

Simulación a Eventos Discretos

Tema 1: Introducción

Simulación de sistemas

- Simulación: término genérico (juegos de roles, videojuegos, modelos a escala).
- En el contexto de este curso: al término refiere a la construcción de un modelo abstracto que representa un sistema de la vida real.
- Describe los aspectos pertinentes del sistema como una serie de ecuaciones, relaciones y/o sentencias lógicas embebidas en un programa de computación.
- Permite la *exploración de escenarios posibles*.

Simulación de sistemas

Razones para experimentar con el modelo en lugar del sistema real:

- El sistema aún no existe.
- Experimentar con el sistema es costoso.
- Experimentar con el sistema es inapropiado (por ejemplo, riesgoso).

Simulación de sistemas

Conceptos relevantes que intervienen en el modelado:

- Objetivos del estudio: específicos o vagos.
- Hipótesis: acerca del sistema que se modela.
- Salidas o respuestas: responden a los objetivos.
- Entradas: información sobre el estado del sistema.
- Variables de decisión: entradas bajo control del tomador de decisiones, influyen en las salidas.

Simulación es una herramienta *descriptiva*.

Simulación de sistemas

Propósitos de una simulación, pueden ser:

- Comparación: evaluar efectos ante cambios en variables de decisión.
- Predicción: determinar el estado del sistema en el futuro, dado el conocimiento sobre su estado actual y forma de evolucionar.
- Investigación: proveer un pantallazo del sistema en lugar de realizar una experimentación detallada.

Simulación de sistemas

¿Cuándo simulación es una herramienta apropiada?

- Interacciones internas de un sistema complejo.
- Cambios organizacionales.
- Mejorar el sistema real con lo aprendido en el modelado.
- Detectar variables y/o requerimientos de recursos importantes.
- Verificar soluciones analíticas.
- Aprendizaje.

Simulación de sistemas

¿Cuándo simulación NO es una herramienta apropiada?

- Sentido común es suficiente.
- Existe solución analítica.
- Experimentos directos son más sencillos.
- Si su costo excede los ahorros (estimados).
- Si no se dispone de recursos ni tiempo.
- Si no hay datos disponibles.

Simulación de sistemas

¿Cuándo simulación NO es una herramienta apropiada? (cont.)

- Si no se puede verificar y validar.
- Si tomadores de decisiones tienen excesivas expectativas.
- Si el sistema es muy complejo (p.e. comportamiento humano).

Etapas del proceso de simulación

- Definición, descripción del problema, análisis, objetivos.
- Formulación del modelo.
- Programación.
- Verificación y validación del modelo.
- Diseño de experimentos y plan de corridas.
- Análisis de resultados.

Tipos de simulación

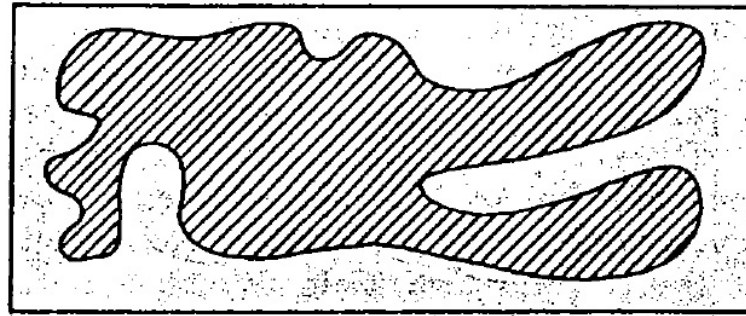
- Simulación estadística (Monte Carlo). Ejemplo: cálculo de superficies.
- Simulación continua. Ejemplo: termostato.
- Simulación a eventos discretos. Ejemplo: filas de espera, ordenamiento de tareas.

Método Monte Carlo

- Sistemas estocásticos (sujetos a fenómenos aleatorios) y estáticos (no varían con el tiempo).
- Repetir n veces (con n grande, de modo de aplicar la ley de los grandes números):
 - experimento(i): muestra independiente con distribución de Bernoulli (éxito o fracaso).
 - acumular la cantidad de éxitos c
- Promediar: c/n

Método Monte Carlo

Ejemplo: estimación del área de una superficie irregular, enmarcada en un rectángulo de medidas 100×50 (Figura 1.1 de Davies y O'Keefe).



- (x, y) : pares de coordenadas que representan un punto aleatorio dentro del rectángulo.
- A : área a estimar.
- m : cantidad de éxitos, puntos (x, y) que caen dentro de la superficie irregular.
- n : cantidad total de puntos sorteados.

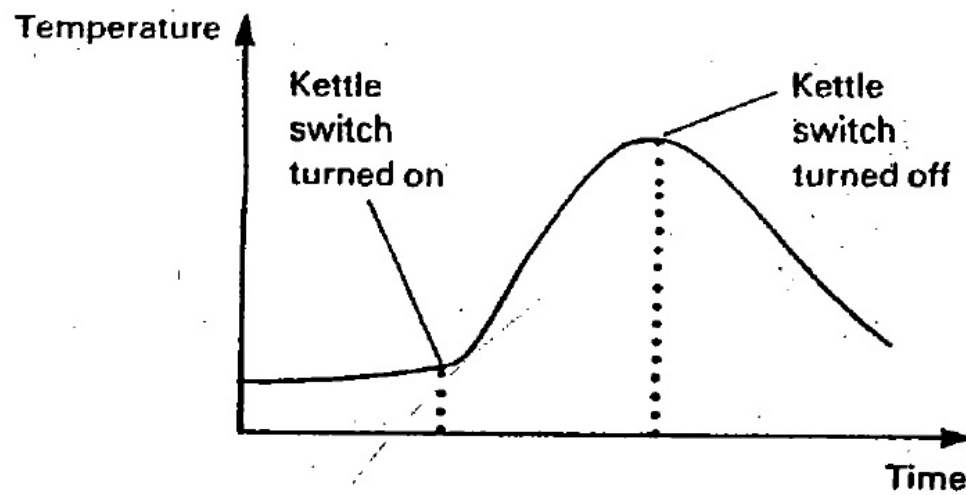
Entonces $m/n = A/5000$ cuando $n \rightarrow \infty$

Simulación continua

- Se desea representar cada cambio del sistema, conforme avanza el tiempo.
- Comportamiento modelado mediante ecuaciones diferenciales.
- Variante denominada *Dinámica de sistemas*; problemas socio-económicos.

Simulación continua

Ejemplo: evolución de la temperatura en un calentador con termostato (Figura 1.2 de Davies y O'Keefe).



Simulación a eventos discretos SED

- Refiere a sistemas que pueden ser representados por una secuencia o serie de eventos (sistemas dinámicos -varían con el tiempo- y generalmente estocásticos).
- La simulación describe cada evento discreto, moviéndose de uno a otro, a medida que el tiempo transcurre.
- Ejemplo: el calentador con termostato eléctrico, puede ser modelado por los eventos prender y apagar (ver figura).

Ejemplo SED

Sistema de inventarios con un solo producto: cada semana un operario debe tomar una decisión de cuanto encargar (comprar o solicitar).

- Identificamos tres eventos: a) hacer una orden o solicitud, b) llegada de una solicitud y c) una venta o utilización del producto.
- Objetivo: estimar el tamaño de órdenes de compra al proveedor según una cierta demanda, minimizando costos de ordenar y mantener el inventario.
- Si la demanda y tiempo de provisión son determinísticos, es posible utilizar modelos analíticos.
- Si son estocásticos, es recomendable usar simulación. La operación del sistema y el largo de las actividades son determinados por muestras de distribuciones de probabilidad; por lo tanto, también las salidas.

Algunas aplicaciones de SED

Área	Ejemplo
Manufactura	Evaluación de calidad y productividad en la fabricación de cables de acero
Ingeniería de la construcción	Cadena de suministros de madera para uso residencial
Logística	Análisis de flujo de pasajeros en una terminal de aeropuerto
Transporte y tráfico	Arribos de barcos a un puerto
Procesos de negocios	Centro de llamadas telefónicas
Salud	Estimación de la capacidad máxima en una sala de emergencias

Software para SED

Características generales a tener en cuenta:

- Capacidades generales, incluyendo flexibilidad para el modelado y facilidad de uso.
- Requerimientos de hardware y software.
- Animación y gráficos dinámicos.
- Funcionalidades estadísticas.
- Soporte al usuario y documentación.
- Reportes de salida.

Software para SED

- Área muy activa.
- Avances marcados por cambios tecnológicos en interfaces de software, modalidad de interacción.
- Algunas fuentes actualizadas: INFORMS Simulation Software Survey (2021), DISCRETE SIMULATION SOFTWARE RANKING (2016)

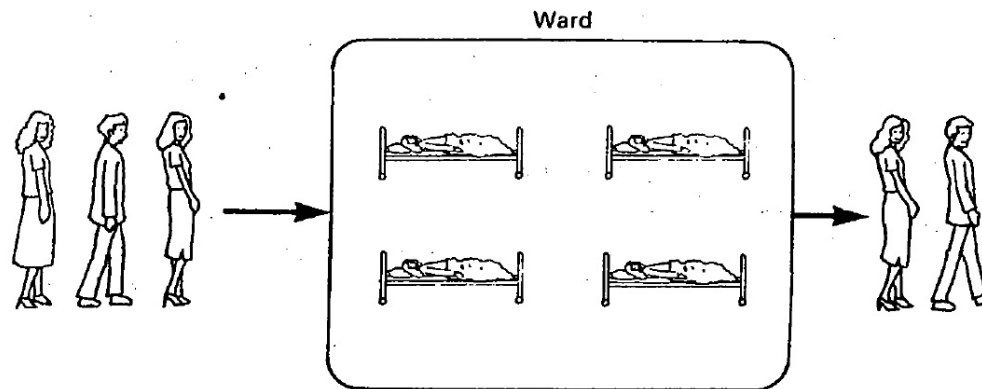
Casos de estudio

- Hospital simple y complejo (Figuras 1.3 y 1.4 de Davies y O'Keefe).
- Taller de reparación (Figura 1.5).

Suponemos realizado el estudio previo al modelado, que resulta en las siguientes descripciones.

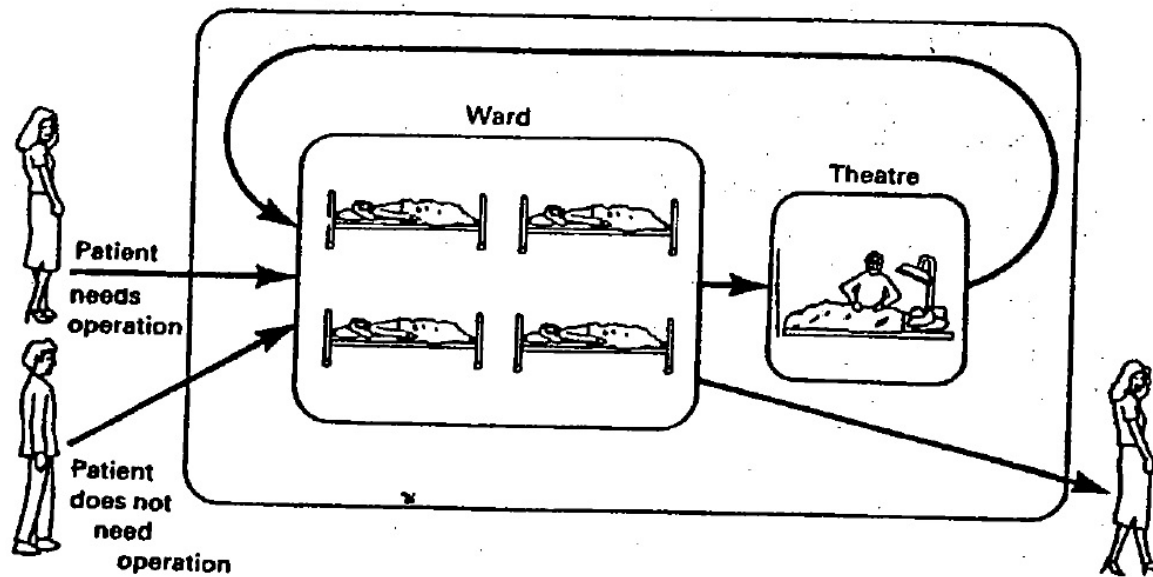
Hospital

- Los pacientes son elementos centrales; utilizan recursos costosos.
- Simulación es usada para planificar el uso de los recursos modelando las actividades de los pacientes.
- Sistema simple: pacientes esperan, son admitidos, internados, siguen un tratamiento y son dados de alta.



Hospital

Sistema complejo: se agrega la sala de operaciones.

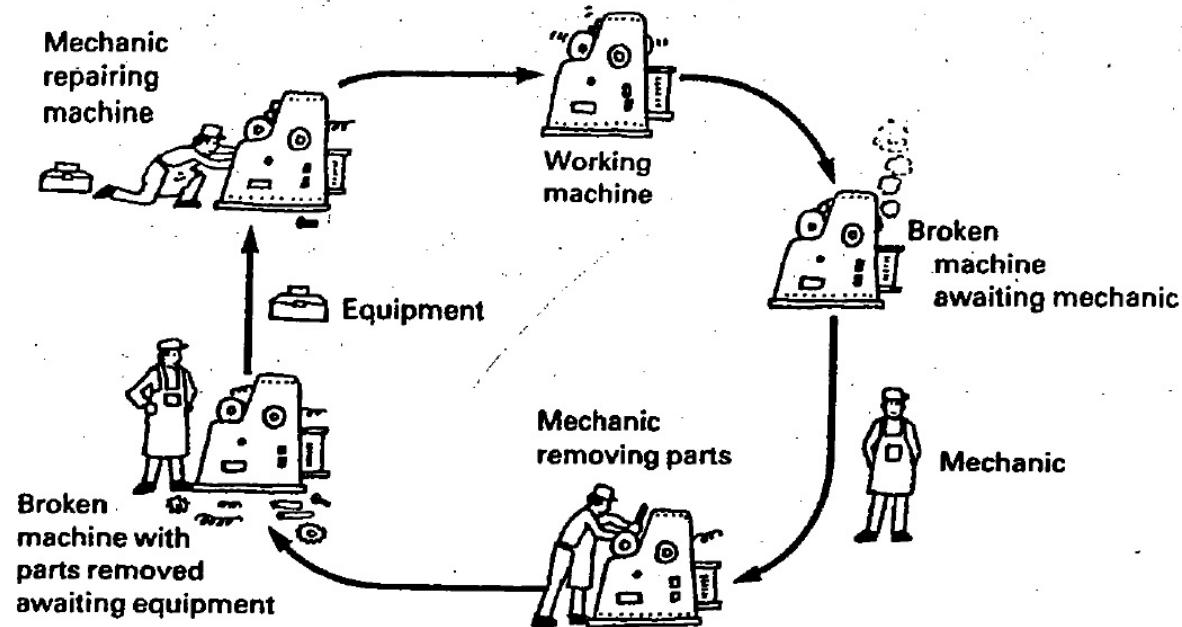


Hospital

- **Objetivos:** Estudiar el efecto de la disposición de la sala de operaciones o el aprovisionamiento de camas en el tiempo de espera de los pacientes.
- **Hipótesis iniciales:** El sistema evoluciona sin interrupciones los fines de semana o feriados. Los pacientes que no requieren operación se asumen como emergencias y tienen prioridad ante aquellos que sí lo requieren.
- **Variables de decisión:** Número de camas, tiempos de apertura de la sala de operaciones.
- **Datos de salida:** Lista de espera y de tiempos de espera de los pacientes.
- **Eventos:** Arribos de pacientes, internación (admisión), comienzo y fin de operación, y alta de paciente. Apertura y cierre de la sala de operaciones.

Taller de reparaciones

- Planta industrial con máquinas que pueden fallar.
- Número acotado de mecánicos y equipamiento para repararlas.



Taller de reparaciones

- **Objetivos:** Estudiar el efecto del aprovisionamiento de mecánicos y su equipamiento en los tiempos no operables de las máquinas.
- **Hipótesis iniciales:** Una jornada dura ocho horas, más el tiempo necesario para terminar de reparar las máquinas que se rompieron. Existe material de repuesto suficiente. Todas las máquinas son idénticas. El tiempo que le lleva a un mecánico ir hasta la máquina rota o transportar repuestos es despreciable.
- **Variables de decisión:** Número de mecánicos. Número de conjuntos de equipos (herramientas).

Taller de reparaciones

- Datos de salida: Tiempo de máquina no operable. Utilización de mecánicos. Utilización de equipos. Trabajo extra fuera de jornada.
- Eventos: Ruptura de máquina. Comienzo y fin del quitado de piezas. Comienzo y fin de la reparación.

Hospital: propiedades

- Sistema abierto, objetos transitorios (pasajeros, de paso) fluyen a través del sistema.
- El sistema es orientado al cliente, objetos principales son los pacientes.
- El sistema es un proceso continuo hacia adelante, internaciones y altas se realizarán continuamente hasta un previsible futuro.
- Las actividades pueden durar días o semanas.

Taller: propiedades

- Sistema cerrado, el número de máquinas se mantiene estático.
- El sistema es orientado a máquinas.
- El sistema termina después de cada 8 horas.
- Las actividades duran minutos u horas.