

Tema 1: Introducción a los Modelos de Simulación

Simulación de Sistemas

Luis M. de Campos
Departamento de Ciencias de la Computación e I. A.
Grado en Informática
E.T.S.I. Informática y de Telecomunicaciones
Universidad de Granada
Email: lci@decsai.ugr.es

- 1 Introducción
- 2 Simulación como Modelización de Sistemas
- 3 Clasificación de Sistemas y de Modelos de Simulación
- 4 Ventajas e Inconvenientes de la Simulación
- 5 Aplicaciones de la Simulación

Antecedentes

- **Actualmente**, la simulación es una potente técnica de resolución de problemas.
- **Orígenes**: la teoría de muestreo estadístico y el análisis probabilístico de complejos sistemas físicos.
- **Punto en común**: uso de números aleatorios y muestreo aleatorio para aproximar un resultado o una solución.
- Primera aplicación: por Von Neuman y Ulam, durante la Segunda Guerra Mundial, estudio de problemas de difusión aleatoria de neutrones, en conexión con el desarrollo de la bomba atómica.

Antecedentes

- **Actualmente**, la simulación es una potente técnica de resolución de problemas.
- **Orígenes**: la teoría de muestreo estadístico y el análisis probabilístico de complejos sistemas físicos.
- **Punto en común**: uso de números aleatorios y muestreo aleatorio para aproximar un resultado o una solución.
- Primera aplicación: por Von Neuman y Ulam, durante la Segunda Guerra Mundial, estudio de problemas de difusión aleatoria de neutrones, en conexión con el desarrollo de la bomba atómica.

- El proyecto era “alto secreto”, se le dió un nombre clave: **Monte Carlo**, en referencia al famoso casino de juego.
- El nombre persistió durante un tiempo como sinónimo de cualquier tipo de simulación, pero
- hoy día está restringido a una rama de la matemática experimental que trata con números aleatorios (y que puede relacionarse con lo que más adelante llamaremos modelos de simulación estáticos),
- mientras que el término simulación, o simulación de sistemas, se refiere a una técnica de análisis más extensa, aunque muy a menudo utiliza números aleatorios.

Definición informal de simulación

Una simulación es la **imitación** del modo de **funcionamiento** u operación de un proceso o sistema del mundo real. La simulación involucra la generación de una **historia artificial** de un sistema, y la **observación** de esa historia artificial para obtener inferencias relativas a las características de funcionamiento de dicho sistema.

Es una técnica ecléctica por naturaleza, basada en:

- Técnicas de programación de ordenadores,
- Modelización de sistemas,
- Probabilidad
- Estadística,
- Métodos heurísticos.

- La contribución individual más importante es la potencia de cálculo y velocidad de procesamiento de los ordenadores.
- La simulación tiene sentido en la medida en que un ordenador permite plantear, describir y codificar modelos de grandes y complejos sistemas, que no se pueden resolver por el cálculo matemático-estadístico de forma útil.
- Se abre la posibilidad de, al igual que por ejemplo, los físicos o biólogos, realizar **experimentos “de laboratorio”** en áreas donde tradicionalmente esto no se podía hacer.
- Esto representa una gran ventaja en cuanto a las posibilidades de **controlar las condiciones** de tales experimentos y en consecuencia **incrementar la información** obtenida de los mismos.

- El comportamiento de un sistema conforme evoluciona se puede estudiar desarrollando un **modelo de simulación**.
- Este modelo adopta usualmente la forma de un **conjunto de suposiciones** referentes a la operación del sistema.
- Esas suposiciones se expresan en forma de **relaciones matemáticas, lógicas y simbólicas** entre las entidades u objetos de interés del sistema.

- Una vez desarrollado y validado, el modelo puede utilizarse para responder una amplia variedad de preguntas sobre el sistema real: ¿Qué pasaría si...?.
- Los cambios potenciales en el sistema pueden primero simularse para **predecir su impacto** en el rendimiento del sistema.
- La simulación se puede utilizar también para estudiar sistemas en fase de diseño, antes de que tales sistemas se construyan.
- La simulación puede pues usarse tanto como una **herramienta de análisis** para predecir el efecto de cambios en sistemas existentes, como una **herramienta de diseño**, para predecir el rendimiento de nuevos sistemas bajo diversos conjuntos de circunstancias.

- En algunos casos, un modelo puede ser lo suficientemente simple para que pueda resolverse por métodos matemáticos.
- Tales soluciones se pueden obtener mediante el uso del cálculo diferencial, teoría de la probabilidad, métodos algebraicos u otras técnicas matemáticas.
- Sin embargo, muchos sistemas reales son tan **complejos** que los modelos de esos sistemas son **virtualmente imposibles de resolver** matemáticamente.
- En esos casos, la simulación puede emplearse para imitar el comportamiento del sistema en el tiempo. De la simulación se **recopilan datos** como si se hubiese observado el sistema real. Estos datos generados por la simulación se utilizan para **estimar las medidas** de rendimiento del sistema.

- En algunos casos, un modelo puede ser lo suficientemente simple para que pueda resolverse por métodos matemáticos.
- Tales soluciones se pueden obtener mediante el uso del cálculo diferencial, teoría de la probabilidad, métodos algebraicos u otras técnicas matemáticas.
- Sin embargo, muchos sistemas reales son tan **complejos** que los modelos de esos sistemas son **virtualmente imposibles de resolver** matemáticamente.
- En esos casos, la simulación puede emplearse para imitar el comportamiento del sistema en el tiempo. De la simulación se **recopilan datos** como si se hubiese observado el sistema real. Estos datos generados por la simulación se utilizan para **estimar las medidas** de rendimiento del sistema.

Definición de simulación

Si se busca en un diccionario el verbo **simular**, se encontrará algo parecido a lo siguiente:

- “**Dar u ofrecer la apariencia de**” (Larousse).
- Sin embargo, la clave de una simulación para nosotros no está en la **apariencia o características**, sino en el **comportamiento** del modelo de simulación.

En segunda acepción aparece:

- “Utilizar un ordenador para el estudio de la evolución de un fenómeno físico, económico, etc, del cual se ha procedido previamente a su modelización”,
- que ya está mucho más próxima a lo que nosotros entenderemos por simulación.

Definición de simulación

Si se busca en un diccionario el verbo **simular**, se encontrará algo parecido a lo siguiente:

- “**Dar u ofrecer la apariencia de**” (Larousse).
- Sin embargo, la clave de una simulación para nosotros no está en la **apariencia o características**, sino en el **comportamiento** del modelo de simulación.

En segunda acepción aparece:

- “**Utilizar un ordenador para el estudio de la evolución de un fenómeno físico, económico, etc, del cual se ha procedido previamente a su modelización**”,
- que ya está mucho más próxima a lo que nosotros entenderemos por simulación.

Definición de Simulación:

El proceso de diseñar un modelo lógico o matemático de un sistema real y realizar experimentos basados en el ordenador con el modelo, al objeto de describir, explicar o predecir el comportamiento del sistema real.

Definición de Simulación:

El proceso de diseñar un **modelo** lógico o matemático de un sistema real y realizar **experimentos** basados en el **ordenador** con el modelo, al objeto de describir, explicar o predecir el comportamiento del sistema real.

- Se hace referencia explícita a un **modelo**, matemático o lógico. La habilidad para desarrollar un buen modelo es fundamental para el éxito de la simulación.
- Debe ser posible expresar el modelo como un **programa de ordenador**, lo más eficiente y efectivo posible.
- Puesto que los modelos de simulación son meramente **descriptivos**, se han de **diseñar y realizar experimentos** con el modelo para obtener resultados útiles.
- El propósito último de la simulación es **predecir el comportamiento del sistema**, ayudando así a la **evaluación de alternativas y la toma de decisiones**.

Definición de Simulación:

El proceso de diseñar un **modelo** lógico o matemático de un sistema real y realizar **experimentos** basados en el **ordenador** con el modelo, al objeto de describir, explicar o predecir el comportamiento del sistema real.

- Se hace referencia explícita a un **modelo**, matemático o lógico. La habilidad para desarrollar un buen modelo es fundamental para el éxito de la simulación.
- Debe ser posible expresar el modelo como un **programa de ordenador**, lo más eficiente y efectivo posible.
- Puesto que los modelos de simulación son meramente **descriptivos**, se han de **diseñar y realizar experimentos** con el modelo para obtener resultados útiles.
- El propósito último de la simulación es **predecir** el comportamiento del sistema, ayudando así a la **evaluación de alternativas** y la **toma de decisiones**.

Definición de Simulación:

El proceso de diseñar un **modelo** lógico o matemático de un sistema real y realizar **experimentos** basados en el **ordenador** con el modelo, al objeto de describir, explicar o predecir el comportamiento del sistema real.

- Se hace referencia explícita a un **modelo**, matemático o lógico. La habilidad para desarrollar un buen modelo es fundamental para el éxito de la simulación.
- Debe ser posible expresar el modelo como un **programa de ordenador**, lo más eficiente y efectivo posible.
- Puesto que los modelos de simulación son meramente **descriptivos**, se han de **diseñar y realizar experimentos** con el modelo para obtener resultados útiles.
- El propósito último de la simulación es **predecir** el comportamiento del sistema, ayudando así a la **evaluación de alternativas** y la **toma de decisiones**.

Definición de Simulación:

El proceso de diseñar un **modelo** lógico o matemático de un sistema real y realizar **experimentos** basados en el **ordenador** con el modelo, al objeto de describir, explicar o predecir el comportamiento del sistema real.

- Se hace referencia explícita a un **modelo**, matemático o lógico. La habilidad para desarrollar un buen modelo es fundamental para el éxito de la simulación.
- Debe ser posible expresar el modelo como un **programa de ordenador**, lo más eficiente y efectivo posible.
- Puesto que los modelos de simulación son meramente **descriptivos**, se han de **diseñar y realizar experimentos** con el modelo para obtener resultados útiles.
- El propósito último de la simulación es **predecir** el comportamiento del sistema, ayudando así a la **evaluación de alternativas** y la **toma de decisiones**.

Las técnicas antes citadas, necesarias para la simulación, proporcionan la habilidad de representar el sistema en una forma útil, y manipularlo para obtener las respuestas deseadas:

- La modelización permite obtener una representación abstracta del sistema real.
- El programa de ordenador traduce el modelo a una forma operativa.
- La teoría de la probabilidad define las variables aleatorias del modelo, y ayuda a construir las historias artificiales (generadores de datos) necesarios.
- La estadística ayuda en el diseño y análisis de los experimentos a realizar para obtener respuestas.
- Los métodos heurísticos se emplean para conseguir buenas soluciones, sino óptimas.

Las técnicas antes citadas, necesarias para la simulación, proporcionan la habilidad de representar el sistema en una forma útil, y manipularlo para obtener las respuestas deseadas:

- La **modelización** permite obtener una **representación abstracta** del sistema real.
- El **programa de ordenador** traduce el modelo a una **forma operativa**.
- La **teoría de la probabilidad** define las variables aleatorias del modelo, y ayuda a **construir las historias artificiales** (generadores de datos) necesarios.
- La **estadística** ayuda en el **diseño y análisis de los experimentos** a realizar para obtener respuestas.
- Los **métodos heurísticos** se emplean para **conseguir buenas soluciones**, sino óptimas.

Las técnicas antes citadas, necesarias para la simulación, proporcionan la habilidad de representar el sistema en una forma útil, y manipularlo para obtener las respuestas deseadas:

- La **modelización** permite obtener una **representación abstracta** del sistema real.
- El **programa de ordenador** traduce el modelo a una **forma operativa**.
- La teoría de la probabilidad define las variables aleatorias del modelo, y ayuda a **construir las historias artificiales** (generadores de datos) necesarios.
- La **estadística** ayuda en el **diseño y análisis de los experimentos** a realizar para obtener respuestas.
- Los métodos heurísticos se emplean para conseguir **buenas soluciones**, sino óptimas.

Las técnicas antes citadas, necesarias para la simulación, proporcionan la habilidad de representar el sistema en una forma útil, y manipularlo para obtener las respuestas deseadas:

- La **modelización** permite obtener una **representación abstracta** del sistema real.
- El **programa de ordenador** traduce el modelo a una **forma operativa**.
- La **teoría de la probabilidad** define las variables aleatorias del modelo, y ayuda a **construir las historias artificiales** (generadores de datos) necesarios.
- La **estadística** ayuda en el **diseño y análisis de los experimentos** a realizar para obtener respuestas.
- Los **métodos heurísticos** se emplean para **conseguir buenas soluciones**, sino óptimas.

Las técnicas antes citadas, necesarias para la simulación, proporcionan la habilidad de representar el sistema en una forma útil, y manipularlo para obtener las respuestas deseadas:

- La **modelización** permite obtener una **representación abstracta** del sistema real.
- El **programa de ordenador** traduce el modelo a una **forma operativa**.
- La **teoría de la probabilidad** define las variables aleatorias del modelo, y ayuda a **construir las historias artificiales** (generadores de datos) necesarios.
- La **estadística** ayuda en el **diseño y análisis de los experimentos** a realizar para obtener respuestas.
- Los **métodos heurísticos** se emplean para **conseguir buenas soluciones**, sino óptimas.

Las técnicas antes citadas, necesarias para la simulación, proporcionan la habilidad de representar el sistema en una forma útil, y manipularlo para obtener las respuestas deseadas:

- La **modelización** permite obtener una **representación abstracta** del sistema real.
- El **programa de ordenador** traduce el modelo a una **forma operativa**.
- La **teoría de la probabilidad** define las variables aleatorias del modelo, y ayuda a **construir las historias artificiales** (generadores de datos) necesarios.
- La **estadística** ayuda en el **diseño y análisis de los experimentos** a realizar para obtener respuestas.
- Los **métodos heurísticos** se emplean para **conseguir buenas soluciones**, sino óptimas.

Modelos

Un modelo es una representación o una abstracción de un sistema con el propósito de estudiar tal sistema, pero que contiene solo lo esencial del sistema real.

Aquellos aspectos del sistema que no contribuyen de forma significativa al comportamiento del sistema no están incluidos en el modelo. Por tanto un modelo es:

- un **substituto** del sistema real,
- y también una **simplificación** del mismo.

Razones por las que puede ser inapropiado/imposible experimentar con el propio sistema (si es que existe) y conviene usar un modelo (de simulación): experimentación

- demasiado **costosa** (p.e. determinar el beneficio de actualizar el hardware de los nodos de conmutación en una gran red de comunicaciones).
- demasiado **peligrosa** (p.e. explorar alternativas para controlar un reactor nuclear).
- demasiado **lenta** (p.e. determinar el impacto ecológico de una ampliación de la temporada de caza del ciervo en varios años consecutivos).
- demasiado **perturbadora** (p.e. analizar los efectos de cambios en el tráfico de una ciudad).
- **éticamente inaceptable** (p.e. estudiar la extensión de la dispersión de radiación después de una catástrofe nuclear).
- **irreversible** (p.e. investigar el impacto de un cambio en la política fiscal sobre la economía de un país).

- Un modelo siempre representa un **compromiso** entre **realismo** y **simplicidad**:
 - el modelo debería ser lo más sencillo posible,
 - pero lo suficientemente detallado como para permitir extraer conclusiones válidas sobre el sistema real,
 - dos atributos **deseables** pero que están en **conflicto**.
- Raramente un modelo realista es simple, y casi nunca un modelo simple es realista.
 - La pregunta es, ¿en qué punto debemos detenernos?
 - La respuesta es que **depende del propósito** para el que se está desarrollando el modelo.
 - **Los modelos no son verdaderos ni falsos, sino útiles o no** para el problema concreto.

- Un modelo siempre representa un **compromiso** entre **realismo** y **simplicidad**:
 - el modelo debería ser lo más sencillo posible,
 - pero lo suficientemente detallado como para permitir extraer conclusiones válidas sobre el sistema real,
 - dos atributos **deseables** pero que están en **conflicto**.
- Raramente un modelo realista es simple, y casi nunca un modelo simple es realista.
 - La pregunta es, ¿en qué punto debemos detenernos?
 - La respuesta es que **depende del propósito** para el que se está desarrollando el modelo.
 - **Los modelos no son verdaderos ni falsos, sino útiles o no** para el problema concreto.

Los modelos pueden ser de diversos tipos:

- **Iconográficos**: se asemejan **físicamente** al sistema real (como un globo terráqueo modeliza la Tierra).
- **Analógicos**: se asemejan al sistema real solo en su **comportamiento físico** (como el flujo de agua en tuberías se parece al flujo de electricidad en cables).
- **Simbólicos**: no tienen una relación física o analógica con el sistema real, sino una **relación lógica**. Se asemejan al sistema real en su comportamiento lógico.

Puesto que los modelos de simulación tienen que poder implementarse en un ordenador, deben ser muy explícitos: modelos simbólicos.

Sistemas

Un sistema se define como un grupo de objetos que están reunidos mediante alguna interacción o interdependencia regular, y que persiguen el cumplimiento de algún propósito.

- Un sistema se ve a menudo afectado por cambios que ocurren fuera del sistema. Tales cambios se dice que tienen lugar en el **entorno del sistema**.
- Cuando se modeliza un sistema, es necesario decidir cuál es la **frontera** entre el sistema y su entorno.
- Esta decisión puede depender del propósito del estudio que se pretende realizar.

Conceptos sobre sistemas:

- Una **entidad** es un objeto de interés en el sistema.
- Un **atributo** es una propiedad de una entidad.
- Una **actividad** representa un periodo de tiempo de cierta longitud.
- El **estado** de un sistema es la colección de variables necesarias para describir al sistema en cualquier instante, en relación con los objetivos del estudio.
- Un **suceso** es una ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.
- El término **endógeno** se emplea para describir actividades, variables y sucesos que ocurren dentro del sistema.
- El término **exógeno** se usa para describir actividades, variables y sucesos en el entorno que afectan al sistema.

Conceptos sobre sistemas:

- Una **entidad** es un objeto de interés en el sistema.
- Un **atributo** es una propiedad de una entidad.
- Una **actividad** representa un periodo de tiempo de cierta longitud.
- El **estado** de un sistema es la colección de variables necesarias para describir al sistema en cualquier instante, en relación con los objetivos del estudio.
- Un **suceso** es una ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.
- El término **endógeno** se emplea para describir actividades, variables y sucesos que ocurren dentro del sistema.
- El término **exógeno** se usa para describir actividades, variables y sucesos en el entorno que afectan al sistema.

Conceptos sobre sistemas:

- Una **entidad** es un objeto de interés en el sistema.
- Un **atributo** es una propiedad de una entidad.
- Una **actividad** representa un periodo de tiempo de cierta longitud.
- El **estado** de un sistema es la colección de variables necesarias para describir al sistema en cualquier instante, en relación con los objetivos del estudio.
- Un **suceso** es una ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.
- El término **endógeno** se emplea para describir actividades, variables y sucesos que ocurren dentro del sistema.
- El término **exógeno** se usa para describir actividades, variables y sucesos en el entorno que afectan al sistema.

Conceptos sobre sistemas:

- Una **entidad** es un objeto de interés en el sistema.
- Un **atributo** es una propiedad de una entidad.
- Una **actividad** representa un periodo de tiempo de cierta longitud.
- El **estado** de un sistema es la colección de variables necesarias para describir al sistema en cualquier instante, en relación con los objetivos del estudio.
- Un **suceso** es una ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.
- El término **endógeno** se emplea para describir actividades, variables y sucesos que ocurren dentro del sistema.
- El término **exógeno** se usa para describir actividades, variables y sucesos en el entorno que afectan al sistema.

Conceptos sobre sistemas:

- Una **entidad** es un objeto de interés en el sistema.
- Un **atributo** es una propiedad de una entidad.
- Una **actividad** representa un periodo de tiempo de cierta longitud.
- El **estado** de un sistema es la colección de variables necesarias para describir al sistema en cualquier instante, en relación con los objetivos del estudio.
- Un **suceso** es una ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.
- El término **endógeno** se emplea para describir actividades, variables y sucesos que ocurren dentro del sistema.
- El término **exógeno** se usa para describir actividades, variables y sucesos en el entorno que afectan al sistema.

Conceptos sobre sistemas:

- Una **entidad** es un objeto de interés en el sistema.
- Un **atributo** es una propiedad de una entidad.
- Una **actividad** representa un periodo de tiempo de cierta longitud.
- El **estado** de un sistema es la colección de variables necesarias para describir al sistema en cualquier instante, en relación con los objetivos del estudio.
- Un **suceso** es una ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.
- El término **endógeno** se emplea para describir actividades, variables y sucesos que ocurren dentro del sistema.
- El término **exógeno** se usa para describir actividades, variables y sucesos en el entorno que afectan al sistema.

Conceptos sobre sistemas:

- Una **entidad** es un objeto de interés en el sistema.
- Un **atributo** es una propiedad de una entidad.
- Una **actividad** representa un periodo de tiempo de cierta longitud.
- El **estado** de un sistema es la colección de variables necesarias para describir al sistema en cualquier instante, en relación con los objetivos del estudio.
- Un **suceso** es una ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.
- El término **endógeno** se emplea para describir actividades, variables y sucesos que ocurren dentro del sistema.
- El término **exógeno** se usa para describir actividades, variables y sucesos en el entorno que afectan al sistema.

Ejemplo: Banco

- **Entidad:** cliente.
 - **Atributo:** balance en su cuenta corriente.
 - **Actividades:** realizar una imposición o un reintegro.
- **Entidad:** cajero.
 - **Atributo:** grado de eficiencia (tiempo de servicio) para atender a los clientes.
 - **Actividad:** atender a un cliente.
- **Variables de estado:** número de cajeros ocupados, número de clientes esperando en cola o siendo atendidos.
- **suceso exógeno:** llegada de un cliente.
- **Suceso endógeno:** terminación del servicio a un cliente.

Igual que las componentes de un sistema son entidades, atributos, actividades, sucesos,..., los modelos se representan de forma similar (solo aquellos componentes que son relevantes para el estudio que se lleva a cabo).

Ejemplo: Banco

- **Entidad:** cliente.
 - **Atributo:** balance en su cuenta corriente.
 - **Actividades:** realizar una imposición o un reintegro.
- **Entidad:** cajero.
 - **Atributo:** grado de eficiencia (tiempo de servicio) para atender a los clientes.
 - **Actividad:** atender a un cliente.
- **Variables de estado:** número de cajeros ocupados, número de clientes esperando en cola o siendo atendidos.
- **suceso exógeno:** llegada de un cliente.
- **Suceso endógeno:** terminación del servicio a un cliente.

Igual que las componentes de un sistema son entidades, atributos, actividades, sucesos,..., los modelos se representan de forma similar (solo aquellos componentes que son relevantes para el estudio que se lleva a cabo).

Clasificación de Sistemas y de Modelos de Simulación

Los modelos de simulación deben ser simbólicos. Hay muchos tipos diferentes de modelos simbólicos.

Clasificaciones dicotómicas:

- Modelos **dinámicos/estáticos**: la diferencia está en si las variables del modelo cambian o no a lo largo del tiempo.
 - Un modelo de simulación **estático** representa un sistema en un instante particular de tiempo; otra manera de decirlo es que el tiempo no es una variable de interés para ese sistema.
 - Un modelo **dinámico** representa el sistema conforme éste va variando en el tiempo.

- Modelos **probabilísticos/determinísticos**: se hace referencia a las variables del modelo.
 - Si no hay **ninguna** variable aleatoria, todas son variables cuyos valores pueden ser establecidos con certeza, el modelo es **determinista**.
 - Si **alguna** variable aleatoria está presente, el modelo se clasifica como **probabilístico**.

Los valores de salida producidos por el modelo también son aleatorios, y por tanto solo pueden considerarse como **estimadores** de las verdaderas características del modelo.

Todos los modelos que involucran seres humanos y muchos que solo contienen máquinas, experimentan alguna variación que puede modelizarse mediante variables aleatorias.

- Modelos **probabilísticos/determinísticos**: se hace referencia a las variables del modelo.
 - Si no hay **ninguna** variable aleatoria, todas son variables cuyos valores pueden ser establecidos con certeza, el modelo es **determinista**.
 - Si **alguna** variable aleatoria está presente, el modelo se clasifica como **probabilístico**.

Los valores de salida producidos por el modelo también son aleatorios, y por tanto solo pueden considerarse como **estimadores** de las verdaderas características del modelo.

Todos los modelos que involucran seres humanos y muchos que solo contienen máquinas, experimentan alguna variación que puede modelizarse mediante variables aleatorias.

- Modelos **continuos/discretos**:

Las variables continuas pueden tomar como valor cualquier número real (tal vez dentro de uno o varios intervalos), mientras que las variables discretas pueden tomar un número limitado, especificado de valores. Especialmente importante es la distinción con respecto a la **variable tiempo** en un modelo de simulación.

- Si las alteraciones en el modelo (los cambios de estado) ocurren continuamente, conforme el tiempo varía, el modelo se clasifica como **continuo**.
- Si los cambios ocurren solo en instantes discretos de tiempo, el modelo es **discreto**.
- Dicho de otro modo, si las variables de estado varían de forma continua (respect. discreta) en el tiempo el modelo es continuo (respect. discreto).

- Modelos **continuos/discretos**:

Las variables continuas pueden tomar como valor cualquier número real (tal vez dentro de uno o varios intervalos), mientras que las variables discretas pueden tomar un número limitado, especificado de valores. Especialmente importante es la distinción con respecto a la **variable tiempo** en un modelo de simulación.

- Si las alteraciones en el modelo (los cambios de estado) ocurren continuamente, conforme el tiempo varía, el modelo se clasifica como **continuo**.
- Si los cambios ocurren solo en instantes discretos de tiempo, el modelo es **discreto**.
- Dicho de otro modo, si las variables de estado varían de forma continua (respect. discreta) en el tiempo el modelo es continuo (respect. discreto).

- La función que representa una variable de estado en términos del tiempo es una **función continua** para los modelos continuos y una **función escalonada** para los modelos discretos.
- Por ejemplo, en un proceso químico, la temperatura y la presión experimentan una tasa continua de cambio en el tiempo; lo mismo ocurre con la velocidad y la posición en un avión.
- En un sistema de colas, como las líneas de caja de un banco o un supermercado, la gente llega, comienza y termina de ser atendida en instantes discretos de tiempo.
- Los modelos discretos pueden tratar el tiempo como una variable continua, pero los cambios en el sistema no ocurren continuamente, sino en instantes particulares, discretos, de tiempo.

- La función que representa una variable de estado en términos del tiempo es una **función continua** para los modelos continuos y una **función escalonada** para los modelos discretos.
- Por ejemplo, en un proceso químico, la temperatura y la presión experimentan una tasa continua de cambio en el tiempo; lo mismo ocurre con la velocidad y la posición en un avión.
- En un sistema de colas, como las líneas de caja de un banco o un supermercado, la gente llega, comienza y termina de ser atendida en instantes discretos de tiempo.
- Los modelos discretos pueden tratar el tiempo como una variable continua, pero los cambios en el sistema no ocurren continuamente, sino en instantes particulares, discretos, de tiempo.

- La función que representa una variable de estado en términos del tiempo es una **función continua** para los modelos continuos y una **función escalonada** para los modelos discretos.
- Por ejemplo, en un proceso químico, la temperatura y la presión experimentan una tasa continua de cambio en el tiempo; lo mismo ocurre con la velocidad y la posición en un avión.
- En un sistema de colas, como las líneas de caja de un banco o un supermercado, la gente llega, comienza y termina de ser atendida en instantes discretos de tiempo.
- Los modelos discretos pueden tratar el tiempo como una variable continua, pero los cambios en el sistema no ocurren continuamente, sino en instantes particulares, discretos, de tiempo.

Ventajas e Inconvenientes de la Simulación

¿Cuándo es ventajoso o conveniente utilizar la simulación?

Resulta útil contrastar las ventajas e inconvenientes de la simulación frente a otros métodos de resolución de problemas que llamaremos globalmente **métodos analíticos**

- programación lineal, entera, no lineal
- programación dinámica,
- teoría de colas,
- teoría de juegos,
- ecuaciones diferenciales,
- ...

Los modelos analíticos tienen importantes **ventajas**:

- concisión en la descripción del problema,
- formas de solución definidas,
- facilidad de evaluar el impacto de cambios en las salidas como consecuencia de cambios en las entradas,
- capacidad (en muchos casos) de encontrar soluciones óptimas.

También tienen algunas **desventajas**:

- suposiciones relativas al sistema poco realistas,
- formulación matemática tal vez intratable (irresoluble).

Los modelos analíticos tienen importantes **ventajas**:

- concisión en la descripción del problema,
- formas de solución definidas,
- facilidad de evaluar el impacto de cambios en las salidas como consecuencia de cambios en las entradas,
- capacidad (en muchos casos) de encontrar soluciones óptimas.

También tienen algunas **desventajas**:

- suposiciones relativas al sistema poco realistas,
- formulación matemática tal vez intratable (irresoluble).

Los modelos de simulación también tienen sus **ventajas**:

- pueden describir sistemas muy complejos,
- pueden usarse para describir sistemas que no existen todavía, y para experimentar con sistemas existentes, pero sin alterarlos (los modelos analíticos también pueden usarse para eso, pero solo si el sistema no es muy complejo).
- proporcionan un ambiente de entrenamiento con ningún impacto en el funcionamiento del sistema real, comprimiendo además mucha experiencia simulada en un corto espacio de tiempo,
- no presentan ninguna rigidez en las condiciones teóricas,
- dan la posibilidad de parcelar un sistema en subsistemas mejor conocidos y estudiar experimentalmente las conexiones,
- permiten mejorar la comprensión del sistema o el diseño del modelo, o detectar las variables más importantes,
- incluso pueden ser útiles para verificar soluciones analíticas.

También presentan **inconvenientes**:

- no hay soluciones precisas, sino solo aproximaciones (estimaciones),
- no hay tampoco soluciones compactas (parametrizadas): cada cambio en las variables de entrada requiere una solución separada,
- pueden ser costosos en tiempo (de construcción del modelo y experimentación con él),
- puede ser difícil establecer la validez de los modelos (correspondencia con el sistema real).

- No existe una formulación matemática del problema.
- Existe un modelo matemático, pero no métodos analíticos de resolución del mismo.
- Existen el modelo y los métodos, pero los procedimientos son tediosos, por lo que resulta más sencilla y menos costosa la simulación.
- Se desea observar en el tiempo una historia simulada del sistema.
- Se desea experimentar con un modelo antes de construir el sistema (Ej: un avión en un túnel aerodinámico).
- Es imposible experimentar sobre el sistema real (Ej: sistema solar).
- Puede experimentarse sobre el sistema, pero motivos éticos lo impiden (Ej: sistemas biológicos humanos).
- Se quiere observar un sistema de evolución muy lenta, reduciendo la escala del tiempo (Ej: sistemas ecológicos).

Aplicaciones de la Simulación

Las áreas de aplicación de la simulación tradicionalmente se han encontrado en el **sector de producción**:

- control de procesos,
- control de inventarios,
- líneas de montaje o ensamblaje,
- planificación empresarial,
- sistemas económicos y macroeconómicos,
- programación de talleres de producción,
- ...

No obstante, cada vez más se aplica en sectores de **servicio y administración**:

- sistemas de salud (admisión en hospitales, áreas de urgencias y quirófanos),
- sistemas de transporte (flujo y control de tráfico de vehículos, planificación de tráfico portuario, aeropuertos, ascensores en grandes edificios),
- sistemas de telecomunicaciones,
- sistemas militares,
- sistemas de ordenadores,
- modelos ambientales y ecológicos,
- ...

También se emplea con éxito la simulación incluso para la prevención de incendios o la restauración de edificios históricos.

Direcciones **web de instituciones solventes** en el campo de la simulación de sistemas, desde las que se puede acceder a multitud de recursos y otros enlaces:

- The Society for Modeling & Simulation International (SCS):
<http://www.scs.org/>
- The ACM Special Interest Group on Simulation (SIGSIM):
<http://www.sigsim.org/>
- The INFORMS Simulation Society:
<https://www.informs.org/Community/Simulation-Society>
- ARGE Simulation News (ARGESIM):
<http://www.argesim.org/>