

# Contents

Clase 3: Técnicas Avanzadas de Análisis de Resultados y Validación . . . . .	1
--	---

## Clase 3: Técnicas Avanzadas de Análisis de Resultados y Validación

### Objetivos de la clase:

- Comprender y aplicar técnicas de análisis de sensibilidad para identificar los parámetros más influyentes en el sistema simulado.
- Aprender métodos de validación de modelos de simulación para asegurar su representatividad del sistema real.
- Aplicar técnicas de optimización basada en simulación para encontrar la mejor configuración de un sistema.

### Contenido Teórico Detallado:

#### 1. Análisis de Sensibilidad:

- **Definición:** El análisis de sensibilidad es una técnica para determinar cómo la variación en la salida de un modelo (simulación) puede ser atribuida a diferentes fuentes de variación en sus entradas. Ayuda a identificar los parámetros de entrada que tienen el mayor impacto en las métricas de rendimiento.
- **Importancia:** Permite enfocar los esfuerzos de mejora y refinamiento del modelo en los parámetros más críticos. Ayuda a comprender mejor el comportamiento del sistema y a tomar decisiones más informadas.
- **Técnicas Comunes:**
  - **Análisis de Escenarios ("What-if"):** Consiste en modificar uno o varios parámetros de entrada y observar el impacto en los resultados. Es el método más simple pero menos sistemático.
  - **Análisis de Tornado:** Similar al análisis de escenarios, pero organiza los parámetros de entrada en orden de importancia, representados visualmente en un diagrama de tornado. Útil para identificar rápidamente los parámetros más influyentes.
  - **Análisis de Regresión:** Utiliza técnicas de regresión estadística para cuantificar la relación entre los parámetros de entrada y las métricas de rendimiento. Proporciona un modelo matemático de la sensibilidad.
  - **Método de Sobol:** Una técnica de descomposición de varianza que calcula los índices de sensibilidad de primer orden (efecto directo) y de orden superior (interacciones). Más computacionalmente intensivo pero más preciso.

#### 2. Validación del Modelo de Simulación:

- **Definición:** La validación es el proceso de determinar si un modelo de simulación es una representación precisa del sistema real que pretende modelar.
- **Importancia:** La validación es crucial para asegurar que las conclusiones obtenidas de la simulación sean válidas y aplicables al sistema real. Un modelo no validado puede llevar a decisiones incorrectas y costosas.
- **Técnicas Comunes:**
  - **Validación de Datos:** Comparar los datos de entrada y salida del modelo con datos históricos o datos reales del sistema. Implica pruebas estadísticas como pruebas t, pruebas de Chi-cuadrado o análisis de varianza.
  - **Validación Estructural:** Asegurar que la lógica y la estructura del modelo reflejen el sistema real. Esto se puede hacer revisando el código del modelo y comparándolo con la documentación del sistema. A menudo involucra la revisión por parte de expertos en el dominio.
  - **Validación del Comportamiento:** Comparar el comportamiento del modelo (ej., tendencias, patrones) con el comportamiento observado en el sistema real. Puede involucrar la observación del sistema real, la comparación con datos históricos o la comparación con el

conocimiento de expertos.

- **Prueba de Turing:** Presentar los resultados de la simulación y los datos reales a expertos que no saben cuál es cuál, y pedirles que los distingan. Si no pueden distinguirlos de manera confiable, el modelo se considera validado.

### 3. Optimización Basada en Simulación:

- **Definición:** Utilizar la simulación para encontrar la mejor configuración de un sistema, dado un conjunto de objetivos y restricciones.
- **Importancia:** Permite explorar múltiples escenarios y configuraciones de un sistema de manera eficiente y efectiva, encontrando soluciones óptimas que serían difíciles o imposibles de obtener de otra manera.
- **Técnicas Comunes:**
  - **Búsqueda Exhaustiva:** Evaluar todas las posibles combinaciones de parámetros. Solo es factible para problemas con un número reducido de parámetros y valores posibles.
  - **Algoritmos Genéticos:** Algoritmos de búsqueda inspirados en la evolución biológica, que utilizan conceptos como la selección, el cruce y la mutación para encontrar soluciones óptimas.
  - **Recocido Simulado (Simulated Annealing):** Un algoritmo de búsqueda que explora el espacio de soluciones moviéndose a soluciones vecinas, permitiendo ocasionalmente movimientos a soluciones peores para evitar quedar atrapado en óptimos locales.
  - **Algoritmos de Gradiente:** Utilizar el gradiente de la función objetivo para encontrar el máximo o mínimo. Requiere que la función objetivo sea diferenciable.
  - **Métodos de Superficie de Respuesta:** Construir un modelo aproximado (superficie de respuesta) de la relación entre los parámetros de entrada y la función objetivo, y luego optimizar este modelo aproximado.

### Ejemplos o Casos de Estudio:

#### 1. Análisis de Sensibilidad en una Cadena de Suministro:

- **Problema:** Una empresa quiere optimizar su cadena de suministro para reducir costos.
- **Solución:** Se crea un modelo de simulación de la cadena de suministro y se realiza un análisis de sensibilidad para identificar los factores que más influyen en los costos. Los parámetros de entrada incluyen los costos de transporte, los costos de inventario, los tiempos de entrega de los proveedores y la demanda del cliente. El análisis de sensibilidad revela que los costos de transporte y la variabilidad de la demanda son los factores más críticos. La empresa puede entonces enfocar sus esfuerzos en negociar mejores tarifas de transporte y mejorar la previsión de la demanda.

#### 2. Validación de un Modelo de Tráfico:

- **Problema:** Una ciudad quiere utilizar un modelo de simulación para evaluar diferentes estrategias de gestión del tráfico.
- **Solución:** Se valida el modelo comparando los datos de salida del modelo (ej., tiempos de viaje, congestión) con datos reales de tráfico recopilados a través de sensores y cámaras. Se utilizan pruebas estadísticas para determinar si las diferencias entre los datos del modelo y los datos reales son estadísticamente significativas. Se ajusta el modelo hasta que se considere validado.

#### 3. Optimización de la Capacidad de un Hospital:

- **Problema:** Un hospital quiere determinar el número óptimo de camas y personal para satisfacer la demanda de pacientes.
- **Solución:** Se crea un modelo de simulación del flujo de pacientes a través del hospital y se utiliza un algoritmo genético para encontrar la combinación óptima de camas y personal que minimice los tiempos de espera de los pacientes y maximice la utilización de los recursos.

### Problemas Prácticos o Ejercicios con Soluciones:

1. **Problema:** Dada una simulación de un sistema de colas en un centro de llamadas, realice un análisis de sensibilidad para determinar qué factor (número de agentes, tiempo promedio de llamada, tasa de

llegada de llamadas) tiene el mayor impacto en el tiempo de espera promedio de los clientes.

- **Solución:**

- Varíe cada factor en un rango razonable (ej.,  $\pm 10\%$ ).
- Ejecute la simulación múltiples veces para cada variación.
- Calcule el cambio porcentual en el tiempo de espera promedio para cada variación.
- Identifique el factor que causa el mayor cambio en el tiempo de espera promedio.

2. **Problema:** Tiene un modelo de simulación de una línea de ensamblaje. Describa los pasos que seguiría para validar este modelo.

- **Solución:**

- (a) **Recopilación de datos:** Reúna datos históricos de la línea de ensamblaje real (ej., tiempos de ciclo, tasas de fallas, tiempos de inactividad).
- (b) **Validación de datos:** Compare los datos de entrada del modelo (ej., tiempos de procesamiento, tasas de fallas) con los datos reales.
- (c) **Validación estructural:** Revise la lógica del modelo para asegurar que represente correctamente el proceso de ensamblaje.
- (d) **Validación del comportamiento:** Compare los datos de salida del modelo (ej., throughput, WIP) con los datos reales.
- (e) **Ajuste del modelo:** Si hay diferencias significativas entre los datos del modelo y los datos reales, ajuste los parámetros del modelo hasta que se logre una buena concordancia.
- (f) **Documentación:** Documente el proceso de validación y los resultados.

3. **Problema:** Utilice un algoritmo de búsqueda exhaustiva para encontrar la mejor configuración de un sistema de inventario con dos parámetros: punto de reorden (ROP) y cantidad de pedido (EOQ). El objetivo es minimizar los costos totales de inventario (costo de pedido + costo de mantenimiento + costo de escasez). Defina un rango para ROP y EOQ y calcule el costo total para cada combinación.

- **Solución:** (Solución conceptual - la solución numérica requeriría datos específicos de costos y demanda)

- (a) **Definir Rangos:** Ej. ROP entre 10 y 50 unidades, EOQ entre 50 y 200 unidades.
- (b) **Iterar Combinaciones:** Para cada valor de ROP en el rango, iterar sobre cada valor de EOQ en el rango.
- (c) **Simular o Calcular Costos:** Para cada combinación de ROP y EOQ, ejecute una simulación del sistema de inventario (o use una fórmula analítica si está disponible) para calcular los costos totales de inventario.
- (d) **Almacenar Resultados:** Almacene la combinación de ROP y EOQ y sus costos totales correspondientes.
- (e) **Encontrar el Mínimo:** Identifique la combinación de ROP y EOQ que produce los costos totales más bajos. Esta es la configuración óptima.

### **Materiales Complementarios Recomendados:**

- Libros de texto sobre simulación y modelado.
- Artículos de investigación sobre análisis de sensibilidad y validación de modelos.
- Documentación de software de simulación.
- Tutoriales en línea sobre optimización basada en simulación.