivamente, la resistencia cambia por la temperatura:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \Delta T)$$

## Ley de Hooke

La relación lineal (Esfuerzo  $\propto$  Deformación) se rompe cuando el esfuerzo excede el límite elástico del material.

# Superposición y Homogeneidad

Un sistema lineal obedece los teoremas de superposición y homogeneidad.

## Teorema de Superposición

Si  $e_1(t) \rightarrow \omega_1(t)$  y  $e_2(t) \rightarrow \omega_2(t)$ , entonces:

$$e_1(t) + e_2(t) \rightarrow \omega_1(t) + \omega_2(t)$$

Una superposición de excitaciones resulta en una superposición de respuestas.

## Example

La relación entre venta y utilidad en una gasolinera

- Si vende 100 lts de gasolina gana \$400 M.N.
- Si vende 500 lts de gasolina gana \$2000 M.N.
- Entonces, si vende  $500 + 100$  lts de gasolina gana  $\$2000 + 400$  M.N.

# Superposición y Homogeneidad

## Homogeneidad

Si se aplican  $n$  excitaciones idénticas  $e_1(t)$ , entonces:

$$n \cdot e_1(t) \rightarrow n \cdot \omega_1(t)$$

La magnitud de la respuesta es proporcional a la magnitud de la excitación.

## Example

La relación entre venta y utilidad en una gasolinera

- Si vende 100 lts de gasolina gana \$400 M.N.
- Entonces, si vende  $5 \times 100$  lts de gasolina gana  $\$5 \times 400$  M.N.

# Ecuaciones Diferenciales

## Ecuación Diferencial Lineal

Una ecuación diferencial ordinaria de segundo orden lineal:

$$\frac{d^2\omega}{dt^2} + a_1 \frac{d\omega}{dt} + a_0 \omega = e(t)$$

Es lineal porque ni  $\omega$  ni sus derivadas están elevadas a una potencia o multiplicadas entre sí.

## Ecuaciones Diferenciales No Lineales

Se vuelven no lineales si hay:

- Un producto de la variable dependiente y su derivada:  $y \frac{dy}{dt}$
- Una potencia de la variable dependiente:  $u^2$
- Una potencia de una derivada:  $\left( \frac{d^2y}{dt^2} \right)^2$

# Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo

## Sistemas Variables en el Tiempo

- Sus parámetros cambian con el tiempo.
- **Ejemplo:** Un micrófono de carbón (la resistencia cambia con la presión), el rendimiento de combustible de un auto a lo largo de su vida.

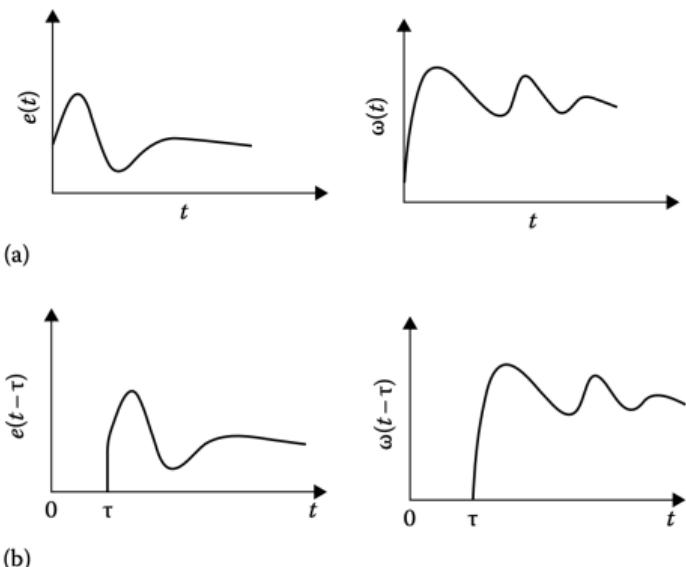


Figura 7: Respuestas de un sistema invariante en el tiempo.

# Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo

## Sistemas Invariantes en el Tiempo

- Sus parámetros no cambian con el tiempo.
- La salida depende de la forma de la entrada, no del instante en que se aplica.
- Si  $e(t) \rightarrow \omega(t)$ , entonces  $e(t - \tau) \rightarrow \omega(t - \tau)$ .

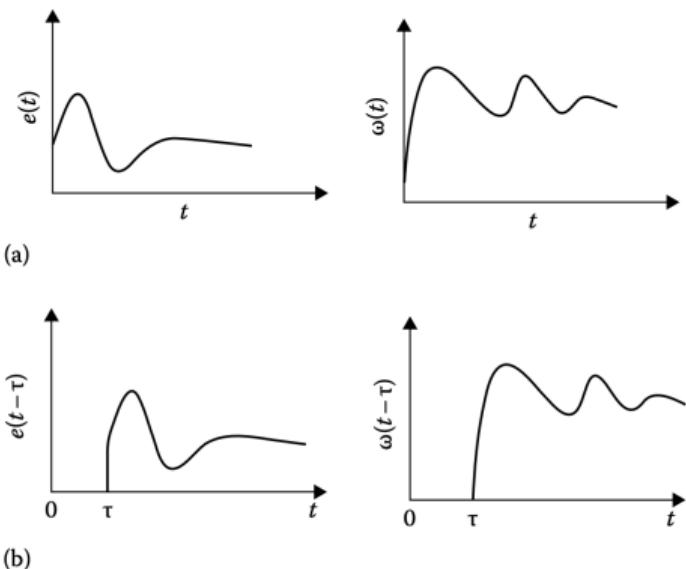


Figura 8: Respuestas de un sistema invariante en el tiempo.

# Índice

1. Introducción a la Teoría de Sistemas
2. Clasificación de Sistemas
  - 2.1 Segundo el marco temporal
  - 2.2 Segundo la complejidad
  - 2.3 Segundo la incertidumbre
  - 2.4 Segundo la varianza en el tiempo
  - 2.5 Sistemas Lineales y No Lineales
  - 2.6 Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo
3. La Filosofía de Sistemas
  - 3.1 El Método de la Ciencia
  - 3.2 Problemas de la Ciencia y el Surgimiento del Sistema
4. Modelado de Sistemas
5. Clasificación de Modelos
6. El Rol y el Poder de la Simulación
7. Fases del Modelado y de la Simulación
8. Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual
9. Verificación y Validación (V&V)

## Teoría General de Sistemas

Postulada por **Ludwig Von Bertalanffy**, aboga por la existencia de una ley general de sistemas aplicable tanto a sistemas físicos como humanos y sociales, integrando ciencia, artes, ética y política.

- Surge cuando la ciencia tradicional no lograba explicar los **sistemas abiertos**.
- Se basa en las analogías formales entre sistemas físicos, químicos y biológicos.
- Busca una comprensión holística del mundo.

### Padre del Pensamiento Sistémico Moderno

Biólogo austriaco, fundador de la 'teoría general de sistemas' o 'sistemología general'.

- Sus contribuciones se extendieron a la cibernetica, educación, filosofía, psicología y sociología.
- Su modelo de crecimiento individual (1934) es ampliamente utilizado en modelos biológicos.
- Su contribución más aclamada es la **teoría de los sistemas abiertos**.



Figura 9: Karl Ludwig von Bertalanffy.

# Dos Visiones del Mundo

## Visión Holística de Aristóteles

- 'Un todo es más que la suma de sus partes.'
- Visión **teleológica**: las cosas suceden para cumplir su propósito interno.
- Base conceptual de la filosofía de sistemas.

## Revolución Científica (S. XVII)

- **Copérnico, Kepler, Galileo, Newton.**
- Demolió la visión aristotélica.
- Propuso una imagen **mecánica** del universo, expresada en lenguaje matemático.
- La perspectiva teleológica pareció innecesaria.

# ¿Cómo se adquiere conocimiento científicamente?

## Definición

La ciencia adquiere conocimiento públicamente comprobable mediante el pensamiento racional aplicado a la observación y experimentación.

Se caracteriza por tres pilares fundamentales, las 3R:

R

R

R

**Reducciónismo**

**Repetibilidad**

**Refutación**

# Explicando las 3R

## Reducción:

- Seleccionar solo algunos elementos para investigar.
- Descomponer problemas complejos y analizarlos por partes.
- Aceptar la explicación más simple requerida por los hechos.

## Repetibilidad:

- La salida de un sistema es la misma para una excitación dada, sin importar el tiempo o lugar.
- Hace que el conocimiento sea **público** y verificable por cualquiera.

## Refutación:

- El progreso intelectual se produce al intentar refutar hipótesis audaces.
- No conformarse, sino desafiar el paradigma existente.

# ¿Por qué necesitamos la Filosofía de Sistemas?

## La Debilidad del Reduccionismo

El reduccionismo, aunque es una herramienta poderosa, también es la principal debilidad del método científico tradicional.

- La ciencia asume que los componentes de un todo son los mismos cuando se examinan de forma aislada.
- Esto es cierto para sistemas físicos **regulares y bien estructurados**.
- Sin embargo, **falla** al estudiar fenómenos complejos como la sociedad humana o los sistemas biológicos, donde las interacciones son cruciales.
- Es en este contexto que Von Bertalanffy retoma la noción holística de Aristóteles: '**Un todo es más que la suma de sus partes**'.

# Índice

1. Introducción a la Teoría de Sistemas
2. Clasificación de Sistemas
  - 2.1 Segundo el marco temporal
  - 2.2 Segundo la complejidad
  - 2.3 Segundo la incertidumbre
  - 2.4 Segundo la varianza en el tiempo
  - 2.5 Sistemas Lineales y No Lineales
  - 2.6 Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo
3. La Filosofía de Sistemas
  - 3.1 El Método de la Ciencia
  - 3.2 Problemas de la Ciencia y el Surgimiento del Sistema
4. Modelado de Sistemas
5. Clasificación de Modelos
6. El Rol y el Poder de la Simulación
7. Fases del Modelado y de la Simulación
8. Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual
9. Verificación y Validación (V&V)

## El Modelado en la Vida Cotidiana

El ser humano ha modelado desde que desarrolló la capacidad de imaginar. Un modelo es una representación o abstracción de un sistema real.

- Un niño con una muñeca.
- Un arquitecto con una maqueta.
- Un empresario con un plan de negocios.

## Objetivo del Modelado

El modelado nos permite entender, predecir y analizar sistemas complejos sin necesidad de interactuar directamente con ellos.

# ¿Qué problemas podemos resolver?

Un modelo nos ayuda a:

- Medir la altura de una torre.
- Medir el ancho de un río.
- Calcular la masa de la Tierra.
- Estimar la temperatura del sol.
- Predecir el rendimiento de un cultivo.
- Cuantificar la sangre en un cuerpo.
- Proyectar la población futura.
- Determinar la órbita de un satélite.
- Evaluar el impacto de políticas económicas.
- Optimizar el diseño de un producto.
- Estimar la vida útil de un componente.
- Pronosticar reclamaciones de seguros.

## Abstracción de la Realidad

Un modelo es un marco conceptual que describe un sistema. Puede ser una réplica física o una abstracción lógica/matemática.

## Compromiso entre Simplicidad y Precisión

El desarrollo de un modelo requiere un balance entre:

- 1. La simplicidad del modelo:** A más suposiciones, más simple el modelo.
- 2. La precisión (fidelidad) del modelo:** A menos suposiciones, más complejo pero más preciso.

La precisión de un modelo es complementaria a su simplicidad.

# Clasificación según la Información Disponible

## Caja Blanca (White Box)

- Toda la información necesaria sobre el sistema está disponible.
- Se conoce la relación funcional entre variables.
- *Ejemplo:* Modelar el efecto de un medicamento sabiendo que sigue una función de decaimiento exponencial (aunque los parámetros deban estimarse).

## Caja Negra (Black Box)

- No hay información previa disponible sobre el sistema.
- Se busca estimar tanto la relación funcional como los parámetros.
- Se usan funciones generales como las **Redes Neuronales Artificiales (ANN)**.

# La Necesidad del Modelado de Sistemas

A veces es inapropiado o imposible experimentar en sistemas reales.

## Razones Principales

**Demasiado Caro:** La experimentación física con sistemas complejos (e.g., satélites) es extremadamente costosa y requiere mucho tiempo.

**Arriesgado:** Existe el riesgo de dañar el sistema o, peor aún, un riesgo para la vida humana (e.g., entrenar a un operario en una planta nuclear).

## Situaciones Esenciales para el Modelado

- Diseño de sistemas que aún no existen (e.g., un nuevo avión).
- Obliga a pensar con claridad sobre la estructura y elementos esenciales.
- Es una herramienta para mejorar la comprensión y el rendimiento del sistema.
- Permite explorar múltiples soluciones de forma económica.

## El Desafío de la Complejidad

Modelar cada detalle de un sistema complejo (como un avión de combate) es computacionalmente inviable y aumenta la incertidumbre. Es necesario hacer aproximaciones para reducir el modelo a un tamaño razonable.

## Técnicas según la Complejidad

**Sistemas menos complejos:** Técnicas de modelado matemático.

**Sistemas de complejidad media:** Redes Neuronales Artificiales (ANN).

**Sistemas altamente complejos:** Modelado de sistemas difusos (Lógica Difusa).

# Enfoques de Modelado según la Complejidad

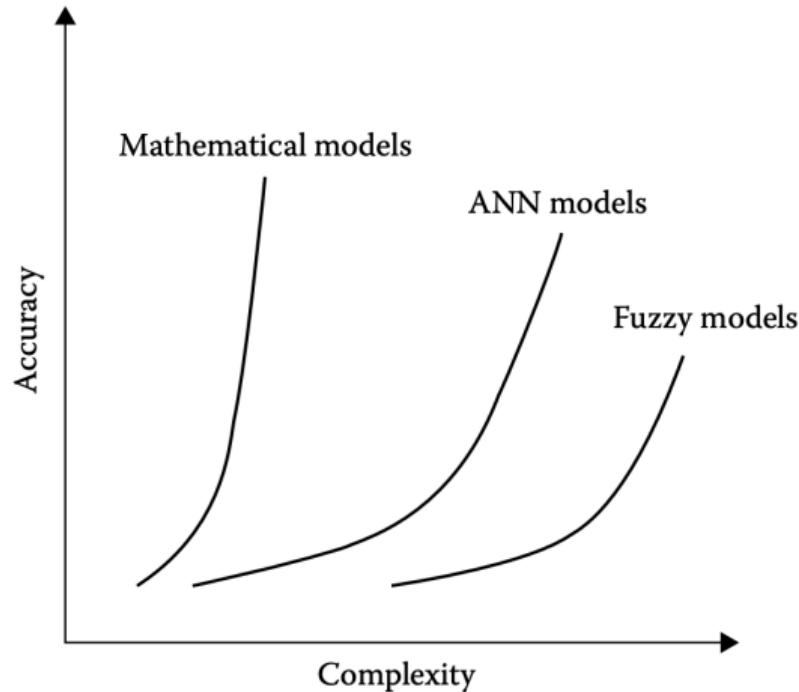


Figura 10: Diferentes enfoques de modelado.

# Índice

1. Introducción a la Teoría de Sistemas
2. Clasificación de Sistemas
  - 2.1 Segundo el marco temporal
  - 2.2 Segundo la complejidad
  - 2.3 Segundo la incertidumbre
  - 2.4 Segundo la varianza en el tiempo
  - 2.5 Sistemas Lineales y No Lineales
  - 2.6 Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo
3. La Filosofía de Sistemas
  - 3.1 El Método de la Ciencia
  - 3.2 Problemas de la Ciencia y el Surgimiento del Sistema
4. Modelado de Sistemas
5. Clasificación de Modelos
6. El Rol y el Poder de la Simulación
7. Fases del Modelado y de la Simulación
8. Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual
9. Verificación y Validación (V&V)

## Utilidad de los Modelos

Los modelos son un medio aceptado para estudiar fenómenos complejos a un costo menor y en menos tiempo que experimentar con sistemas reales. Nos informan sobre nuestra ignorancia y mejoran la comprensión del sistema.

# Clasificación de Modelos

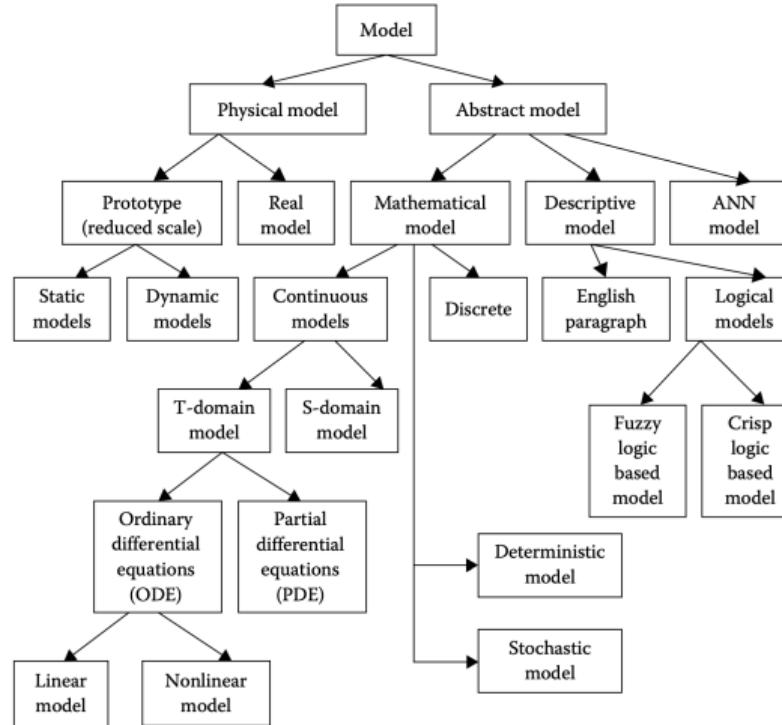


Figura 11: Representación pictórica de la clasificación de modelos.

# Modelo Físico vs. Abstracto

## Modelo Físico (Icónico)

- Son réplicas físicas, a menudo a escala reducida.
- Fáciles de entender visualmente.
- **Ejemplos:**
  - Coches de arcilla en túneles de viento.
  - Cabinas de entrenamiento para pilotos.
  - Maquetas de edificios.

## Modelo Abstracto

- Representan un sistema usando símbolos y relaciones lógicas o cuantitativas.
- Son los más comunes en análisis de sistemas e investigación de operaciones.
- **Ejemplo:** Un modelo matemático.

# Modelo Matemático vs. Descriptivo

## Modelo Matemático

Es una subdivisión de los modelos abstractos que utiliza el lenguaje de los símbolos matemáticos para describir un sistema.

## Examples

Un modelo matemático abstracto muy conocido es la relación:

$$\text{Distancia} = \text{Aceleración} \times \text{Tiempo} \quad (d = a \cdot t)$$

La validez de este modelo depende completamente del contexto en el que se aplica.

# Modelo Estático vs. Dinámico

## Modelo Estático

- Representa un sistema en un **momento particular**.
- El tiempo no juega un papel relevante.
- **Ejemplo:** Una maqueta arquitectónica para visualizar una planta.

## Modelo Dinámico

- Representa un sistema a medida que **evoluciona en el tiempo**.
- Trata con interacciones que varían temporalmente.
- **Ejemplo:** Un modelo de un sistema de cintas transportadoras en una fábrica.

# Más Clasificaciones de Modelos

## Estado Estacionario vs. Transitorio:

- *Estacionario*: El comportamiento es representativo y similar en cualquier período de tiempo.
- *Transitorio*: La respuesta del sistema cambia con el tiempo (e.g., un sistema en crecimiento).

## Abierto vs. de Retroalimentación (Cerrado):

- *Cerrado*: Genera internamente los valores de las variables mediante su interacción. Los sistemas de retroalimentación de información son de este tipo.

# Modelos Determinísticos vs. Estocásticos

## Modelo Determinístico

- No contiene componentes probabilísticos (aleatorios).
- La salida está 'determinada' una vez que se especifican las entradas y relaciones.
- **Ejemplo:** Un sistema de ecuaciones diferenciales que describe una reacción química.

## Modelo Estocástico

- Contiene al menos un componente de entrada aleatorio.
- La salida es en sí misma aleatoria y debe tratarse como una estimación.
- **Ejemplo:** La mayoría de los sistemas de colas e inventarios.

# Modelos Continuos vs. Discretos

La decisión de usar un modelo discreto o continuo depende de los **objetivos específicos** del estudio.

- **Ejemplo (Flujo de tráfico):**

- *Modelo Discreto:* Si el movimiento de coches individuales es importante.
- *Modelo Continuo:* Si los coches pueden tratarse 'en conjunto' mediante ecuaciones diferenciales.

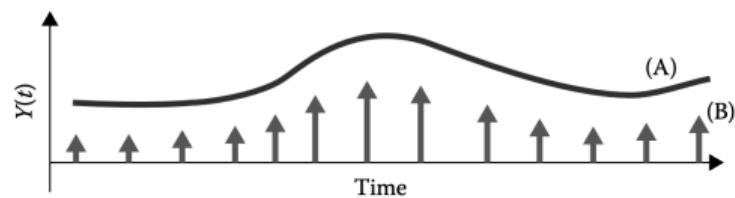


Figura 12: Funciones (A) Continuas y (B) Discretas.

# Índice

1. Introducción a la Teoría de Sistemas
2. Clasificación de Sistemas
  - 2.1 Segundo el marco temporal
  - 2.2 Segundo la complejidad
  - 2.3 Segundo la incertidumbre
  - 2.4 Segundo la varianza en el tiempo
  - 2.5 Sistemas Lineales y No Lineales
  - 2.6 Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo
3. La Filosofía de Sistemas
  - 3.1 El Método de la Ciencia
  - 3.2 Problemas de la Ciencia y el Surgimiento del Sistema
4. Modelado de Sistemas
5. Clasificación de Modelos
- 6. El Rol y el Poder de la Simulación**
7. Fases del Modelado y de la Simulación
8. Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual
9. Verificación y Validación (V&V)

## Un Laboratorio Virtual

La simulación es una de las herramientas más utilizadas en la investigación de operaciones y la ingeniería. Su poder reside en su capacidad para experimentar con un **modelo digital del sistema** en lugar de experimentar con el sistema real.

### ¿Por qué usar un laboratorio virtual?

Experimentar en el sistema real podría ser:

- Costoso
- Peligroso
- Simplemente imposible

- **Diseño y análisis de sistemas de manufactura:** Determinar el número óptimo de máquinas, tamaño de buffers y analizar el impacto de fallos.
- **Gestión de la cadena de suministro:** Analizar el Efecto Látigo, optimizar políticas de inventario y evaluar estrategias de distribución.
- **Diseño de layouts de almacenes:** Optimizar flujos de materiales, determinar cantidad de muelles y planificar asignación de personal.
- **Sistemas de servicio al cliente:** Determinar el número de servidores (cajeros, agentes) para cumplir con un nivel de servicio.
- **Planificación de proyectos:** Estimar la probabilidad de completar un proyecto a tiempo y dentro del presupuesto.

# Fortalezas y Debilidades de la Herramienta

## Ventajas

- Permite estudiar sistemas complejos sin modelos analíticos.
- Permite experimentar sin interrumpir el sistema real.
- Permite comprimir o expandir el tiempo.
- Ayuda a identificar cuellos de botella.
- Es una poderosa herramienta de comunicación y visualización.

## Desventajas

- Construir un buen modelo puede ser largo y costoso.
- Los resultados son estimaciones estadísticas; se requieren múltiples ejecuciones.
- Los resultados pueden ser difíciles de interpretar.
- Es una herramienta de evaluación, no de optimización directa.

# Índice

1. Introducción a la Teoría de Sistemas
2. Clasificación de Sistemas
  - 2.1 Segundo el marco temporal
  - 2.2 Segundo la complejidad
  - 2.3 Segundo la incertidumbre
  - 2.4 Segundo la varianza en el tiempo
  - 2.5 Sistemas Lineales y No Lineales
  - 2.6 Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo
3. La Filosofía de Sistemas
  - 3.1 El Método de la Ciencia
  - 3.2 Problemas de la Ciencia y el Surgimiento del Sistema
4. Modelado de Sistemas
5. Clasificación de Modelos
6. El Rol y el Poder de la Simulación
- 7. Fases del Modelado y de la Simulación**
8. Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual
9. Verificación y Validación (V&V)

# ¿Qué es Modelar?

## Definición

El modelado es el arte/proceso de desarrollar un modelo de sistema. Su propósito es exponer el funcionamiento interno de un sistema y presentarlo en una forma útil para su estudio. En esencia, es el **proceso de organizar el conocimiento** sobre un sistema dado.

## Compromiso Clave

Existe un compromiso (*trade-off*) fundamental entre la **simplicidad** del modelo, su **precisión** (fidelidad) y el **tiempo de cómputo** requerido.

# Entradas y Proceso de Modelado

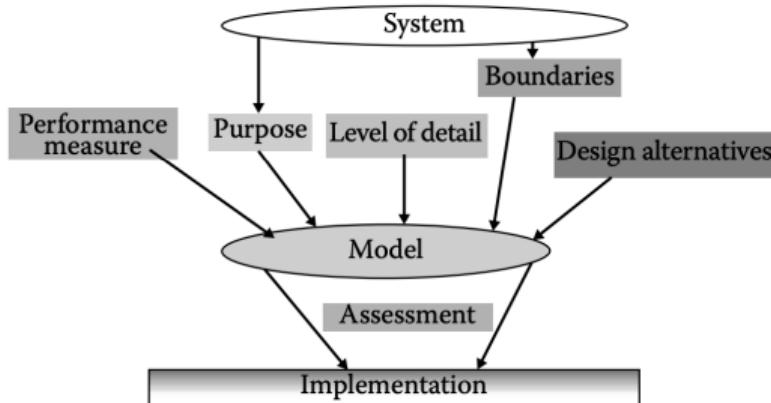


Figura 13: Entradas para el desarrollo de un modelo.

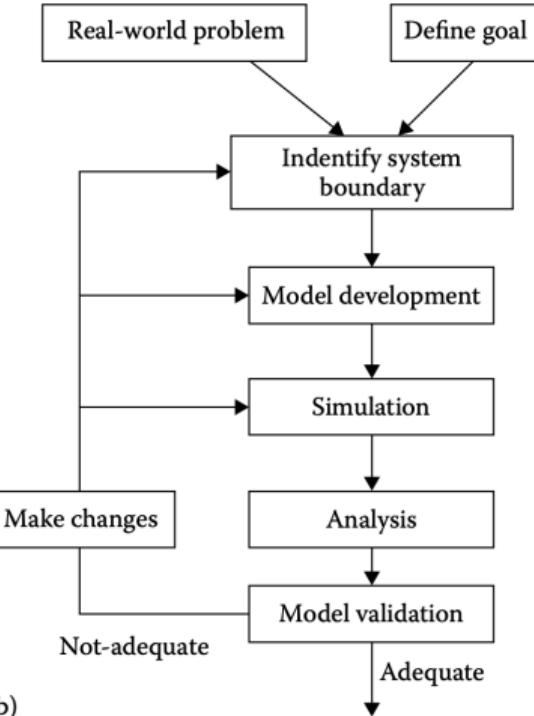


Figura 14: Proceso de modelado.

# Ejemplo: Una Aeronave

Para el mismo sistema se pueden desarrollar diferentes modelos según el propósito. Una aeronave puede modelarse como:

1. **Una partícula:** Para estudiar la trayectoria de vuelo y el consumo de combustible.
2. **Un sistema de cuerpos rígidos:** Para analizar la estabilidad del vuelo ante perturbaciones.
3. **Un sistema de cuerpos deformables:** Para realizar análisis de flameo (*flutter*).

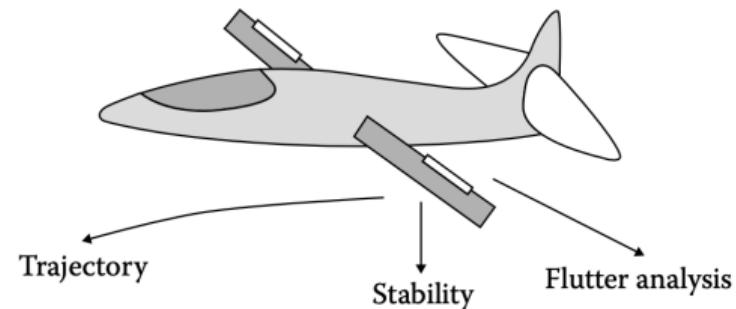


Figura 15: Diferentes modelos de aeronave.

# Fases Principales de un Proyecto de Simulación I

1. **Formulación del Problema:** Definir claramente el problema, los objetivos y las métricas de desempeño.
2. **Investigación y Recopilación de Datos:** Estudiar el sistema real para entender su lógica y recolectar datos para alimentar y validar el modelo.
3. **Formulación del Modelo Conceptual:** Crear un 'borrador' abstracto del sistema, identificando componentes, variables y nivel de detalle.
4. **Traducción del Modelo a un Programa:** Implementar el modelo conceptual en un software de simulación (e.g., SimEvents).
5. **Verificación del Modelo:** ¿Construí el modelo *correctamente* (el programa refleja el modelo conceptual)?
6. **Validación del Modelo:** ¿Construí el modelo *correcto* (el modelo es una representación precisa del sistema real)?

7. **Diseño Experimental:** Planificar los escenarios a simular (duración, réplicas, parámetros).
8. **Ejecución y Análisis de Resultados:** Correr las simulaciones y analizar los datos de salida con herramientas estadísticas.
9. **Documentación y Presentación:** Documentar el modelo y los resultados, y presentar las conclusiones a los interesados.

# Índice

1. Introducción a la Teoría de Sistemas
2. Clasificación de Sistemas
  - 2.1 Segundo el marco temporal
  - 2.2 Segundo la complejidad
  - 2.3 Segundo la incertidumbre
  - 2.4 Segundo la varianza en el tiempo
  - 2.5 Sistemas Lineales y No Lineales
  - 2.6 Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo
3. La Filosofía de Sistemas
  - 3.1 El Método de la Ciencia
  - 3.2 Problemas de la Ciencia y el Surgimiento del Sistema
4. Modelado de Sistemas
5. Clasificación de Modelos
6. El Rol y el Poder de la Simulación
7. Fases del Modelado y de la Simulación
8. Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual
9. Verificación y Validación (V&V)

# Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual

## Un Proceso Creativo y Desafiante

La transición de un problema, a menudo vagamente definido, a un modelo conceptual estructurado es una de las partes más creativas y críticas de un estudio de simulación. Requiere comunicación constante con los expertos del dominio.

## Definiciones Clave del Modelo Conceptual

El modelo conceptual debe definir:

- Los **objetivos** del modelo.
- Las **entradas** (parámetros controlables) y las **salidas** (métricas de desempeño).
- Los **supuestos y simplificaciones**. El arte del modelado reside en saber qué omitir.
- Los **componentes**, sus atributos y las reglas lógicas que gobiernan su interacción.

# Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual

## Examples

Piedra Angular del Proyecto Un buen modelo conceptual es la piedra angular de todo el proyecto. Un error en esta fase inicial se propagará a todas las fases posteriores.

# Índice

1. Introducción a la Teoría de Sistemas
2. Clasificación de Sistemas
  - 2.1 Segundo el marco temporal
  - 2.2 Segundo la complejidad
  - 2.3 Segundo la incertidumbre
  - 2.4 Segundo la varianza en el tiempo
  - 2.5 Sistemas Lineales y No Lineales
  - 2.6 Sistemas Variables vs. Invariantes en el Tiempo
3. La Filosofía de Sistemas
  - 3.1 El Método de la Ciencia
  - 3.2 Problemas de la Ciencia y el Surgimiento del Sistema
4. Modelado de Sistemas
5. Clasificación de Modelos
6. El Rol y el Poder de la Simulación
7. Fases del Modelado y de la Simulación
8. Del Problema del Mundo Real al Modelo Conceptual
9. Verificación y Validación (V&V)

# Verificación y Validación (V&V)

## Proceso Continuo

La V&V es un proceso que se lleva a cabo durante todo el ciclo de vida del proyecto. Su objetivo es asegurar que el modelo sea creíble y tenga conexión con la realidad.

### Verificación

Se enfoca en la relación entre el modelo conceptual y el programa. **Pregunta**

**clave:** ¿Construí el modelo *correctamente*?  
(Sin errores de programación).

### Validación

Se enfoca en la relación entre el modelo de simulación y el sistema real. **Pregunta**

**clave:** ¿Construí el modelo *correcto*?  
(Representa la realidad para nuestros propósitos).

# El Triángulo del Modelado

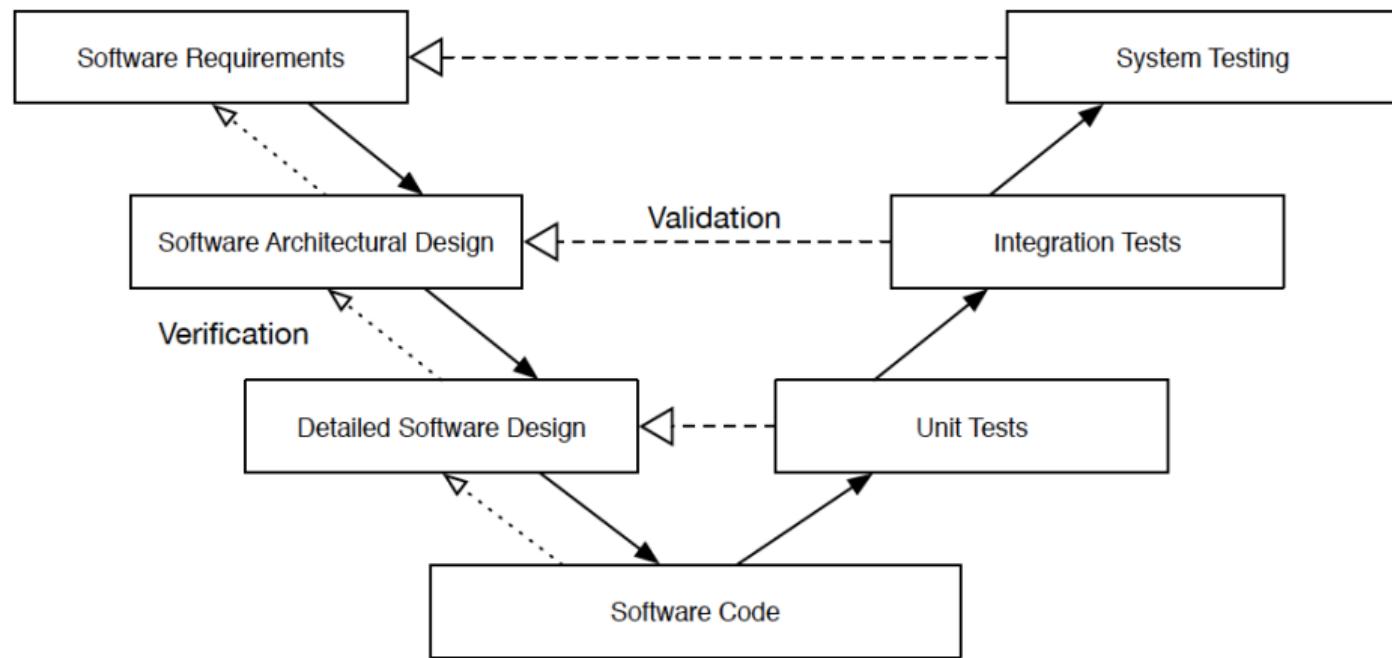


Figura 16: El triángulo del modelado: la relación entre el sistema real, el modelo conceptual y el modelo computacional, ilustrando los dominios de la Validación y la Verificación.

## Asegurando que el código sea correcto

- Revisión del código por pares (otros programadores).
- Uso de un depurador (debugger) para seguir la ejecución paso a paso.
- Ejecución del modelo bajo condiciones simplificadas con resultados analíticos conocidos (e.g., comparar con fórmulas de un sistema M/M/1).
- Uso de trazas de eventos para seguir la "vida" de una entidad a través del modelo.

## Asegurando que el modelo sea el correcto

- **Validación por Expertos:** Consultar a quienes conocen el sistema real si el comportamiento del modelo es razonable.
- **Validación con Datos Históricos:** Comparar las salidas del modelo con las salidas reales del sistema en el pasado.
- **Prueba de Turing:** Si un experto no puede distinguir consistentemente entre los datos de salida del modelo y los del sistema real, el modelo pasa la prueba.
- **Pruebas de Sensibilidad:** Analizar cómo cambian los resultados del modelo al variar los parámetros de entrada.