

Simulación Computacional

Rodrigo Barrera

Conceptos

Modelo. Hablaré indistintamente de modelo y modelo matemático, es decir, un modelo cuyas partes son constantes, variables y funciones.

Sistema. Grupo de entidades relacionadas con ciertas propiedades, por ejemplo, no-linealidad y emergencia.

Motivación

- ▶ Las simulaciones crean algún tipo de mundo paralelo en el cual los experimentos se pueden llevar a cabo bajo condiciones más favorables que en el mundo real.
- ▶ Las simulaciones demandan nuevos análisis acerca del cómo las teorías se relacionan con fenómenos concretos.
- ▶ La simulación es una actividad que se encuentra entre la teorización y experimentación.

¿Qué es un experimento?

- ▶ **Bhattacharya y Johnson (1977)** definen experimento del siguiente modo: un experimento es el proceso de recolectar datos relevantes para un fenómeno que exhibe variaciones en sus resultados.
- ▶ **Bunge (1988)** un experimento es un tipo de experiencia científica donde algún cambio es provocado deliberadamente, donde se observa, registra e interpreta el resultado con un objetivo.

¿Qué es una simulación?

Ross (2002) señala lo siguiente:

“Al formular un modelo estocástico para describir un fenómeno real es usual comprometerse entre elegir un modelo que sea una réplica realista de la situación o elegir uno cuyo análisis matemático es manejable. Es decir, no existe ninguna recompensa en la elección de un modelo fiel conforme al fenómeno en estudio si no fuera posible analizar matemáticamente ese modelo”

¿Qué es una simulación?

Ross (2002) señala lo siguiente:

“[...] el advenimiento relativamente reciente del poder computacional rápido y de bajo costo abrió otro enfoque, a saber, tratar de modelar el fenómeno de la manera más fiel posible y luego confiar en el estudio de simulación para analizarlo.”

¿Qué no es una simulación?

- ▶ La simulación no es simplemente fuerza bruta de cálculo que permite obtener soluciones para sistemas de ecuaciones.
- ▶ Las simulaciones hacen un uso creativo de las técnicas de cálculo que sólo pueden ser motivadas extra matemáticamente y extra teóricamente. Por lo tanto, a diferencia de los cálculos simples que se pueden realizar en un ordenador, los resultados de las simulaciones no son automáticamente fiables. Se requiere mucho esfuerzo y experiencia para decidir qué resultados de la simulación son fiables y cuáles no.

¿Qué es una simulación?

- ▶ **(Humphreys,1991)** “cualquier método implementado computacionalmente con el propósito de explorar las propiedades matemáticas de modelos que no disponen de soluciones analíticas”
- ▶ Respecto a la definición de Humphreys se puede indicar que excluye casos donde existe una solución analíticas disponible y casos de simulación material (**véase (Grüne-Yanoff y Weirich, 2010)**).

Modelos de simulación

Los modelos en la simulación computacional se clasifican principalmente en:

- ▶ *Modelos discretos*: Simulan eventos individuales.
- ▶ *Modelos continuos*: Enfocados en cambios que ocurren de manera continua.

Modelos discretos

Ejemplo

Simulación de una línea de producción

- ▶ *Descripción*: este modelo simula el proceso de ensamblaje en una fábrica, donde los productos se ensamblan a través de varias estaciones de trabajo.
- ▶ *Características*:
 - ▶ Los eventos ocurren en instantes específicos de tiempo (llegada de materiales, inicio y fin de ensamblaje en cada estación).
 - ▶ El sistema se actualiza en pasos discretos, avanzando de un evento al siguiente.
- ▶ *Aplicaciones*: optimización de la asignación de recursos, minimización de tiempos de espera, y aumento de la eficiencia de producción.

Modelos continuos

Simulación del crecimiento de una población

- ▶ *Descripción*: este modelo representa el crecimiento de una población de organismos a lo largo del tiempo, influenciado por nacimientos, muertes, y tasas de migración.
- ▶ *Características*:
 - ▶ Las variables de estado (tamaño de la población) cambian de manera continua y fluida.
 - ▶ Se utiliza ecuaciones diferenciales para modelar la dinámica de la población.
- ▶ *Aplicaciones*: estudio de ecosistemas, planificación urbana, y políticas de salud pública.

El proceso típico de simulación incluye:

1. Formulación del problema.
2. Construcción del modelo.
3. Validación del modelo.
4. Experimentación.
5. Interpretación de resultados.
6. Documentación y presentación de resultados.

- ▶ Antes de construir el modelo, es fundamental definir claramente los objetivos de la simulación. Esto incluye comprender el sistema a modelar, identificar las preguntas clave que el modelo debe responder y determinar los límites del sistema. Los objetivos guiarán todas las decisiones de modelado posteriores.
- ▶ La construcción de un modelo requiere datos sobre el sistema real que se está simulando. Esto puede incluir datos operativos, parámetros del sistema, restricciones y cualquier otra información relevante. Los datos deben ser analizados y procesados para asegurar su relevancia y precisión, lo que a menudo implica técnicas estadísticas para estimar parámetros y validar suposiciones.

- ▶ Dependiendo de la complejidad del sistema y de los objetivos de la simulación, se debe elegir el software o las herramientas de simulación más adecuadas. Esto puede variar desde simulaciones basadas en hojas de cálculo para sistemas simples hasta software especializado de simulación para modelos más complejos.
- ▶ Dependiendo de la complejidad del sistema y de los objetivos de la simulación, se debe elegir el software o las herramientas de simulación más adecuadas. Esto puede variar desde simulaciones basadas en hojas de cálculo para sistemas simples hasta software especializado de simulación para modelos más complejos.

La validación del modelo es un paso crítico que asegura que el modelo simulado sea una representación precisa del sistema real. Implica:

- ▶ Comparar las salidas del modelo con datos reales o con el comportamiento conocido del sistema.
- ▶ Ajustar el modelo hasta que las salidas coincidan razonablemente bien con los datos reales o expectativas.

Tipos de validación

La validación de un modelo puede realizarse de varias maneras, incluyendo:

1. **Validación interna:** verifica que el modelo se comporte de acuerdo con las expectativas teóricas y las especificaciones del diseño, sin necesariamente compararlo con el mundo real.
2. **Validación externa:** compara las salidas del modelo con datos reales y observaciones para verificar su precisión.
3. **Validación cruzada:** involucra el uso de diferentes conjuntos de datos para probar el modelo, asegurando que sea generalizable y no sobreajustado a un conjunto de datos específico.
4. **Validación operacional:** evalúa el modelo en el contexto de su uso operativo previsto, a menudo involucrando a expertos del dominio para verificar que los resultados del modelo sean creíbles y útiles.

Técnicas de validación

Algunas técnicas comunes para la validación de modelos incluyen:

- ▶ **Análisis de sensibilidad:** examina cómo la variación en los parámetros de entrada afecta las salidas del modelo.
- ▶ **Comparación de patrones:** verifica si el modelo puede reproducir patrones y tendencias observados en el sistema real.
- ▶ **Validación por expertos:** implica la revisión del modelo y sus resultados por expertos en el dominio del sistema modelado.

Entidades

- ▶ Definición: componentes individuales del sistema que poseen atributos distintivos.
- ▶ Ejemplo: En una simulación hospitalaria, las entidades podrían ser pacientes, médicos y camas.
- ▶ Importancia: identificar correctamente las entidades permite modelar con precisión las dinámicas y flujos del sistema.

Atributos

- ▶ Definición: características específicas que describen cada entidad.
- ▶ Ejemplo: para la entidad “paciente”, los atributos podrían incluir edad, género, tipo de enfermedad y gravedad.
- ▶ Importancia: los atributos enriquecen el modelo al proporcionar variabilidad y especificidad, permitiendo análisis detallados y personalizados.

Variables

- ▶ Definición: elementos cuantitativos que cambian durante la simulación y afectan el comportamiento del modelo.
- ▶ Importancia: controlar y ajustar variables permite experimentar con diferentes escenarios y entender su impacto en el sistema.

Eventos

- ▶ Definición: Acciones puntuales que ocurren en instantes específicos y modifican el estado del sistema.
- ▶ Importancia: Los eventos son cruciales para avanzar la simulación y reflejar cambios dinámicos dentro del sistema modelado.

Relaciones e interacciones

- ▶ Definición: conexiones y dependencias entre entidades y cómo estas interactúan dentro del sistema.
- ▶ Importancia: modelar relaciones e interacciones de manera precisa es fundamental para capturar la complejidad y la interdependencia del sistema real.

Ambiente

- ▶ Definición: contexto externo que influye en el comportamiento del sistema, incluyendo factores temporales, espaciales y condiciones externas.
- ▶ Importancia: el ambiente establece las condiciones bajo las cuales operan las entidades y eventos, afectando significativamente los resultados de la simulación.

- ▶ El Juego de la Vida es un autómata celular diseñado por John Horton Conway en 1970.
- ▶ No es un juego en el sentido tradicional, sino una simulación que sigue reglas simples para modelar comportamientos complejos.
- ▶ Se juega en una cuadrícula bidimensional donde cada célula tiene dos posibles estados: viva o muerta.

Reglas del juego

El estado de cada célula en la siguiente generación se determina por el estado de sus ocho vecinos:

1. **Nacimiento:** una célula muerta con exactamente tres vecinos vivos se convierte en una célula viva.
2. **Supervivencia:** una célula viva con dos o tres vecinos vivos permanece viva.
3. **Muerte:**
 - ▶ Por soledad: una célula viva con menos de dos vecinos vivos muere.
 - ▶ Por sobrepoblación: una célula viva con más de tres vecinos vivos muere.

Visita el siguiente enlace para más información: [Game of Life](#).

- ▶ Las propiedades emergentes son comportamientos o características que surgen de la interacción de componentes individuales de un sistema, pero que no son predecibles ni deducibles de las propiedades de dichos componentes aislados.
- ▶ En la simulación, estas propiedades ofrecen *insights* críticos sobre la dinámica y el comportamiento complejo de sistemas modelados.

Importancia de las propiedades emergentes

- ▶ Revelan información sobre la estabilidad, adaptabilidad y resiliencia de un sistema.
- ▶ Ayudan a entender cómo cambios simples en las reglas o parámetros pueden resultar en cambios drásticos en el comportamiento del sistema.
- ▶ Son cruciales en campos como la biología, la ecología, la economía y las ciencias sociales, donde los sistemas complejos son la norma.

Ejemplos de propiedades emergentes

- ▶ **Biología:** la formación de patrones en bandadas de aves o bancos de peces.
- ▶ **Economía:** dinámicas de mercado que emergen de decisiones individuales de compradores y vendedores.
- ▶ **Sociedad:** normas culturales y tendencias que surgen de las interacciones individuales.

Desafíos en el estudio de propiedades emergentes

- ▶ La predicción y el control de propiedades emergentes pueden ser extremadamente difíciles debido a la no linealidad y la interdependencia de los sistemas complejos.
- ▶ Identificar la causalidad y modelar con precisión las interacciones entre componentes puede ser complejo.

A continuación se presentan tres (3) ejercicios, pero se sugiere planificar la simulación, sin hacer uso de código.

Simulación de la ruleta

- ▶ **Descripción:** Modela una rueda de ruleta y simula múltiples tiradas, registrando los resultados de cada número y color.
- ▶ **Objetivos:**
 1. Analizar la distribución de los resultados para verificar la uniformidad y la aleatoriedad.
 2. Evaluar estrategias de apuestas como Martingala y Fibonacci en términos de riesgo y retorno.

Simulación de Blackjack

- ▶ **Descripción:** Crea un modelo simple de un juego de Blackjack entre un jugador y el crupier, considerando las reglas básicas de pedir carta, plantarse y la posibilidad de que el crupier se pase de 21.
- ▶ **Objetivos:**
 1. Determinar la probabilidad de ganar en función de la carta visible del crupier.
 2. Investigar el efecto de diferentes estrategias de juego en el resultado a largo plazo.

Simulación de tragamonedas

- ▶ **Descripción:** Simula una máquina tragamonedas con un número determinado de carretes y símbolos. Cada tirada resulta en una combinación aleatoria de símbolos.
- ▶ **Objetivos:**
 1. Calcular la probabilidad de obtener diferentes combinaciones de símbolos.
 2. Evaluar el retorno teórico al jugador (RTP) y la volatilidad del juego.