# Unidad 1: Sistemas y Modelos. Técnicas de Análisis

# Concepto de Simulación

Simulación: implica que existe una realidad de la cual se obtiene un *modelo* para simular o imitar su comportamiento. Lo que se modela y simula es la realidad o porciones de ella, llamadas “sistemas”.

Es posible analizar el comportamiento de un sistema real para observar cómo se comporta hoy y poder plantear cambios en él. Asimismo, un sistema inexistente puede analizarse para determinar su factibilidad.

Una simulación es un modelo de situaciones futuras, según las condiciones iniciales y causas que influyen.

En el caso de sistemas complejos para los cuales no pueden utilizarse técnicas matemáticas

Como algunos sistemas son complejos, no pueden ser resueltos mediante técnicas matemáticas y, por este motivo, se utilizan técnicas de simulación las cuales arrojan un resultado que no es exacto (se basan en el uso de estimaciones).

La simulación sirve para observar, experimentar, analizar configuraciones alternativas y obtener conclusiones.

Simular: copiar o imitar el comportamiento de una situación (o de un sistema) como si fuese real (sistema que existe o que es capaz de existir). Para ello, se utilizan modelos de sistemas (modelos abstractos).

Modelo*:* representación o abstracción de un sistema, desarrollado con el propósito de estudiar al mismo. Debe contener sólo los aspectos esenciales. Debe ser fácil de entender y manejar, y ser una buena aproximación del sistema real.

El uso de modelos para simular es una metodología de trabajo para:

* Describir el comportamiento de los sistemas.
* Hacer hipótesis que expliquen el comportamiento observado.
* Usar esto para predecir cambios en el comportamiento frente a cambios en el sistema.

Clasificación de los modelos

Según si el sistema cambia o no: Estáticos o Dinámicos

* *Estáticos:* se analizan y se resuelven en un instante de tiempo (“sistema detenido”), sin tener en cuenta su comportamiento en un estado anterior. Representa las relaciones del sistema cuando está quieto o en equilibrio.
* *Dinámicos:* la evaluación se realiza durante el transcurso de un lapso de tiempo. Refleja los cambios en el sistema a través del tiempo; muestra la evolución desde el principio hasta el final.

Según los resultados: Determinísticos o Estocásticos

* *Determinísticos:* los valores de los parámetros son siempre iguales, son exactos y no existe nada aleatorio. Un cambio en el modelo produce uno y sólo un resultado.
* *Estocásticos:* algunos componentes son aleatorios. La respuesta varía con el transcurso del tiempo dependiendo de los cambios. Un cambio en el modelo produce resultados aleatorios.

Según la evolución de las variables: Continuos o Discretos

* *Continuos:* el estado de las variables cambia suave, continua y periódicamente a lo largo del tiempo. El cambio se debe producir a lo largo de todo el tiempo de estudio.
* *Discretos:* el estado de las variables cambia en distintos instantes de tiempo (ocurrencia de un evento o algo en particular). Cambios en el tiempo predominantemente discontinuos o instantáneos. Se evalúa el sistema a partir de la ocurrencia de un evento e interesa saber qué pasó con ese cambio en particular.

Otra clasificación: Físico (icónico) o Analógicos o Matemáticos

* *Físico o Icónico:* representaciones a escala del sistema a simular.
* *Analógicos:* para representar el sistema real se utiliza una o varias propiedades que se comportan de manera semejante.
* *Matemáticos:* se representan propiedades (variables o constantes) del sistema mediante símbolos matemáticos y las relaciones entre las propiedades mediante operaciones matemáticas. Se resuelven por métodos: analíticos y numéricos (computadoras).

Técnicas de análisis de sistemas

1. Sistema Real:
   * Ventaja: sería lo ideal. Teniendo en cuenta que los “daños” colaterales del sistema no sean graves.
   * Desventajas: costo y tiempo. Imposible si el sistema no existe. No sirve para simular a largo plazo ni en un intervalo de tiempo muy veloz. No es posible simular explosiones, accidentes. No sirve experimentar sobre un sistema donde intervienen personas (tienden a cambiar su comportamiento al ser observadas).
2. Modelos matemáticos:
   * Ventaja: resultados cerrados y exactos (o extremadamente aproximados).
   * Desventaja: complejo de definir, construir e implementar.
3. Métodos Analíticos: solución aproximada con cierto grado de confianza (intervalo de confianza).
   * Ventajas: permite estimar la performance. Permite diseñar y comparar sistemas alternativos y elegir el mejor. Permite estudiar un sistema en tiempo + costos. Permite describir sistemas complejos. Se define un modelo matemático sin demasiados conocimientos en el área.
   * Desventajas: resultados aproximados. Cada cambio en las variables de entrada requiere una solución separada o conjunto de ejecuciones. Puede resultar dificultoso establecer la validez del modelo.
4. Simulación: resultados aproximados. Debe establecerse el error máximo a tolerar.

Función del modelo

* Ayuda a pensar y a comunicarse.
* Brinda entrenamiento e instrucción (simuladores de vuelo, conducción).
* Predicción.
* Experimentación.

Al simular, el modelo se "ejecuta", no se resuelve. La diferencia con la solución analítica es que cuando se simula se obtiene una solución aproximada con un determinado grado de confiabilidad. La simulación es una buena técnica para resolver problemas cuando los métodos analíticos:

* No están bien desarrollados.
* Son muy complejos.
* Están fuera del alcance del personal.
* Se desea ver la evolución histórica (además de obtener valores de parámetros).

Análisis - Simplificación - Abstracción - Síntesis

Mecánica aproximada para modelar:

1. Establecer claramente los objetivos.
2. Dividir el problema total en problemas más simples.
3. Buscar analogías.
4. Considerar, si se puede, un ejemplo numérico específico del problema.
5. Hacer esquemas, ponerle nombres a las variables y constantes, escribir las relaciones que se conozcan.
6. Escribir **todos** los datos que se poseen, incluso los obvios.
7. Si el modelo es manejable, entonces enriquecerlo. Si no lo es, simplificar.

Simplificar

* Convertir en constantes algunas variables.
* Eliminar o combinar variables.
* Suponer linealidad o promedios.
* Agregar suposiciones y restricciones más "fuertes".
* Reducir los límites del sistema.

Características de un buen modelo

* Fácil de entender para el usuario.
* Dirigido a objetivos claros.
* No debe dar respuestas absurdas.
* De fácil comunicación.
* Debe describir todo lo importante.
* Adaptable, fácil de modificar.
* Evolutivo (sencillo al principio, más complejo a medida que el usuario aprende a manejarlo).

# Unidad 2: Modelos Determinísticos y Probabilísticos

Investigación operativa: modelos determinísticos

Conforme la complejidad y la especialización crecen, se vuelve más difícil asignar los recursos disponibles a las actividades de la manera más eficaz. Este tipo de problemas y la necesidad de encontrar la forma de resolverlos, proporcionaron el ambiente adecuado para el surgimiento de la Investigación de Operaciones.

2 factores que tuvieron gran importancia en el desarrollo de la IO: el gran progreso que ya se había hecho en el mejoramiento de las técnicas disponibles y la revolución de las computadoras.

La IO se aplica a problemas que se refieren a la conducción y coordinación de operaciones (o actividades) dentro de una organización. Se utiliza el método científico para investigar el problema en cuestión.

Se ocupa también de la administración práctica de la organización: deberá proveer conclusiones claras que pueda usar el tomador de decisiones cuando las necesite.

Intenta encontrar una solución óptima para el problema bajo consideración.

Programación Lineal (P.L.)

La programación lineal estudia el problema de minimizar o maximizar una función lineal en presencia de restricciones lineales de igualdad y/o desigualdad. Su aceptación puede atribuirse a muchos factores: capacidad para modelar problemas grandes y complejos, habilidad de los usuarios para resolver problemas a gran escala en un lapso razonable.

4 pasos importantes:

1. Planteamiento del Problema: implica un estudio detallado del sistema, la recolección de datos y la identificación del problema específico que es necesario analizar, junto con las restricciones y la función objetivo (función lineal que se quiere maximizar o minimizar según el tipo de problema)
2. Modelo matemático: se utiliza para obtener una abstracción o idealización del problema. El modelo debe representar de manera satisfactoria al sistema bajo análisis y que, además, sea tratable matemáticamente. Debe tenerse en cuenta que, a partir de este modelo, las soluciones obtenidas serán soluciones del modelo y no necesariamente del problema real.
3. Deducir una solución: es necesario elegir o diseñar una técnica apropiada que aproveche cualquier estructura.
4. Implementación: el modelo se pone en marcha para auxiliar interactivamente en el proceso de la toma de decisiones.

Método Simplex

Provee un sistema rápido y efectivo para la resolución de problemas de Programación Lineal. Su resolución es factible por medio de computadoras. Llega a la solución óptima por medio de iteraciones o pasos sucesivos.

Puntos extremos y Optimalidad

Cuando existe una solución óptima del problema de P.L., entonces también existe un punto extremo óptimo. Simplex traslada la definición geométrica del punto extremo a una definición algebraica.

Cada una de las **restricciones** debe estar en una **forma estándar**. Propiedades de la forma estándar:

1. Todas las restricciones son ecuaciones (se agregan variables de holgura y/o artificiales).
2. Todas las variables son no negativas.
3. La función objetivo puede ser de maximización o de minimización.

Puntos extremos: pueden identificarse por medio de las soluciones básicas del sistema de ecuaciones simultáneas. Simplex parte de una solución básica factible (punto extremo), y continúa iterando a través de soluciones básicas factibles hasta alcanzar el óptimo.

En la forma estándar, el modelo tiene ***m*** ecuaciones y ***n*** incógnitas. Para encontrar una solución básica es necesario hacer ***n-m*** variables iguales a cero: variables **no básicas**. Las **m** variables restantes son **básicas**. Una solución básica es **factible** si todos los valores de su solución son no negativos. Si pasa lo contrario, es **no factible**.

**Modelo de Transporte**

Tiene que ver con la determinación de un plan de costo mínimo para transportar una mercancía desde varias **fuentes** (oferta) a varios **destinos** (demanda).

Es un problema lineal que se puede resolver a través del método simplex, pero su estructura especial hace posible el desarrollo de un procedimiento más eficiente en términos de cálculo: técnica de transporte.

Datos del modelo:

* Nivel de **oferta** en cada fuente (cantidad de mercancía ofertada)
* Nivel de **demanda** en cada destino (cantidad de mercancía demandada)
* **Costo unitario** que implica el transporte de la mercancía de cada fuente a cada destino.

La mercancía es igual en todas las fuentes: un destino puede recibir su demanda de una o más fuentes.

Objetivo: determinar la cantidad que se enviará de cada fuente a cada destino, minimizando el costo total de transporte.

Suposición básica: el costo de transporte es directamente proporcional al número de unidades transportadas.

La suma de los envíos desde una fuente no puede ser mayor que su oferta. La suma de los envíos a un destino debe satisfacer su demanda.

Cuando la oferta total es igual a la demanda total, la formulación resultante recibe el nombre de **Modelo de Transporte Equilibrado**. Un modelo de transporte siempre puede equilibrarse (agregando fuentes o destinos ficticios).

**Sistemas de Gestión de Stock-Inventario**

Stock – Inventario:

* Cantidad de productos que se encuentra acumulada en un lugar determinado.
* Mantenimiento de cantidades suficientes de bienes que garanticen una operación fluida en un sistema de producción o en una entidad comercial.
* Debe encontrarse un punto medio para manejar los inventarios.

Funciones de la Gestión de Stock (GS)

* Satisfacer una demanda (cliente o proceso productivo).
* Absorber diferencias entre las provisiones de demandas hechas y las ventas reales.
* Evitar rupturas en el flujo de materiales.

Tipos de Stock

* Producto final.
* Materia prima.
* Repuestos.
* Material de acondicionamiento: envases, embalaje, etc.
* Materiales en curso de fabricación.
* Componente.
* Subproductos: residuos y deshechos que pueden o no ser vendidos a terceros.

Se necesita disponer de inventario para:

* Evitar la *ruptura de stock:* no quedarse sin productos si hay un crecimiento inesperado de demanda.
* Diferenciar entre ritmo de producción y distribución cuando la demanda depende de la época, por ejemplo.
* Obtener grandes descuentos: comprar productos en gran cantidad.

¿Qué es la Gestión de Stock?

* Organizar: fijar los criterios y políticas para su regulación, definir técnicas a utilizar, determinar cantidades.
* Planificar: establecer los métodos de previsión, determinar los momentos y cantidades de reposición.
* Controlar: los movimientos de entrada/salida de los stocks, el inventario valorado, las tareas a realizar.

Objetivos de la Gestión de Stock

Establecer un equilibrio entra la cantidad de servicio y los costos que derivan de la reposición de stocks. Para lograrlo, la gestión de stock tiene que actuar sobre 2 conceptos *complementarios*:

* Sistema de reposición.
* Stock de seguridad (adicional destinado a cubrir contingencias). El óptimo es aquel que minimiza el costo total.

Ventajas de la Gestión de Stock

* Contabilizar los artículos de stock
* Regular la interacción de las áreas que utilizan el stock.
* Conocer el comportamiento histórico
* Prever necesidades futuras
* Calcular pedidos y tiempos
* Mantener un stock de seguridad adecuado.

Sistemas de Reposición

Depende de:

* Relaciones empresa/proveedor.
* Hábitos de la empresa.
* Naturaleza de la actividad.
* Productos y cantidad de seguimiento.

Sistemas de Reposición Simple

* Regla *“uno por uno”*: sale una unidad y se pide otra.
* Regla *“doble cesta”*: mercaderías entregadas en contenedores.
* Reposición del nivel: se reaprovisiona la cantidad necesaria para reponer el stock a un valor *constante*.

Sistema ABC

Permite identificar aquellos productos que influyen en el costo de capital. Idea: determinar el porcentaje de artículos que contribuyen al 80% del valor monetario acumulado (clase A, 30% del total de artículos). Los artículos de clase tienen un costo del 15% y representan el 25% del total de artículos. El resto de artículos tienen un valor de 5%. Se espera que el tamaño del pedido de artículos sea pequeño por el costo que tienen.

Modelo de Inventario Generalizado

“La cantidad y el punto de pedido se determinan minimizando el costo de inventario total.”

Complejidad del modelo

Este modelo opera bajo las suposiciones de que la demanda es constante en el tiempo, existe un reabastecimiento instantáneo y se trabaja sin escasez. Por este motivo, es un modelo de *demanda determinística y estática.*

o

o

Costo total por unidad de tiempo

Tamaño de lote económico de Wilson - Cantidad de pedido económica - Lote óptimo de pedido

Tiempo entre cada pedido

Cantidad de pedidos al año

**Teoría de Colas**

Línea de espera Modelo probabilístico

Siempre hay un servicio y elementos que lo necesitan en un momento dado. Las diferentes situaciones que se pueden imaginar tienen en común la *espera* y, como consecuencia, la *aleatoriedad*.

Objetivo: resolver modelos para determinar las características que miden el desempeño del sistema.

Elementos básicos del modelo de línea de espera

* Cliente que llega (cola).
* Servidor: elige un cliente para comenzar a prestar el servicio. Al finalizar, se elige a un nuevo cliente en espera.

Distribución de llegada: intervalos de tiempo que separan llegadas sucesivas de clientes.

# Unidad 3: Introducción a la Simulación

Simulación**:** proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender su comportamiento y/o evaluar estrategias para la operación del mismo (sistema real: existente o capaz de existir).

Las áreas de aplicación para la simulación son diversas y numerosas, por ejemplo:

* Diseño y análisis de sistemas de producción.
* Evaluación de requerimientos de hardware y software para sistemas informáticos.
* Evaluación de armas militares o sistemas tácticos de combate.
* Determinación de políticas de gestión en sistemas de inventario.
* Diseño y evaluación de sistemas y protocolos de comunicación.
* Diseño de sistemas de transporte en puertos, aeropuertos, autopistas, etc.
* Evaluación de sistemas hospitalarios, oficinas postales, restaurantes, etc.

Ventajas y desventajas de la simulación respecto de otras técnicas

Experimentar directamente sobre el sistema real tal vez sería lo ideal, pero tiene varias desventajas serias:

* Interrupción de las operaciones.
* La gente suele modificar su conducta si se la observa.
* Dificultad para mantener las condiciones de operación (repetitividad).
* Gran insumo de tiempo y dinero para tomar muestras de igual tamaño.
* Algunos tipos de alternativas no pueden explorarse por riesgos o costos. Por ejemplo: explosiones.
* En algunos casos el sistema aún no existe.
* El tiempo es muy largo o muy breve (crecimiento demográfico o estudio de los efectos de un choque en un auto).

Por ello, en la mayoría de los casos es conveniente crear o definir un modelo del sistema real sobre el cual experimentar.

Ventajas de la Simulación

* La mayoría de los sistemas son complejos y no pueden ser analizados con un modelo matemático analítico. La simulación a veces es la única alternativa.
* La simulación permite estimar la performance de un sistema existente *a lo largo del tiempo*, a partir de un conjunto de condiciones operativas proyectadas. El modelo matemático solo devuelve estos datos al final.
* Permite controlar todas las variables y parámetros del sistema. Permite en un corto periodo de tiempo evaluar el comportamiento de un sistema.
* Posibilidad de diseñar y comparar sistemas alternativos de un mismo modelo para seleccionar la mejor opción.
* Se pueden mantener bajo control las condiciones experimentales con más facilidad.

Desventajas de la simulación

* Si el sistema es muy complejo, desarrollar un buen modelo es costoso (tiempo y dinero), y requiere capacidad.
* Modelar los sistemas puede tornarse tedioso.
* Necesita hardware cada vez más potente.
* Los resultados son estimados, se trabaja con intervalos de confianza.
* Imprecisión: el modelo usado puede impreciso y no notarse; las mediciones sobre las que se basa pueden estar mal hechas o pueden ser válidas sólo para un rango estrecho de valores.

Requerimientos y ventajas de un lenguaje de simulación (específico de simulación o de propósito general)

Los lenguajes de simulación van a cumplir con las siguientes características mínimas:

* Generar números aleatorios en tiempo de ejecución.
* Generar variaciones aleatorias.
* Avanzar el tiempo de simulación (determinar próximo evento y llamar a la rutina apropiada).
* Manejar listas para inserción y eliminación.
* Recolectar y analizar datos.
* Generar reportes.
* Flexibilidad de modelado.
* Posibilidad de simulación continua y discreta.
* Detectar errores.

Ventajas:

* Modelado más natural del sistema (se definen los componentes del sistema y luego como actúan).
* Facilidad para cambiar el modelo.
* Almacenamiento dinámico de los datos durante la ejecución.
* Herramientas de detección de errores.

Implementación de la simulación

Se puede implementar de 2 maneras:

* Software de simulación: lenguaje de simulación, simuladores.
  + Ventajas
    - Estructura modular adecuada (en bloques).
    - Manejo dinámico de memoria.
    - Cuenta con rutinas de error.
    - Fácil mantenimiento.
  + Desventajas
    - Costoso.
    - Complejo.
    - Difícil de adquirir.
    - Hardware potente.
  + Requisitos
    - Velocidad de ejecución.
    - Capacidad de animación.
    - Portabilidad de hardware.
    - Modelar sistemas discretos y continuos.
    - Reportes gráficos y numéricos.
* Lenguaje de propósito general: Simlib.
  + Ventajas
    - La mayoría de los desarrolladores conocen el lenguaje.
    - Disponibles para la mayoría de las configuraciones de PC, y son relativamente menos costosos.
    - Fácil de aprender y programar.
    - Permiten menor tiempo de ejecución.
    - Permiten mayor flexibilidad para la programación (desarrollar, agregar funciones, etc.).
    - Simuladores: simulan siempre lo mismo. Lenguajes: permiten simular diversos tipos de sistemas.

Características deseables de un lenguaje de simulación

* Cumplir con las características generales mínimas.
* Animación: mostrar visualmente cómo funcionan los elementos, el comportamiento del sistema, etc. Dos tipos:
  + Dinámica: durante la misma ejecución del programa.
  + Retardada: cuando finaliza la ejecución.
* Facilitar capacidades y herramientas estadísticas
* Soporte técnico: deben otorgar la posibilidad de poder consultar.
* Reportes completos: deben permitir obtener un reporte final que pueda ser presentado.

Proceso de simulación: etapas

1. Formulación del Problema.
2. Definición del sistema: definir las fronteras y el medio ambiente.
3. Simulación: determinar si es viable utilizar simulación u otra técnica.
4. Formulación del modelo (representación en diagrama de flujo o lógico).
5. Preparación de datos: para poder predecir (hallar función de comportamiento; si no, se repite el pasado).
6. Traslación del modelo: pasarlo a un lenguaje computacional.
7. Verificación.
8. Validación (expertos): es la comparación de las conclusiones obtenidas con el modelo respecto al sistema real.
9. Planeamiento estratégico (estrategia): decidir qué modificar.
10. Planificación táctica: definir qué es una muestra, cuándo tomar los datos de simulación (tiempo a esperar para que el sistema se considere en régimen o en equilibrio), etc.
11. Experimentación: estrategia + táctica. Hacer las corridas y analizar la sensibilidad del modelo a los cambios.
12. Interpretación de los datos obtenidos con la simulación.
13. Implementación: uso del simulador.
14. Documentación.

# Unidad 4: Simulación Discreta por Eventos

Simulación Discreta: estocástica y dinámica.

Eventos: ocurrencia de un hecho ante el cual el sistema debe “reaccionar” de alguna manera. Hecho que ocurre y que genera cambios de estado en el sistema.

Simulación Discreta por Eventos: los eventos determinan cambios en el sistema que permiten que la simulación avance.

Diagrama de Eventos: permite ver de qué forma se relacionan los eventos entre sí.

Relaciones: ante la ocurrencia de un evento se puede determinar la ocurrencia de otro.

Mecanismos de avances de tiempo

* Intervalos fijos de tiempo

No es conveniente en la simulación discreta por eventos ya que los eventos no ocurren en intervalos de tiempos fijos. Puede ocurrir que nos detengamos a evaluar el sistema y no haya cambiado en nada o, por el contrario, hayan ocurrido muchos cambios a la vez en el mismo periodo de tiempo perdiéndose así muchos detalles.

* Avance por el próximo evento

Se evalúa el sistema cada vez que ocurre un evento (el reloj de la simulación avanza cada vez que ocurre un evento). Se debe poder predecir cuándo va a ocurrir el próximo evento.

M/M/1

Sistema relacionado con colas. Hay 1 servidor con 1 cola: si llega un cliente y el servidor está ocupado, el cliente se coloca en la cola y se atiende según FIFO. Trabaja con avance por el próximo evento.

Componentes de una simulación

* Estados / Variables del sistema (servidores, colas, contadores).
* Reloj del sistema.
* Lista de eventos.
* Rutina de inicialización.
* Rutina principal (main): controla todo el flujo del programa, las demás rutinas, el reloj de simulación, etc.
* Rutina timing: determina cual es el próximo evento.
* Rutinas de evento: actualiza el estado del sistema cuando un tipo de evento particular ocurre.
* Rutinas de librerías: usado para generar observaciones aleatorias, cálculos repetitivos, etc. Simlib.
* Rutinas de reporte.
* Contadores estadísticos: variables usadas para guardar información estadística sobre la performance del sistema. Pueden ser: escalares o temporales.

Interarribos:

* Poisson-estacionarios: los clientes llegan de a 1 por vez. La distribución del número de clientes que llegan en un intervalo de tiempo es independiente del tiempo (es la misma durante todo el tiempo).
* Poisson-no estacionarios: los clientes llegan de a 1 por vez. Los clientes llegan más rápidos o más lentos según los periodos. Los arribos no están IID con la misma distribución.
* Arribos por lotes: los clientes arriban en lotes o grupos. Los interarribos entre lotes son IID. El tamaño de los lotes se ajusta a una función de distribución discreta.

Tiempo de servicio: cuánto tiempo le lleva al servidor atender.

Resultados buscados

* Estadísticos escalares
  + Demora media (promedio) en cola (n = cantidad de clientes atendidos demorados).
* Estadísticos temporales
  + Número medio en cola
  + Utilización del servidor

**Unidad 5: Generación de variables aleatorias**

**Selección de Distribuciones de Probabilidad**

Recolectar Datos

Definir la forma de trabajo durante la simulación.

* **Simulación Dirigida por los Datos**
  + Uso de los datos recolectados en el sistema. Se repite lo que pasó en la observación a partir de la cual se obtuvieron los datos. Sirve únicamente para validar el modelo.

Desventajas:

* Permite hacer algo que pasó y no que pasará.
* Puede simular teniendo sólo en cuenta los datos que tenga (es limitado).
* Se tienen siempre los mismos resultados.
* **Definir una Función Empírica (estadística descriptiva: intervalo y frecuencia).**
  + A partir de los datos se genera una especie de función escalonada que permite generar nuevos datos. Desventajas:
* Sólo se generan valores entre el mínimo y el máximo que se hayan observado. Acota la función.
* **Determinar una Función/Distribución Teórica a la que se ajustan los Datos (estadística inferencial).**
  + No tiene desventajas ya que puede producir valores fuera del rango a partir de una función.
  + Parámetros: describen una función; se pueden combinar.
    - De localización (o desplazamiento): Si cambia, la función se desplaza lateralmente por el eje x.
    - De escala: . Si cambia, se modifica la altura de la función. Se obtiene una función más alargada o más achatada sin que la localización cambie (modifica el comportamiento).
    - De forma: . Si cambia, cambia la forma de la función (asimétrica a derecha 🡪 asimétrica a izquierda).

Funciones

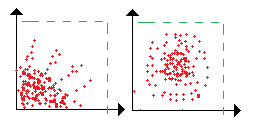
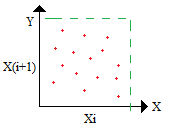
* Continuas
* Discretas: solo se presentan algunos de los valores del dominio.

Determinar la Independencia de los Datos: los datos provienen sesgados (no son objetivos o imparciales, sino que están condicionados) por lo que se debe determinar su independencia. Los datos deben superar ambas técnicas para poder avanzar.

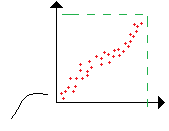
* **Gráficos de Dispersión**

El área del gráfico es un cuadrado. Se grafican puntos, un valor contra el siguiente. Hay dependencia cuando los puntos forman una tendencia y no se encuentran dispersos en toda el área.

Ejemplo de datos independientes



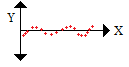
Ejemplo de datos dependientes



* **Gráficos de Correlación**

Puntos de correlación . Ve la relación que existe entre un valor y otro valor que está lugares separado en la secuencia de datos. Si los datos son independientes, deberían estar cerca de cero.

Si se acercan a 1 o -1, hay correlación positiva o negativa 🡪 Descartar los datos y volver a recolectar.



Pasos para descubrir la función óptima a la que se ajustan los datos

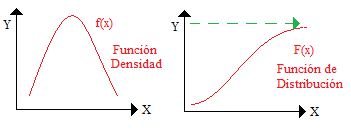
* **1º Paso:** Hipotetizar las familias de Distribución (aproximar a la función). En algunas situaciones se puede tener conocimiento a priori de la aplicación de la variable, para poder elegir o descartar distribuciones. Como conclusión podemos tener varias familias que podrían ajustar la muestra de la variable de entrada.

1. Estadísticos Descriptivos: moda, media, mediana, varianza, etc. Si la media y la mediana son parecidas, es simétrica, sino es asimétrica.

Existen fórmulas para estimar a partir de los datos de la muestra dichos parámetros.

1. Histogramas y Gráficos de Línea.

* Histograma: Para muestras de datos continuos. Gráfico de estimación de la función de densidad correspondiente a la distribución de los datos.
* Gráfico de bastones: Para muestras de datos discretos. Estima la función de masa correspondiente a la distribución de los datos.

1. Resumen de Quantiles y Gráficos de Caja.

* **2º Paso:** Estimación de parámetros para cada familia candidata

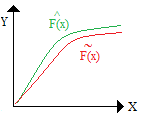
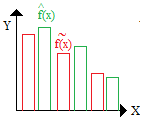
Como conclusión obtenemos qué función dentro de cada familia es a la que se ajustaría la distribución de la muestra.

* **3º Paso:** Testear la representatividad de cada una de las distribuciones.

La conclusión es el rechazo de una o más distribuciones teóricas de ajuste elegidas y la aceptación de 0 o 1 distribución teórica elegida.

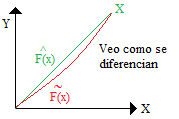
1. *Procedimientos Heurísticos*
   1. *Comparación de Frecuencias*

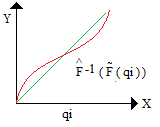
Se compara la frecuencia observada y la frecuencia esperada . Lo mismo se puede hacer con En esta comparación, las frecuencias deberían mostrar la misma tendencia.



* 1. *Gráficos (probabilidad – probabilidad)*

Se tiene que ver una similitud con las frecuencias de la función elegida en el puto anterior



* 1. *Gráficos (quantil – quantil)*

La línea que representa a los datos seleccionados tiene que parecerse a una recta de 45°. Si no hay diferencias en las colas de las funciones (teóricas y empíricas), se ajusta correctamente a la función esperada. Se puede decir que se ajusta correctamente si no se amplifican diferencias en el medio de la gráfica de la función teórica y empírica.

1. *Procedimientos Estadísticos*
   1. Tests de hipótesis: usados para determinar si los datos observados son una muestra independiente de una particular distribución. Es decir que estos procedimientos estadísticos validan o rechazan la hipótesis nula 🡪 : los son variables aleatorias IID (Independientes Idénticamente Distribuidos).

. IID = Independientes idénticamente distribuidos según una función.

* Test de Chi cuadrado . Trata de armar intervalos equiprobables (misma probabilidad, no necesariamente mismo tamaño de intervalo).

Es una comparación del histograma o gráfico de líneas de los datos de la muestra contra la función de distribución de ajuste.

Se divide el dominio de la distribución de ajuste en k intervalos equiprobables, y se comparan los datos observados contra los esperados.

El problema de este test es la elección de la cantidad y tamaño de los intervalos.

* Test K-S.
  + Compara una función de distribución empírica con la función de distribución de ajuste, pero sin tener que determinar intervalos y es válido para cualquier cantidad de muestra. Su rango es más limitado por lo que dificulta su uso para los discretos. El K-S original es válido solo si todos los parámetros son conocidos y la distribución es continua (normal, exponencial, weibull).
  + La diferencia primordial entre K-S y A-D es que el test A-D está diseñado para detectar discrepancia en las colas y tiene mayor poder que el K-S ya que no le da el mismo peso a la diferencia fn(x) – f(x) para cualquier valor de x.
* Test A-D.

Distribuciones desplazadas y/o truncadas

Si la función a la que se ajustan los datos no pasa ninguno de los test anteriores puede ocurrir que la función no corresponda a un estándar, es decir, que esté desplazada o truncada; por la tanto para poder aplicar dichos test se debe cambiar la función de densidad, modificando alguno de los parámetros: localización, de escala o de forma.

**Generador de Números Aleatorios**

La generación de números aleatorios se utiliza cuando se conoce cuál es la función, pero no se tienen los datos de entrada. Se generan números Independientes Idénticamente Distribuidos, es decir, datos que no tienen correlación entre sí, pero sí uniformidad.

Características de un buen generador de número aleatorios.

* Que sea aleatorio y no exista correlación (es lo ideal, pero para los métodos que se van a ver no se va a cumplir).
* Algoritmo rápido y eficiente que consuma poca memoria (se va a usar muchas veces).
* Que permita reproducir un stream (grupo o conjunto de números): en algún momento se pueden volver a usar los mismos números aleatorios.
* Stream separados: generadores independientes.
* Distribución uniforme entre 0 y 1: todos los valores aleatorios entre 0 y 1 tiene la misma probabilidad de ocurrencia.
* Permite reproducir semillas (sub-conjunto de números aleatorios): para una determinada semilla que se reinicia, sus valores son iguales. Ej. Comparar distintas simulaciones.

Tipos

* Mecánicos: Preguntar a alguien (persona o máquina) que enuncie un número aleatorio. Depende de la habilidad de ese alguien.
* Tablas: Contiene gran cantidad de números de manera aleatoria y cuando se necesitan se van tomando.
* Métodos Aritméticos: Pueden ser programados; basados en fundamentos matemáticos.

No existe independencia total. Existe secuenciamiento. No son totalmente aleatorios; son pseudoaleatorios.

Genera números que no son ni completamente aleatorios ni independientes ni uniformes. Esto se debe a que cada número es generado por una fórmula matemática utilizando el número anterior. Es el mejor de los tres métodos.

distribuidos uniformemente entre 0 y 1.

Método de los cuadrados medios: Luego de cierto período de tiempo comienzan a repetirse las semillas y se producirá la misma secuencia. Con una semilla no tan buena, los números se repiten rápidamente. Además, existe desbordamiento y repetición.

1. Se parte de un número semilla de 4 dígitos.
2. Se lo eleva al cuadrado.
3. Se toman los 4 dígitos del medio.

Métodos congruenciales lineales LCG: trabaja con aritmética modular 🡪 función MOD.

= multiplicador = incremento i-1 = valor anterior

Elegir bien los valores para el multiplicador, el incremento y el módulo: cuanto más grandes, más larga será la lista de números generados sin repetir. Si el ciclo que se generó es menor al módulo, se llama ciclo incompleto. Si la cantidad de elementos es igual al módulo, se llama período completo.

*Período*: cantidad de números aleatorios distintos generados en un ciclo, hasta que se repite el primero.

Desventajas

* Existe repetición.
* La calidad del método depende de los valores iniciales elegidos.

Puede ser que, combinando generadores no tan buenos, se pueda crear un generador bueno. Por ejemplo, es posible utilizar dos LCG 🡪 .

**Testear Generador**

Se debe testear que lo que se generó sea .

* Test Chi-Cuadrado

Testea tanto uniformidad como independencia.

Se basa en definir un conjunto de intervalos equiprobables para hallar un valor Chi Cuadrado y compararlo con tabla.

N = número de observaciones.

K = intervalos.

= lo observado, lo que hay en cada intervalo.

Si , rechazo (si Chi-Cuadrado es mayor a tabla, se rechaza la hipótesis y el generador no pasa el test)

* Test Serial

Solo testea uniformidad.Es más estricto que el test Chi-Cuadrado (generalización del Chi-cuadrado para más de 2 dimensiones).

Toma los valores generados y arma tuplas de tamaño , siempre en el orden de aparición. Ej.:

Hay K intervalos.

Por cada tupla, se fija en qué intervalo se encuentra cada elemento.

Si , rechazo

* Test de corridas

Sólo testea independencia. Es el más poderoso ya que los números suelen fallar en este test. Esto se debe a que algunos LCG con multiplicadores e incrementos pequeños tienden a generar corridas largas que podrían poner en duda si los son en verdad IID.

* + Test de corridas arriba: Controla que los números no aumenten continuamente ya que esto indicaría que existe algún tipo de patrón en los datos.
  + Test de corridas abajo: Controla que los números no disminuyan continuamente ya que esto indicaría que existe algún tipo de patrón en los datos.
* Test de Correlación

Es un test que sirve para verificar si existe correlación entre los datos. En este se obtienen valores a través de una serie de fórmulas que luego se comparan con los valores de la tabla de la distribución Normal (con un nivel alfa propuesto). Si uno o dos valores muestran correlación, no es razón suficiente para afirmar que existe correlación entre los datos. Pero si hay dependencia entre los , es decir, que tres o más no aprueban el test, significa que existe correlación entre los datos y que por lo tanto el generador utilizado no ha sido el mejor.

**Generación de Variaciones Aleatorias**

Dado un número aleatorio generado por un generador de números aleatorios, permite obtener un valor que pertenezca al dominio de la función teórica elegida.

Los números aleatorios son entre 0 y 1. Las variaciones aleatorias son entre funciones y varían entre 0 e infinito.

Las variaciones aleatorias son utilizadas, por ejemplo, en tiempos de interarribo, de servicio.

Un generador de variaciones aleatorias debe ser:

* Exacto : que sean exactos a la función que se pida.
* Eficiente: que no consume muchos recursos y sea rápido.
* Robusto: que funcione siempre y con distintos parámetros.
* Complejidad mínima: fácil de entender y de adaptar.
* Facilidad para la sincronización de técnicas de reducción de varianzas para obtener mejores estimaciones. En particular el método de la Transformada Inversa facilita la sincronización y reducción de varianza.

Métodos

*Directos*

* **Transformada inversa**:
  + Parte de la función de distribución. Se genera un número aleatorio, lo evalúo en la inversa de la función y se obtiene un valor de interarribo.
  + Necesita la inversa de la función

De la forma: . .

* + Procedimiento:
    1. Genera .
    2. Devolver
  + Ventaja: es rápido.
  + Desventaja: se necesita la inversa de la función (y no todas las funciones tienen).
* **Composición**:
  + Divide a la función de distribución que no tiene inversa en varias funciones que sí tienen.
  + Procedimiento:
    1. Generar un entero positivo aleatorio . Forma más simple: generar un número aleatorio, multiplicarlo por la cantidad de funciones, tomar la parte entera y sumarle 1.
    2. Generar
* **Convolución**:
  + Se utiliza en funciones complejas y en las cuales no es posible encontrar la inversa. Las variaciones aleatorias pueden obtenerse como la suma de otras variaciones aleatorias surgidas de otras funciones.

No se debe confundir este método con el de Composición, ya que en este último la función de distribución es la suma de otras funciones de distribución y en el de Convolución la variación aleatoria se representa como la suma de otras variaciones aleatorias.

* + de media es una suma de variaciones de funciones exponenciales
  + Procedimiento
    1. Generar
    2. Devolver

*Indirectos*

* **Aceptación y Rechazo**
  + Usado en casos en que no se pueda utilizar ninguno de los anteriores. Se genera una función nueva denominada mayorizante (). Todos los valores de tienen que ser mayores o iguales a la función original. Luego se evalúa un valor aleatorio en la inversa de , si el valor devuelto cae dentro del dominio de , pero no de la función original, se descarta y se comienza nuevamente con el proceso. En caso contrario se utiliza el valor obtenido
  + Función Mayorizante: . Función tal que
  + Procedimiento
    1. Generar
    2. Generar
    3. Si devolver , sino, volver al paso 1.
  + El secreto está en encontrar una función mayorizante que sea parecida a la que se tiene para que el método sea más rápido y no deba hacer tantos ciclos antes de cumplir la condición.
  + Desventaja: no se sabe cuántas veces repetir el procedimiento y sirve solo para el caso de una uniforme.

**Unidad 6: Análisis de datos de salida de la simulación**

Problemas

1. Generalmente se realiza una sola corrida o ejecución.
2. La regla de parada es arbitraria.
3. Creemos que la salida de la simulación es real.

Soluciones (respectivamente):

1. Realizar n corridas independientes.
2. Analizar el tipo de sistema con el que se está trabajando.
3. Forma en que se van a mostrar los datos.

Para que esas “n” corridas sean independientes, se deben cumplir 3 condiciones:

* Números aleatorios distintos (mientras no se detenga la simulación, los números aleatorios no se repiten).
* Resetear estadísticos.
* Iguales condiciones iniciales.

Por cada corrida se tiene 1 valor de índice n 🡪 n corridas. Con más corridas se tiene más precisión (pero también más tiempo).

Se construirá un intervalo de confianza (para la demora media)

Intervalo de Confianza

**Comportamiento transiente y estacionario**

Durante un período de tiempo, los valores de cierto estadístico en análisis están en un comportamiento transiente, es decir, dichos valores “se van acomodando”. Luego se llega a un punto en donde ya no cambian los valores del estadístico, aunque sigamos simulando mucho más tiempo; a este punto se lo denomina Punto Estacionario.

Tipos de Simulación

¿Cómo saber cuántas corridas hacer? - Sistemas que indican cuándo detener la simulación

* **Simulaciones Terminales**
  + La simulación termina cuando se cumple una condición.
  + Estimación por la media: se muestra un intervalo de confianza donde se tiene la media de las corridas.
    - Error Absoluto: el error se expresa en la misma unidad que el estadístico. Indica un estimativo de la cantidad de corridas que deberían hacerse para obtener el error que se espera.

Puede que indique más corridas de las que en realidad se necesitan, pero asegura que se obtendrá un error que se esté dispuesto a aceptar.

* + - Error Relativo: reduce el intervalo teniendo en cuenta un porcentaje de la media.
* **Simulaciones No Terminales** (o Estacionarios)
  + La simulación se detiene cuando se llega al evento estacionario del sistema. Los sistemas estacionarios son aquellos en los que, si se evalúa un estadístico a partir de un momento, el valor no cambia.
  + Hay que descartar los datos (para que no influyan en los estadísticos) hasta que se estabilice el sistema.
  + Es estacionario porque en algunos momentos se estabiliza
  + Parámetros Estacionarios
    - Miro la evolución de un estadístico cuando se estabiliza.
    - Con transiente inicial, punto l (punto estacionario) y período estacionario.
  + Parámetros Estacionarios cíclicos.
    - Cada cierto tiempo el sistema se reinicia. Con un ciclo basta para conocer el comportamiento del sistema.
  + Otros Parámetros: puede ser una combinación de los anteriores.

Para determinar si es un tipo de sistema estacionario

“n” corridas; “m” datos intermedios

🡪

*Promedios móviles:* promedios de promedios para suavizar la gráfica y detectar de mejor manera cuándo se estaciona el sistema (punto L).

“w” = ventanas

Comienza desde 1 (). Se toma ese valor, el posterior, el anterior y se promedia para sacar el nuevo . Si no se puede tomar el anterior o posterior se usa un solo valor.

Las ventanas van tomando varios “” y haciendo el promedio. Se gráfica y se determina si ya se puede ver con claridad el punto L.

**Comparación de Configuraciones Alternativas**

Siempre se piensa sobre un estadístico que se quiera mejorar.

Estrategias de Comparación

* Todos contra el Estándar.
  + Se comparan todas las configuraciones alternativas contra el estándar utilizando alguno de los métodos anteriores.
* Todos contra todos.
  + No solo se comparan las configuraciones alternativas contra el estándar sino también entre ellas, para saber cuál es la mejor.

Técnicas de Comparación

* *Pares-t*
  + Se comparan las corridas de a par con las diferencias de valores de cada corrida. Es decir, se utilizan dos configuraciones distintas y se corren con los mismos datos. La cantidad de corridas de ambas simulaciones deben ser la misma. Luego se calcula el intervalo de confianza de la comparación para saber si las simulaciones son similares. Si el intervalo de confianza es [+,+] o [-,-] según el estadístico que esté analizando puedo elegir una de las configuraciones; si es [-,+] no se puede decidir cuál es la mejor de las 2 configuraciones.
  + Se exige que
  + para
  + (varianza levemente modificada de los Z).
  + (intervalo de confianza de las diferencias entre una alternativa y otra).
  + Negativo, Negativo: es mejor la opción 1.
  + Positivo, Positivo: es mejor la opción 2
  + Negativo, Positivo: no sé cuál es mejor. A veces uno y a veces otro.
* *Muestras t de tamaño 2*
  + Similar a la anterior. No es necesario que en ambas simulaciones se realice la misma cantidad de corridas y en que se comparan las medias de cada muestra. Las corridas deben ser independientes, es decir, se deben usar diferentes semillas para las corridas de las diferentes simulaciones.
  + Requiere de independencia entre corridas de los dos sistemas.
  + mayor, menor o igual
  + promedio para
  + para

Técnicas de Rankeo y Selección

“K” Sistemas o Configuraciones Alternativas. Se utiliza para evitar hacer todos contra todos (es la mejor opción, pero más lenta).

Compara las configuraciones y las ordenas en un ranking. Primero se realiza un conjunto de corridas para cada sistema. Luego se simula una cantidad adicional de corridas hasta llegar a tener un valor aceptable del error. En base a esto se analizan las medias de las corridas originales y las medias de las corridas adicionales, y se crea una nueva media.

A partir de este valor se puede realizar alguna de las siguientes acciones:

* Seleccionar el mejor de los “K” sistemas: mucho esfuerzo de cálculo y procesamiento. Necesita bastantes corridas adicionales. Encuentra el mejor.
* Seleccionar un conjunto de “m” sistemas que contiene el mejor: menos esfuerzo, pero el conjunto podría contener al peor también. Requiere que luego se comparen todos contra todos para determinar el mejor. Lo que hace esta técnica es reducir el conjunto total de k sistemas, por eso luego de aplicar esta técnica habría que aplicar la primera.
* Seleccionar los “m” mejores sistemas.

Sobre 2º y 3º se podría aplicar todos contra todos del conjunto restante. Aplicar la 1º sobre la 2º y la 3º sigue siendo eficiente.

Técnicas de Reducción de Varianza

La reducción de la varianza es un punto importante porque permite obtener mayor precisión y menores intervalos de confianzas. Una de las formas de reducir la varianza es agregando corridas adicionales a las originales, pero esto tiene como contrapartida el aumento de costos del sistema, en cuanto a que se produce un mayor consumo de tiempo y almacenamiento de CPU, de algunos recursos, etc.

Covarianza: mide la correlación entre dos grupos de números.

Para poder reducir la varianza sin aumentar los costos se aplican las siguientes técnicas:

* **Números aleatorios comunes** (CRN)
  + Sólo para comparar dos configuraciones alternativas bajo las mismas condiciones iniciales. Se basa en lograr que los sistemas estén perfectamente sincronizados, es decir, que utilicen los mismos números aleatorios. Se corren las simulaciones y se aplica una fórmula a los datos de las mismas. Si se logra sincronizar los sistemas, entonces la covarianza será grande y por ende se reducirá la varianza.
* **Variaciones Antitéticas**
  + Se pueden aplicar sobre un mismo sistema. Busca que entre dos ejecuciones de un mismo sistema no haya correlación (covarianza).

Para la aplicación del método se deben hacer dos simulaciones con el mismo sistema en forma diferente. Se forman n pares de corridas, donde las primeras corridas se realizan de la forma original usando los números aleatorios comunes, y las segundas corridas se realizan utilizando el complemento de esos números aleatorios.

Luego se van promediando los valores de los pares, y se obtienen la media con esos promedios. Para finalizar se saca la varianza con una fórmula que contiene la covarianza. Este resultado se lo compara con el doble de las corridas originales.

con

Las corridas antitéticas se hacen trabajando con el complemento de cada número aleatorio usado en la simulación .

Cov = covariancia. Es negativa cuando no hay variación (reduce la varianza).

* + Puede reducir hasta un 30% la variancia original que se hubiera obtenido.
  + Para el intervalo, se utiliza la media de las primeras corridas .
* **Variaciones de Control**
  + Elegir un estadístico y una variable de control que afecte directamente al mismo (si la variable se modifica, el estadístico se ve modificado).
  + Esta técnica también sirve para reducir la varianza en un solo sistema. Se trata de reducir la varianza de un estadístico x utilizando otra variable del sistema y que esté fuertemente relacionada con el estadístico.

Se busca es que exista correlación entre el estadístico y la variable, pero sin importar el signo.

La aplicación de esta técnica exige que los cálculos realicen a medida que lleva a cabo la simulación.

Durante la simulación se calcula .

Luego de la simulación se aplica la fórmula de la varianza para poder sacar conclusiones.

* + La desventaja de esta técnica es que no siempre asegura la reducción de la varianza.
  + Realiza una sola corrida de la simulación, pero mucho más larga.

Se esperaría que sea positivo, así estaría restando un número enorme y lograría reducir la varianza nuevamente.

**Diseño Experimental y Optimización**

Busca evaluar cómo los cambios en los factores alteran el resultado esperado. Plantear las posibilidades de cambios y obtener la respuesta a los mismos.

Factor: características que identifican al sistema. Ej.: cantidad de servidores, política de la cola, cantidad de pedidos.

* Pueden ser **controlables** (modificados o mejorados) o **no controlables** (no pueden ser alterados por el sistema).
* Pueden ser **cuantitativos** (número contable/medible) o **cualitativos** (ej.: que las personas no quieran usar un servicio).
* Pueden ser **primarios**(indicen directamente en el resultado del sistema) o **secundarios**.

Los factores tienen **niveles**: son los valores que pueden tomar los factores.

Los factores que deben ser identificados son los controlables, cuantitativos y primarios ya que son los que debemos modificar para mejorar la performance del sistema.

Diseño factorial (2 valores/niveles para cada factor)

Se identifican factores. Por cada uno, hay dos niveles:

* + Estado Original.
  + Estado Alternativo, Cambio/Alteración/Modificación.

Luego, se crea una tabla con todas las combinaciones de los estados de cada factor y se calcula el estadístico para cada fila.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Combinación | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Respuesta |
| 1 | **-** | **-** | **-** |  |
| 2 | **+** | **-** | **-** |  |
| 3 | **-** | **+** | **-** |  |
| 4 | **+** | **+** | **-** |  |
| 5 | **-** | **-** | **+** |  |
| 6 | **+** | **-** | **+** |  |
| 7 | **-** | **+** | **+** |  |
| 8 | **+** | **+** | **+** |  |

Analizar tabla:

* Efectos Principales (1 por factor): efecto de cambiar un factor mientras otros no cambian. El efecto es lo que cambia el valor del estadístico, no un valor propio del estadístico.
* Efectos de Interacción: se evalúan los cambios que produce la modificación de varios factores al mismo tiempo.

Diseño 2k-p Fraccional

Esta técnica se utiliza para simplificar la matriz cuando ésta es cada vez más grande al momento de armar todos los efectos. Se siguen utilizando k factores, y se decide darle menos importancia a p factores de esos k. Este método se puede aplicar desde 23-1. Los pasos a aplicar son iguales a los de la técnica anterior

**Unidad 7: Simulación Continua con Dinámica de Sistemas.**

Dinámica de sistemas, técnica de estudio y simulación

En la actualidad, la dinámica de sistemas (DS) o simulación dinámica se usa para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier sistema con retardos y bucles. Los modelos DS son modelos matemáticos similares a modelos hidrodinámicos. Los símbolos utilizados para representar las características estructurales y funcionales reflejan esta particularidad.

Diferencias con Simulación Discreta

* También hay cambios y eventos, pero lo que importa es ver el estado del sistema de manera periódica, a **intervalos fijos de tiempo**.
* Se utiliza un mecanismo de avance fijo. No importa saber cómo cambia el sistema cada vez que ocurre un evento.
* Se identifican **variables**, no eventos (hay eventos, pero no es lo que interesa).
* Las variables llevan asociadas eventos, pero no se identifican de esa forma. Lo que se estudia son las variables.
* No se puede adaptar a todos los tipos de sistemas.

Conceptos

* Exactitud: coincidencia con el patrón o realidad.
* Precisión: expresión rigurosa y detallada de algo.
* Escenario de simulación: hipótesis sobre las variables y parámetros que inciden en el comportamiento de un sistema.
* Imagen de un sistema: se refiere a la situación del sistema en las circunstancias de un escenario.
* Imagen base: situación del sistema al inicio.

Aspectos Estructurales: organización espacial de los elementos del sistema.

* *Límite*
  + Identificar variables endógenas (dan información o tienen un valor, se pueden modificar o se sabe cómo se calculan) y exógenas (solo dan valor, no se pueden modificar ni se puede cambiar cómo se calculan).
* *Elementos:* pueden ser reunidos en categorías/familias.
  + Relaciones materiales.
  + Relaciones de información.
  + Fuentes y sumideros: brinda algo material o información cuyo origen se desconoce o no interesa. También se utilizan para sacar del sistema algo material o información.
* *Red de Comunicación*: conecta elementos del sistema.
  + Línea llena: fluye algo material.
  + Línea de puntos: fluye información.

Diagrama Causal

Es la representación formalizada de las interacciones en un sistema, haciendo explícitas las relaciones de dependencia o causalidad. Es un modelo de un conjunto de relaciones simples y bucles de retroalimentación más formal que una descripción oral o lingüística.

**Variables**: elemento principal del sistema y se debe ver como se relacionan entre ellas.

**Relaciones**: se establecen relaciones positivas o negativas, según cómo afecta el cambio de una variable a otra.

Identificar **bucles de retroalimentación**: cuando se parte desde una variable y se llega a la misma. Pueden ser positivos o negativos. Los negativos sirven para regular el sistema y dar estabilidad (si todos fueran positivos, el sistema siempre crecería). Para que haya un bucle negativo, tiene que haber una cantidad impar de relaciones negativas.

Los positivos dan soporte a la dinámica del cambio del sistema (evolución, crecimiento, destrucción). Se da cuando hay cantidad par de relaciones negativas.

Características de los modelos

* Variables: Formalización precisa y operativa de un elemento cambiante del sistema.
* Parámetros: Formalización precisa y operativa de un elemento inmutable del sistema.
* Funciones: Una función matemática es la formalización de manera precisa y operativa de una red de comunicaciones.

Tipos de variables

* Depósitos o Niveles: representa un contenedor. Mantienen el valor cuando la simulación se detiene. Son denominadas variables de estado.
* Variables de Flujo o Válvulas: regulan o controlan las variables de depósito. Las hacen crecer o decrecer.
* Tasas o Parámetros: variables fijas.
* Variables Exógenas: variables cuyo comportamiento no se puede cambiar.
* Variables Auxiliares: variables que sirven para hacer cálculos intermedios, no aportan valor en particular.
* Retardos: toman información de variables de períodos pasados (información histórica de otra variable). Une una variable de flujo con otra.
* Fuentes y Sumideros.

Análisis de sensibilidad

Analizar cómo varían las variables endógenas ante variaciones pequeñas en los parámetros. Si se identifican trayectorias semejantes, entonces es un modelo poco sensible al parámetro en cuestión.

Si hay una variable muy sensible a un parámetro, se debe poner especial cuidado en el calibrado de éste. La sensibilidad puede cambiar con el tiempo.

Norma de convergencia

Para que un modelo sea útil es condición necesaria que sus "resultados" se ajusten razonablemente a los hechos.

Trayectoria

Es la visualización del comportamiento de un sistema explicado por un modelo matemático. Explicar cómo se comporta el sistema y por qué; explicar cómo y por qué varían a lo largo del tiempo las variables de estado.

Muestra los valores tomados por una variable a lo largo del tiempo. Se representan mediante funciones, tabla, gráficos.

Bifurcaciones y catástrofes

Bifurcación: para cierto valor de una variable la probabilidad de que se “comporte el sistema” (trayectoria) no solo depende de las condiciones iniciales sino del valor de esa condición inicial.

Catástrofe: es un caso de bifurcación donde cambiando en forma ínfima el valor de una variable se puede generar una u otra trayectoria.

Realidad vs. Utilidad

Dada una realidad en la cual se identifica un sistema, se pueden obtener distintos modelos. A medida que se avanza en la especialización del sistema identificado se pierde el realismo y se aumenta la utilidad.

Precisión vs. Exactitud

Entre los modelos alternativos para un mismo sistema, con el término precisión nos referimos a la expresión más detallada y rigurosa de algo. Con la palabra exactitud nos referimos a la coincidencia de algo con lo que le sirve de referencia (realidad).