

Introducción al Modelado y Simulación de Sistemas

Materia: Simulación de procesos

Prof. D.Sc. BARSEKH-ONJI Aboud

Facultad de Ingeniería
Universidad Anáhuac México

26 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.

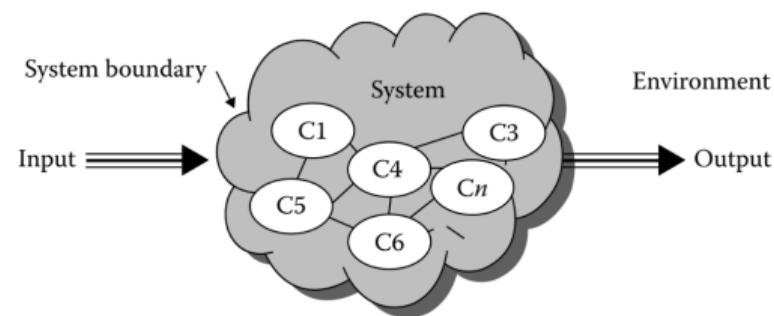


Figura 1: Representación conceptual de un sistema y su interacción con el entorno.

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

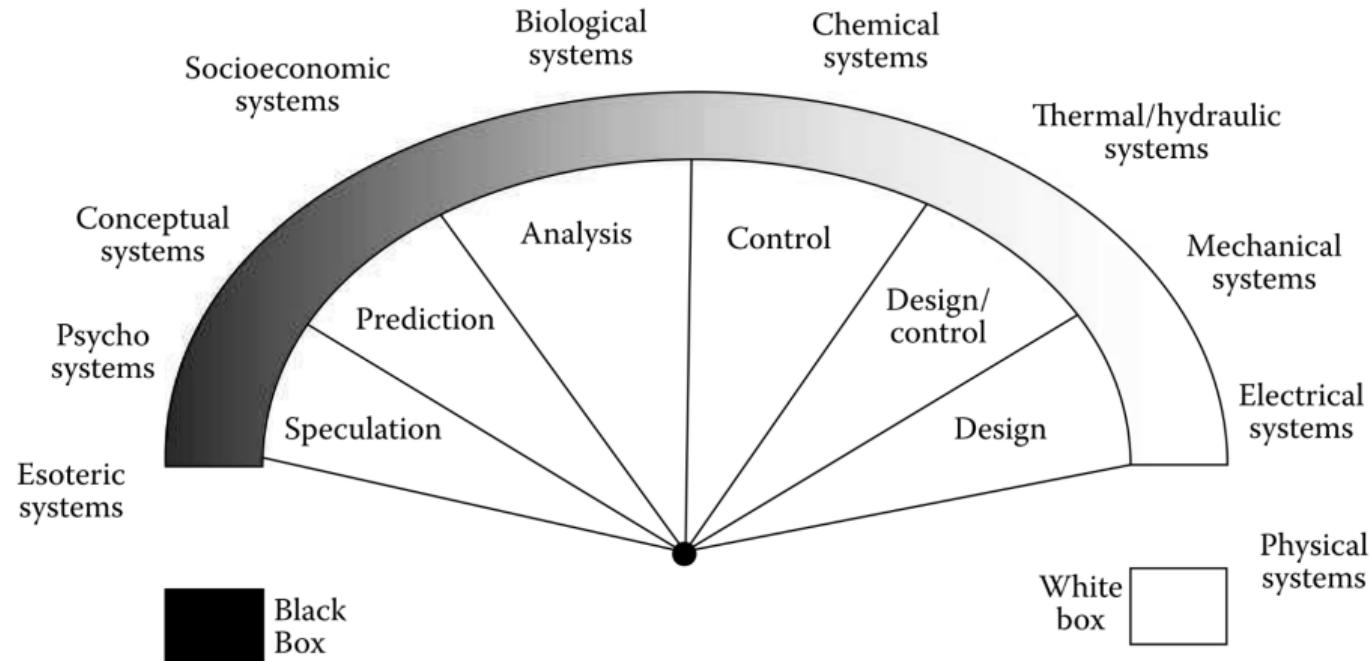


Figura 2: Clasificación de sistemas con base en su complejidad

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.

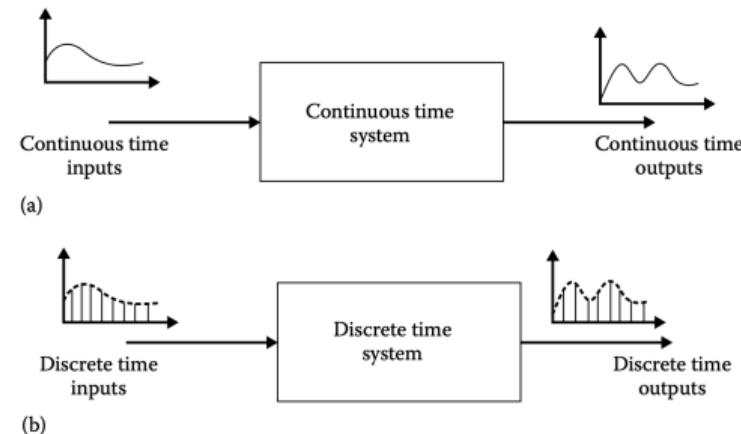


Figura 3: Sistemas analógicos y digitales.

Procesando Señales Continuas con Sistemas Discretos

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

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

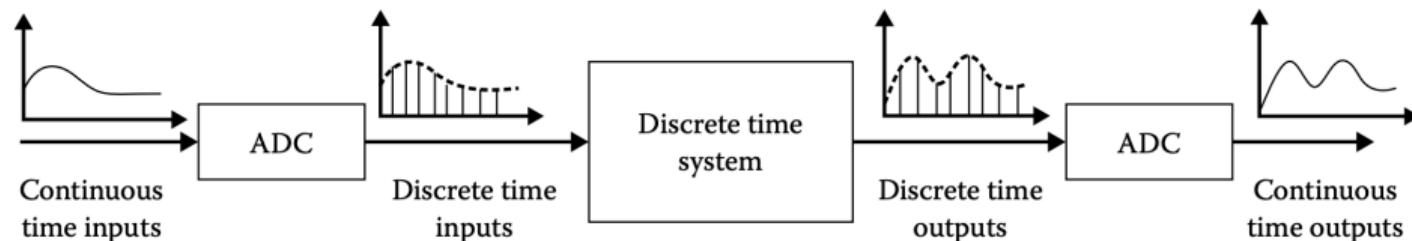


Figura 4: Procesamiento de señales de tiempo continuo por sistemas de tiempo discreto.

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

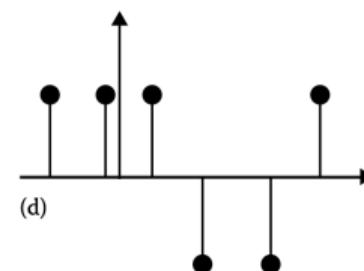
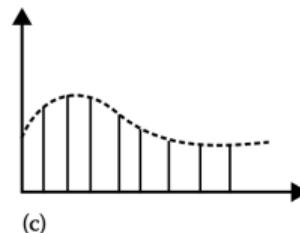
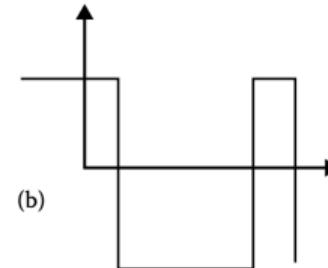
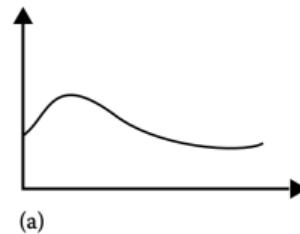


Figura 5: Diferentes tipos de señales.

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.

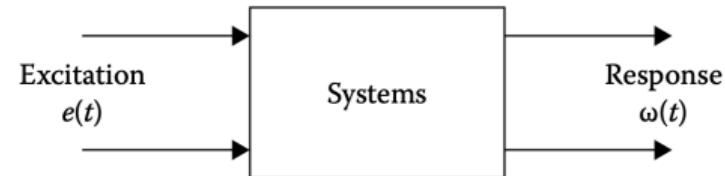


Figura 6: Representación de un sistema de dos puertos.

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 5×100 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 ω 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.

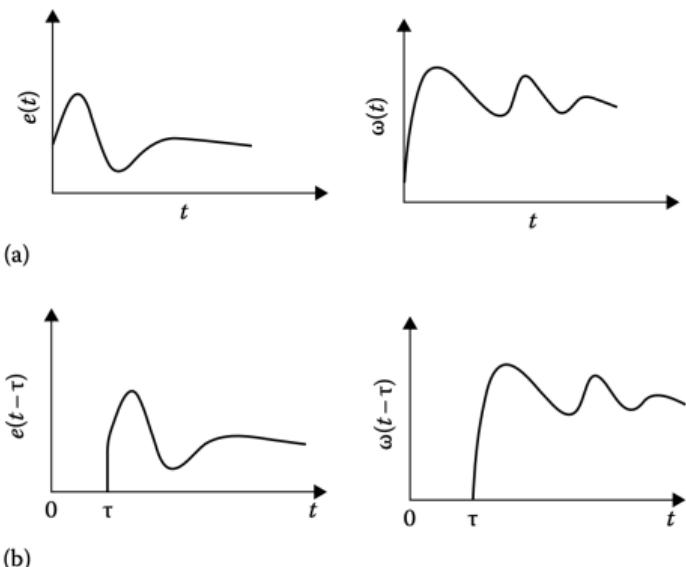


Figura 7: Respuestas de un sistema invariante en el tiempo.

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 $e(t - \tau) \rightarrow \omega(t - \tau)$.

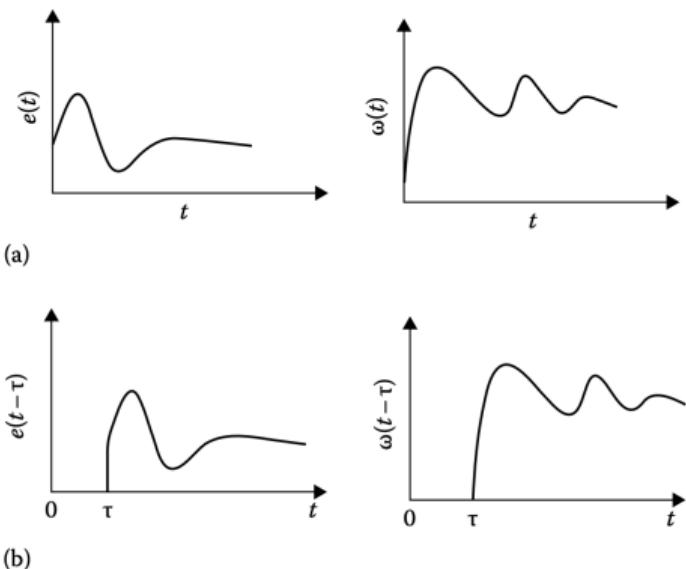


Figura 8: Respuestas de un sistema invariante en el tiempo.

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

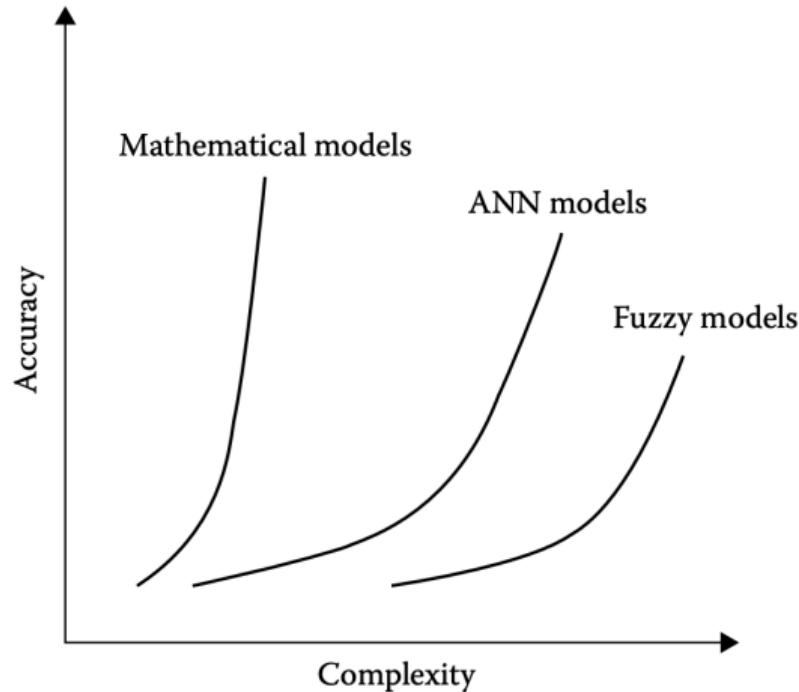


Figura 10: Diferentes enfoques de modelado.

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

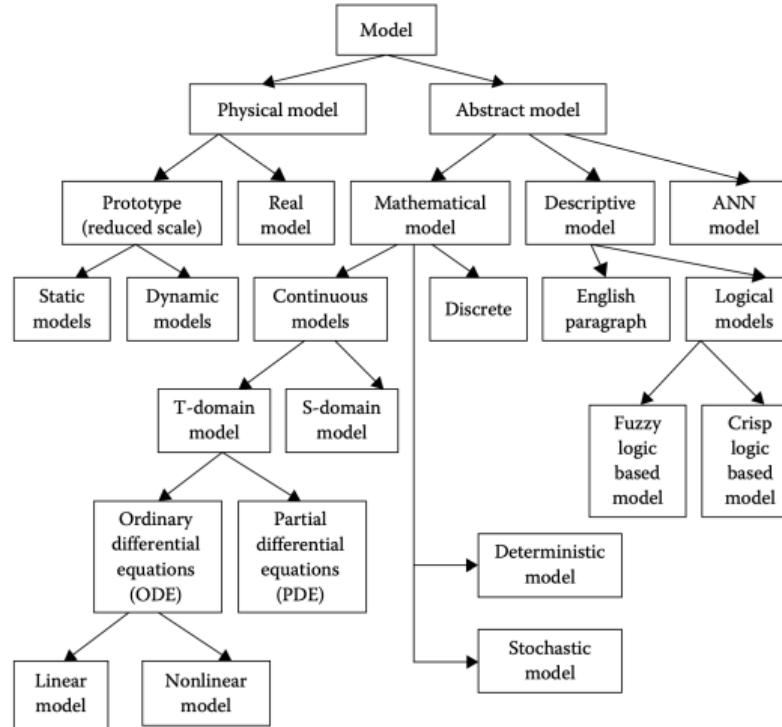


Figura 11: Representación pictórica de la clasificación de modelos.

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.

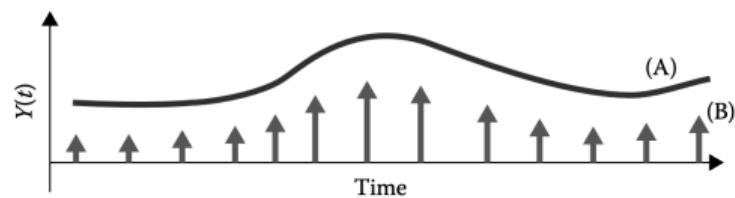


Figura 12: Funciones (A) Continuas y (B) Discretas.

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

Aplicaciones Clave en Logística e Ingeniería

- **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

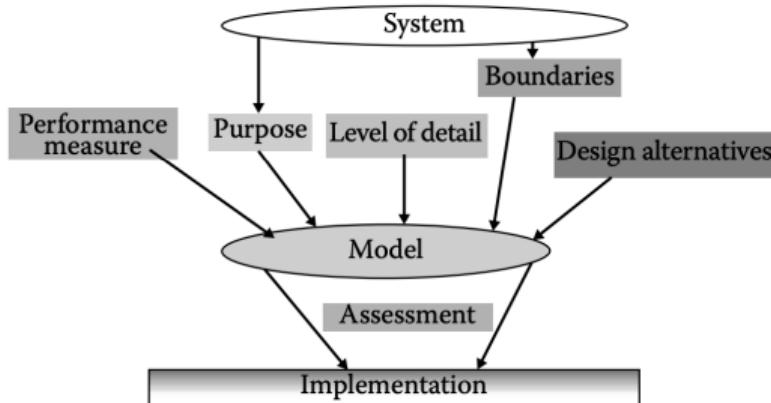


Figura 13: Entradas para el desarrollo de un modelo.

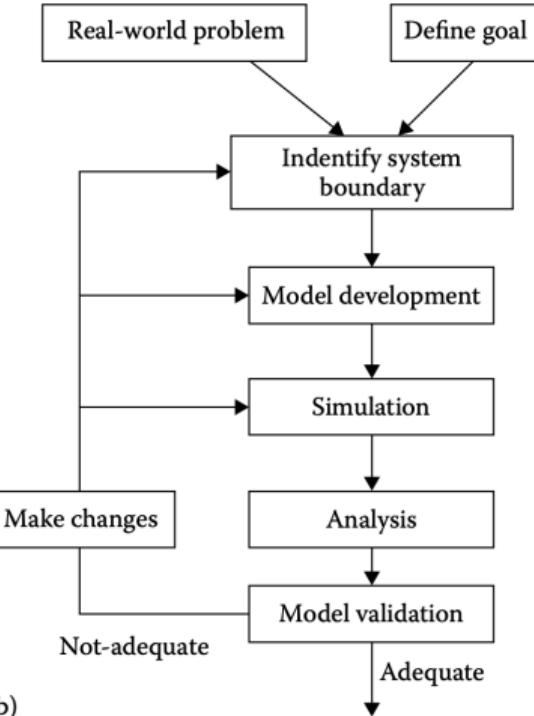


Figura 14: Proceso de modelado.

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*).

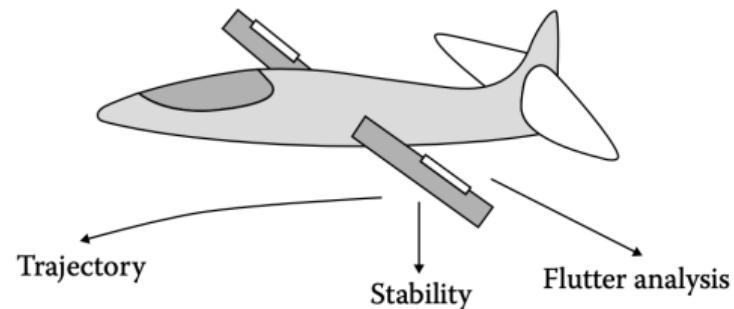


Figura 15: Diferentes modelos de aeronave.

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

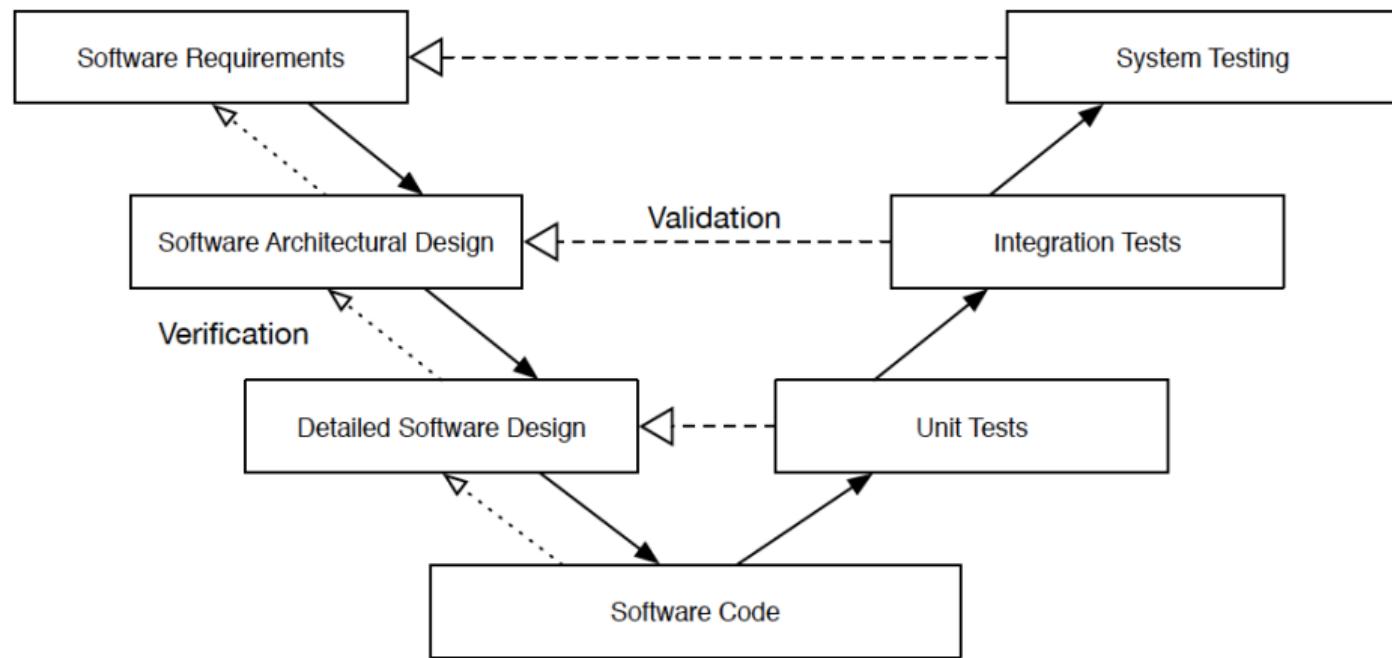


Figura 16: El triángulo del modelado: la relación entre el sistema real, el modelo conceptual y el modelo computacional, ilustrando los dominios de la Validación y la Verificación.

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.