

Simulación

[4.1] ¿Cómo estudiar este tema?

[4.2] Concepto de simulación

[4.3] Tipos de simulación

[4.4] Construcción de modelos de simulación. Etapas de desarrollo

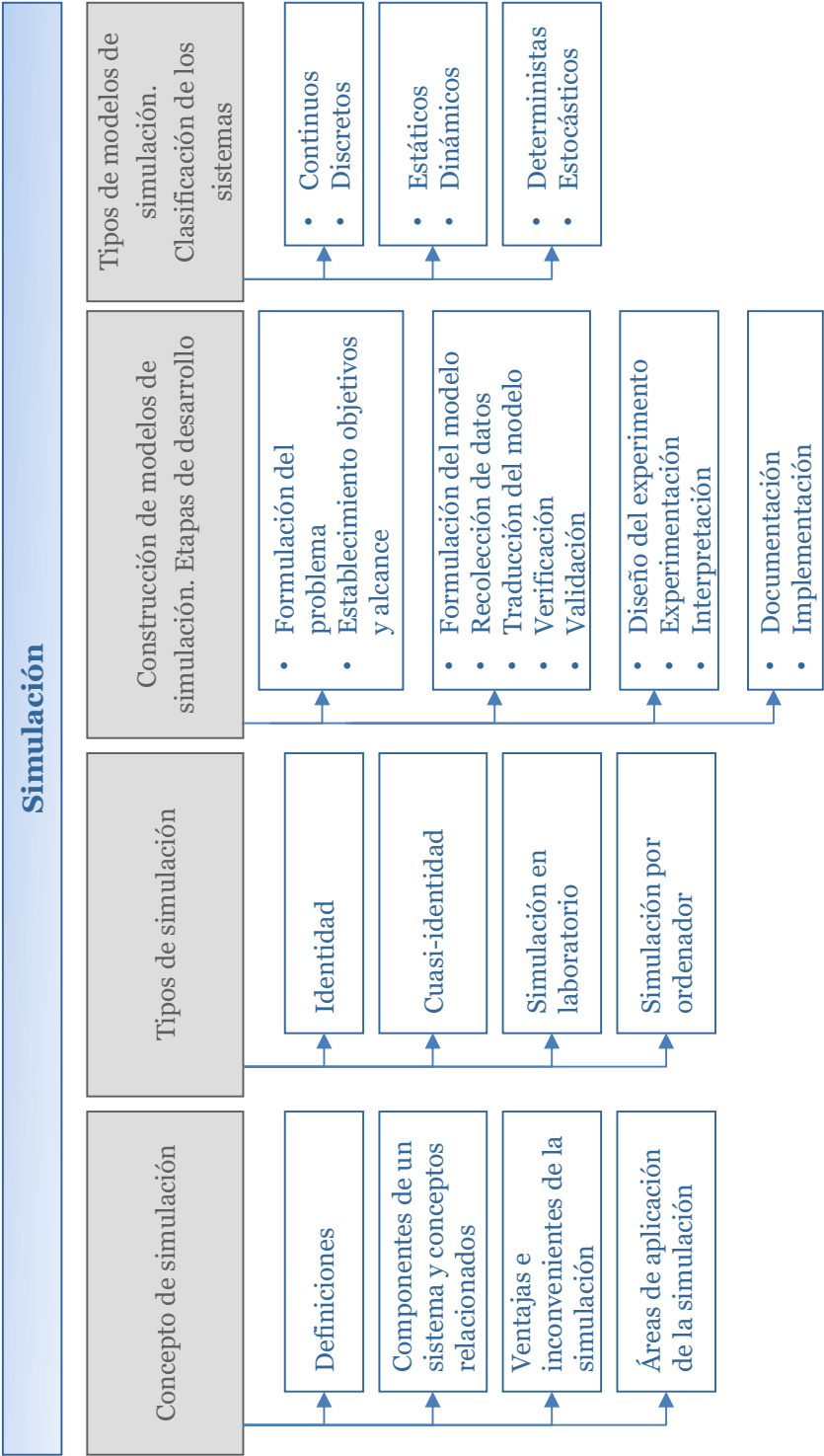
[4.5] Tipos de modelos de simulación. Clasificación de los sistemas

[4.6] Referencias bibliográficas

4

T E M A

Esquema



Ideas clave

4.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las **Ideas clave** que encontrarás a continuación.

En este tema estudiaremos:

- » Concepto de simulación, los componentes de un sistema que se va a simular
- » Ventajas e inconveniente de la simulación y sus ámbitos de aplicación
- » Los tipos de simulación
- » Simulación por ordenador
- » Etapas de desarrollo de un estudio de simulación
- » Modelos de simulación, según el tipo de las variables o la forma de comportamiento del sistema

4.2. Concepto de simulación

La simulación es una herramienta muy potente para la resolución de problemas. La técnica se basa en el análisis de sistemas físicos probabilísticos complejos y en la técnica estadística de selección de muestras.

Según Shannon (1976), «La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias – dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos –para el funcionamiento del sistema». (Shannon y Johannes, 1976).

Los orígenes de la simulación datan del año 1940 y están ligados al Proyecto Monte Carlo, desarrollado en el laboratorio de Los Álamos por Stan Ulam y John Von Neumann. En este proyecto se realizaba la simulación del flujo de neutrones para la construcción de la bomba atómica.

Otro de los proyectos que contribuyeron al avance de la simulación como técnica para diseño de sistemas y resolución de problemas fue el Programa Apolo uno de los proyectos más costosos de los realizados hasta el momento. Los primeros planes de desarrollo del proyecto tuvieron lugar en 1960 impulsados por W. Von Braun, pero surge como proyecto a partir del año 1961. Entre las muchas técnicas utilizadas destacan los estudios de simulación del movimiento de la atmosfera lunar y simuladores de vuelo.

Una definición práctica de simulación es la que indica que **la simulación es un conjunto de técnicas que por medio de un ordenador buscan imitar el comportamiento de los sistemas del mundo real**. Para obtener el modelo de simulación se requiere partir de una serie de hipótesis que serán especificadas de manera formal como relaciones matemáticas o lógicas.

La simulación fundamentalmente es **una herramienta que permite realizar el diseño y las operaciones de sistemas de procesos complejos**. La solución que se obtiene no es exacta pero se consiguen aproximaciones bastantes buenas. Si el sistema es sencillo, es evidente que se podrían usar métodos matemáticos para obtener soluciones exactas.

Para la simulación **se necesita contar con un modelo real del sistema** sobre el que se van a generar una serie de sucesos que permiten evaluar numéricamente el modelo y analizar los datos obtenidos para poder hacer una estimación de las características del sistema y si es posible mejorar las condiciones operativas relevantes del sistema.

Componentes de un sistema y conceptos relacionados con la simulación

Los conceptos que se deben tener en cuenta para poder llevar a cabo la simulación y poder llevar a cabo la evaluación del sistema son, entre otros (García-Dunna, 2012).

- » **Estado del sistema** en un instante de tiempo, es la descripción de cada uno de los elementos, atributos y actividades en dicho instante.
- » **Entidades** que son los elementos que hacen que cambie el estado del sistema, es decir, representan los datos o flujos de entrada. Por ejemplo, pueden ser los clientes esperando en la cola o los artículos que llegan a un inventario.
- » **Atributos** que representan las propiedades de los elementos o entidades del sistema. Sirven, entre otras cosas, para diferenciar entidades sin necesidad de crear entidades nuevas.

- » **Actividad o evento** es cualquier proceso que provoca un cambio en el sistema, como puede ser la salida de un cliente o la finalización de un trabajo.
- » **Variables** de estado que son condiciones que se establecen y modifican mediante ecuaciones matemáticas. Son útiles para determinar características del sistema o como contadores. Pueden existir variables que tomen valores continuos o valores discretos.

Sistema	Entidades	Atributos	Actividades	Eventos	Estado de las variables
Banco	Clientes	Saldo de la cuenta	Haciendo un ingreso	Salida, llegada	Número de cajeros ocupados, número de clientes esperando
Tren	Pasajeros	Origen, destino	Viajando	Llegada a una estación, llegada al destino	Número de pasajeros esperando en cada estación, número de pasajeros en transito
Producción	Máquinas	Velocidad, capacidad, ratio de averías	Soldando	Avería	Estado de las máquinas (ocupadas, ociosas, apagadas)
Comunicaciones	Mensajes	Tamaño, destino	Transmitiendo	Llegada al destino	Número de mensajes esperando a ser transmitidos
Inventario	Almacén	Capacidad	Retirando	Demanda	Nivel de inventario, demandas atrasadas

Tabla 1 Ejemplos de sistemas y sus componentes. Fuente: Banks, Carson, y Nelson, 1996.

Otras cuestiones y elementos de importancia que deben de considerarse en un sistema de este tipo son:

- » **Reloj** o valor actual del tiempo simulado. Gracias al reloj se puede conocer el tiempo de uso del modelo de simulación o establecer la duración de la simulación. Existen dos tipos de relojes:
 - **Absoluto**, que parte de cero y acaba en el tiempo total de la simulación
 - **Relativo**, que solo mide el tiempo entre dos acciones o eventos.
- » **Generador de números aleatorios.**

Ventajas e inconvenientes de la simulación

Se podrían enumerar las ventajas e inconvenientes de usar simulación con el objeto de determinar la elección más adecuada según el sistema que se pretende diseñar y analizar y sus características específicas.

Dentro de las ventajas más comunes que ofrece la simulación se pueden citar las siguientes:

- » Método directo y flexible.
- » Permite resolver problemas que no tienen solución analítica y en ese caso obtener aproximaciones buenas a los resultados de esos sistemas de gran complejidad sirve de soporte para la toma de decisiones.
- » Permite el análisis del comportamiento de un sistema bajo diferentes escenarios, lo que posibilita un mejor conocimiento del mismo.
- » Permite determinar el impacto de los cambios en un sistema antes de que sean implantados.
- » Permite probar condiciones extremas y experimentar en el sistema, sin riesgo y sin interferir con el sistema real.
- » Permite probar un sistema cuando no se pueden realizar experimentos reales por cuestiones económicas, cuestiones de seguridad, cuestiones de calidad o razones éticas.
- » Permite estudiar las interacciones entre las variables del sistema y establecer restricciones o cambios en el tiempo de los procesos o actividades.
- » Permite diseñar un sistema nuevo y someterlo a análisis y simulación antes de su paso a producción.
- » Permite estudiar la evolución de un sistema real cuando por distintas razones el sistema que se estudia evoluciona muy lentamente como serían sistemas climáticos o demasiado rápidos como sistemas en los que se producirían explosiones.
- » En la actualidad existen muchos paquetes de software para simulación y cada vez son más intuitivos lo que facilita su uso y aplicación. Además, las herramientas de visualización de muchos paquetes permiten ver de forma gráfica y explícita el comportamiento del sistema.
- » Es más económico realizar simulaciones que cambios en los procesos reales.

También existen **algunos inconvenientes** en el uso de la simulación que se deben tener en cuenta:

- » El número de variables que se necesitan para que sea complicado la realización de buenas simulaciones de sistemas complejos.
- » La simulación no es una herramienta de optimización y por tanto no genera soluciones óptimas globales. Esto a su vez, hace que la simulación de sistemas sencillos que podrían haber sido resueltos de forma analítica sea excesivamente costosa y no necesaria.
- » No proporciona las decisiones que se deben tomar sino que resuelve el problema mediante aproximación para unas determinadas condiciones.
- » En cada simulación interviene el azar por lo que dos simulaciones sucesivas no son iguales, es decir, cada simulación es única.
- » Se requiere bastante tiempo para realizar un buen modelo de simulación además de ser imprescindible que el analista conozca y sepa utilizar el paquete de software de simulación y sepa interpretar y analizar los resultados estadísticamente.

Áreas de aplicación de la simulación

En la actualidad, existen cada vez más áreas en las que se desarrollan modelos de simulación con el objeto de buscar soluciones en implantar sistemas y procesos eficientes. En otras las de mayor relevancia son:

- » Industrias de manufacturación, en las que la simulación ha realizado grandes aportaciones en la búsqueda de cuellos de botella en los procesos activos.
- » Plantas industriales, en los que la simulación proporciona información sobre las condiciones óptimas de implantación de los procesos industriales y el reparto de tareas y atribuciones.
- » Sistemas públicos, en los que la simulación se utiliza como modelo para la predicción de demandas energéticas, comportamientos climáticos y uso de los servicios públicos y tiempo óptimo de atención y cantidad de personal necesario.
- » Sistemas de transporte como modelo predictivo de congestión de tráfico y búsqueda de rutas alternativas, entre otros.
- » Construcción donde los modelos de simulación sirven para tomar decisiones frente a catástrofes sísmicas o climáticas, sistemas de iluminación óptimos y otros.
- » Industrias del diseño en las que la simulación permite identificar el comportamiento de los materiales lo que sirve como apoyo para la selección.

- » Educación, mediante entre otras cosas la implantación de modelos de simulación para el aprendizaje.
- » Técnicas de capacitación que permite el aprendizaje mediante técnicas de prueba y error.

Para el desarrollo de un modelo de simulación se usan un conjunto de técnicas mediante las cuales un ordenador puede imitar el comportamiento de sistemas del mundo real y para ello se debe de partir de unas hipótesis que se formulan de manera formal.

4.3. Tipos de simulación

En 1973, Fishman en su obra *Concepts and Methods in Discrete Event Simulation*, realiza una clasificación de la simulación atendiendo a la naturaleza del modelo que se expone a continuación (Fishman, 1973).

- » **Identidad.** Esta forma de simulación se implanta mediante la construcción de una réplica exacta del sistema que se estudia.
- » **Cuasi-identidad** para la que se utiliza una versión del sistema real prácticamente idéntica pero sin representar algunos aspectos del sistema por lo que se obtiene una versión simplificada.
- » **Simulación en laboratorio** para la que se usan modelos que se desarrollan en un laboratorio y sometidos a unas condiciones controladas. En este caso, se realizan dos tipos de simulaciones:
 - Juego operacional. Se desarrollan competiciones entre personas que forman parte del modelo además de contar con computadoras, maquinaria y otros elementos físicos.
 - Hombre-máquina en la que se analiza la relación que existe entre las personas y las máquinas.
- » **Simulación por computadora.** Se lleva a cabo un modelo completamente simbólico que se implementa haciendo uso de un lenguaje computacional. En este caso, las personas no forman parte del modelo pero su conducta se modela mediante procesos estadísticos.

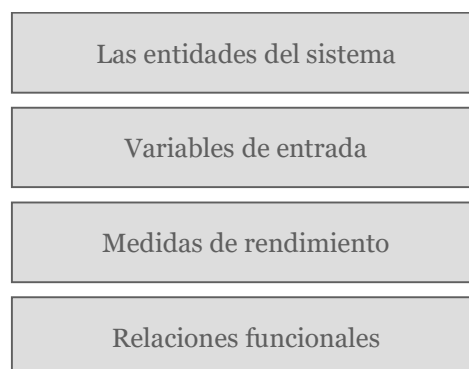
En este tipo de simulación se cuenta con distintas partes:

- Un modelo simbólico que puede estar representados por una conjunto de ecuaciones y reglas lógicas o bien está desarrollado como un modelo estadístico.
- Un evaluador, que consiste en un conjunto de procedimientos que procesan el modelo para obtener, de esta forma, el resultado de la simulación.
- La interfaz, que es la parte que interactúa con el usuario, soporta las acciones del usuario que aporta entrada de datos y otros eventos y que presenta los resultados generados por la simulación.

La forma de simulación por computadora es la que se va a usar a lo largo de este curso.

4.4. Construcción de modelos de simulación. Etapas de desarrollo

Para la construcción de modelos de simulación, se debe realizar distintas etapas. Una de las cuestiones que hay que tener en cuenta son los elementos que **forman parte del sistema y la eficiencia del modelo depende de su correcta identificación**. Los elementos son:



Por ejemplo, si se lleva a cabo la construcción de un modelo que simule una cola con un único servidor, las entidades del sistema son el servidor y la cola, las variables son la tasa de llegada y la tasa de servicio se introducen las variables, las medidas de rendimiento son el tiempo medio de espera y la longitud máxima de la cola y a partir de ello se puede definir relaciones funcionales a partir de las medidas de rendimiento.

El soporte que proporcionan las aplicaciones de software desarrolladas para la simulación es grande, ya que cuentan con funcionalidades que permiten modelar y representar cada uno de los elementos del sistema.

La simulación es más potente y más eficiente, cuanto mejor sea el modelo desarrollado por lo que se debe de realizar cada una de las etapas de forma minuciosa.

El proceso que se lleva a cabo es iterativo porque el sistema en estudio sufre distintas modificaciones fruto de la ejecución y el análisis del modelo en estudio y vuelve a ser sometido a este proceso hasta obtener el sistema que definitivamente conforma y resuelve el problema real. La Figura 1 presenta un esquema de los que es un estudio de simulación y su relación con el mundo real.

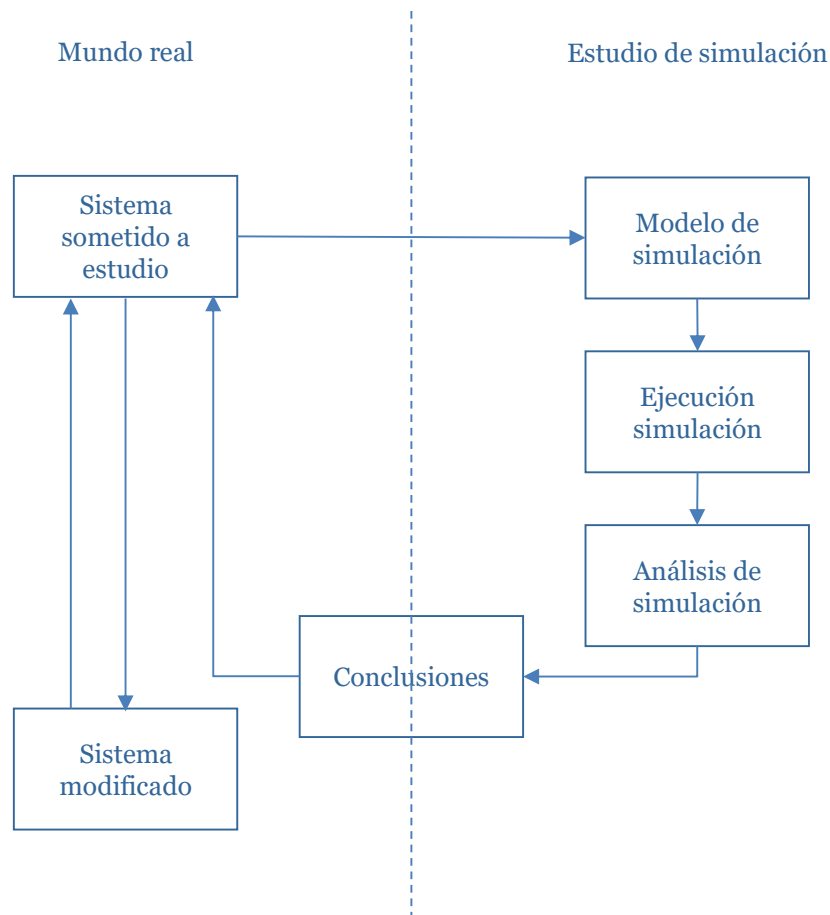


Figura 1. Esquema estudio de simulación. Fuente: Basado en Anu, 1997.

Las etapas de desarrollo del modelo son (Banks et al., 1996):

- » **Formulación del problema.** Se debe de establecer el objeto de la simulación. La formulación del modelo debe ser lo más precisa posible.
- » **Establecimiento de los objetivos y el alcance del plan del proyecto.** El sistema que se va a simular debe estar perfectamente definido. Para ello se definen los límites del sistema, abordando el objetivo general y alza cuestiones específicas. Así mismo se deben definir las medidas de rendimiento y decidir el marco temporal del estudio. Por último, se debe determinar cuál será el usuario final del modelo de simulación.
- » **Formulación del modelo.** La construcción del modelo conceptual se considera más un arte que una ciencia, dado que es imposible establecer un conjunto de instrucciones que den lugar a un modelo eficiente y apropiado.

Se trata de extraer los aspectos relevantes del problema. Lo mejor es comenzar con el desarrollo de un modelo sencillo e ir incrementándolo hasta que represente toda la complejidad del sistema que captura los aspectos relevantes del sistema real.

- » **Recolección de datos.** Existe una relación entre la construcción del modelo y la recolección de los datos de entrada necesarios (Shannon y Johannes, 1976). Los cambios en la complejidad del modelo implica la posibilidad de que los datos de entrada necesarios cambien. La recolección de los datos lleva una gran parte del tiempo que se requiere para conformar la simulación. Los objetivos del estudio determinan la clase de datos que se deben recolectar.

Los datos correspondientes se pueden obtener del uso de registros históricos, de los resultados de los experimentos de laboratorios o de las mediciones que se han llevado a cabo en el sistema real. Todos los datos deben de ser procesados y normalizados para obtener el formato oportuno para el modelo de simulación.

- » **Traducción del modelo.** La mayoría de los sistemas reales producen modelos que requieren una gran cantidad de almacenamiento de información y computación. El modelo debe ser implementado haciendo uso de un lenguaje de programación, algunos de los que son específicos para simulación o bien, se puede usar software para simulación que cuentan con modelos de simulación ya implementados.
- » **Verificación.** La verificación tiene que ver con el programa de ordenador implementado para la simulación, ya que se comprueba que no se hayan cometido errores al programar el modelo. En sistemas complejos, es difícil, si no imposible, obtener un modelo que funcione correctamente en su totalidad sin una buena dosis de depuración. Para ello, se utilizan las herramientas de depuración o *debugging* que proporciona el entorno de programación.

Si los parámetros de entrada y la estructura lógica del modelo se representan correctamente en el ordenador, la verificación se ha completado.

- » **Validación.** En esta etapa se comprueba si el modelo desarrollado es exacto. Se trata de conseguir la exactitud a través de la calibración del modelo mediante un proceso iterativo que compara el modelo con el comportamiento real del sistema y las discrepancias obtenidas sirven para mejorar el modelo. Este proceso se repite hasta que la exactitud del modelo se juzga aceptable.
- » **Diseño de experimentos.** En esta etapa se deciden las características de los experimentos de simulación que se van a realizar. Se debe decidir la duración del periodo de inicialización, el tiempo que dura la simulación y el número de simulaciones que se van a realizar. Las alternativas que se van a simular se determina en función de las ejecuciones que se han completado y analizado.
- » **Experimentación o ejecución del modelo y análisis.** La serie de ejecuciones y su análisis posterior se utilizan para estimar las medidas de rendimiento para el diseño del sistema que se está simulando. En esta etapa, por tanto, se realizan las simulaciones de acuerdo con el diseño previo y los resultados obtenidos se recolectan y procesan.

- » **Interpretación.** Se hace un análisis de sensibilidad del modelo teniendo en cuenta aquellos parámetros que tienen asociados una incertidumbre mayor. Se determinará si deben realizarse nuevas ejecuciones de modelo para recoger datos adicionales con el objeto de mejorar la estimación de los parámetros críticos.
- » **Documentación.** Hay dos tipos de documentación: el programa y el progreso. La documentación debe describir el modelo y los datos de forma detallada así como la evolución de las distintas etapas del desarrollo. Con esta documentación se facilita la comprensión del funcionamiento del programa que permitirá un análisis y la toma de decisiones basadas en este para realizar modificaciones si se consideran necesarias.

Así mismo y gracias a la documentación los usuarios podrán realizar cambios en los parámetros con el objeto de determinar las relaciones entre los parámetros de entrada y las medidas de rendimiento del sistema o descubrir que parámetros de entrada que optimizan alguna medida de rendimiento. En esta etapa por tanto, se debe elaborar la documentación técnica y los manuales de uso.

- » **Implementación.** Esta fase depende de la realización de las fases previas y del grado de implicación de usuario durante todo el proceso de simulación.

Si el usuario del modelo se ha involucrado a fondo durante el proceso de creación del modelo y si el usuario del modelo entiende la naturaleza del modelo y sus resultados podrá ser aplicado de forma correcta, sin embargo, si el modelo y sus características no se conocen adecuadamente, la aplicación probablemente se verá afectada independientemente de la validez del modelo de simulación.

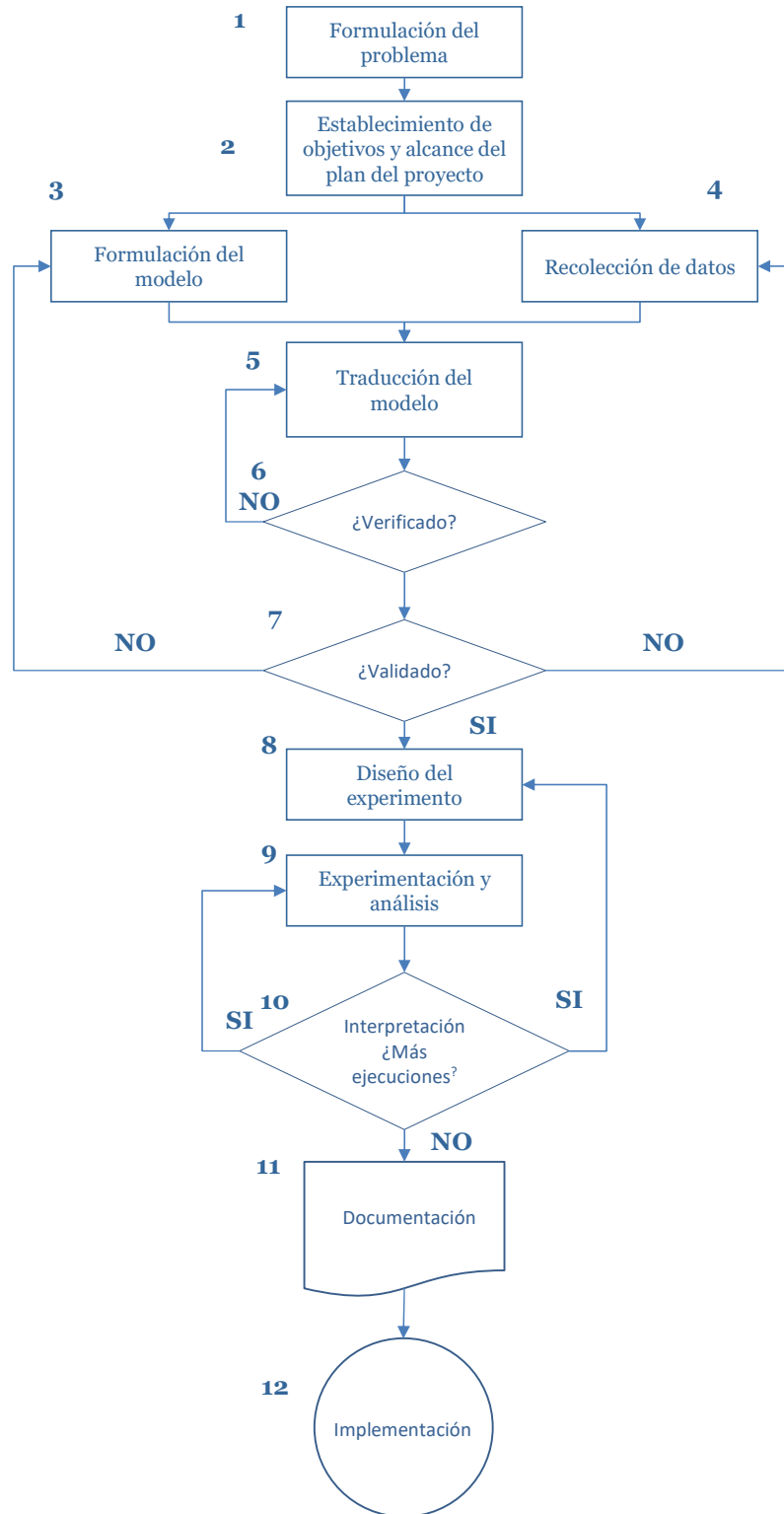


Figura 2. Etapas de un estudio de simulación. Fuente: basado en Banks et al., 1996.

4.5. Tipos de modelos de simulación. Clasificación de los sistemas

Los modelos de simulación se pueden clasificar según distintos criterios:

- » **Por el tipo de ecuaciones matemáticas** que los constituyen:
 - **Continuos**, en los que las variables cambian de forma continua para lo que se utilizan ecuaciones diferenciales que permiten conocer los valores de las variables y sus cambios en un instante de tiempo.
 - **Discretos**, en los que los cambios en las variables se representan por ecuaciones que pueden evaluarse en un punto y en los que las variables cambian de instante en instante de tiempo.
- » **Por los cambios de las variables**
 - **Estáticos**, en los que las variables de estado no cambian con respecto al tiempo, lo que hace que la representación del tiempo no sea relevante para la descripción del sistema. Se representa el sistema en un instante concreto. Este modelo a veces se denomina simulación de Montecarlo.
 - **Dinámicos**, en los que algunas de las variables cambian con respecto al tiempo. Es decir, el sistema representado evoluciona a lo largo del tiempo.
- » **Por el carácter aleatorio del comportamiento** de sus componentes o variables de estado
 - **Deterministas**, en los que el comportamiento del sistema está determinado tras definirse las condiciones iniciales y la relación entre sus componentes. No contienen variables aleatorias. Cuentan con un conjunto de entradas conocido y tendrá como resultado un conjunto único de salida.
 - **Estocásticos**, cuentan con una o más variables aleatorias como entrada y generan un conjunto aleatorio de salida. La salida se considera como una estimación de las características del sistema. Por tanto, el sistema se estudiará según las probabilidades asociadas que determinan las respuestas del sistema.

4.6. Referencias bibliográficas

Alfonso, U. M., y Carla, M. V. (2013). *Modelado y simulación de eventos discretos*. Madrid: Editorial UNED.

Anu, M. (1997). Introduction to modeling and simulation. In Proceedings of 1997 Winter Simulation Conference (pp. 7–13). Georgia, USA.

Banks, J., Carson, J. S., y Nelson, B. L. (1996). *Discrete-Event System Simulation*. (2a ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Fishman, G. S. (1973). *Concepts and Methods in Discrete Event Digital Simulation*. New York: John Wiley & Sons Inc.

García-Dunna, E. (2012). *Simulación y análisis de sistemas con promodel*. Massachusetts: Addison-Wesley.

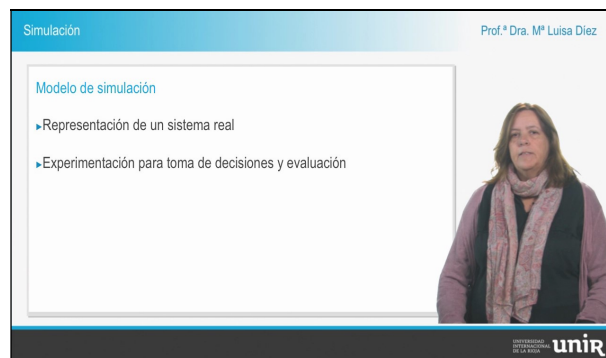
Shannon, R. y Johannes, J. D. (1976). Systems simulation: the art and science. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 6(10), 723-724.

Lo + recomendado

Lecciones magistrales

Simulación

En la siguiente lección magistral vamos a tratar las etapas y elementos de un modelo de simulación.



Accede a la lección magistral a través del aula virtual

No dejes de leer...

Teoría de modelos y simulación

Tarifa, E. E. (s. f.). Teoría de modelos y simulación. Argentina: Universidad Nacional de Jujuy.

Documento sobre introducción a la simulación.

Accede al documento a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051_TecnicasIISimulacion.pdf

Introduction to modeling and simulation

Anu, M. (1997). Introduction to modeling and simulation. In Proceedings of 1997 Winter Simulation Conference (pp. 7–13). Georgia, USA.

El siguiente artículo trata cuestiones como: ¿Qué es el modelado? ¿qué es la simulación?

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://imap.acqnotes.com/Attachments/White%20Paper%20Introduction%20to%20Modeling%20and%20Simulation%20by%20Anu%20Maria.pdf>

+ Información

A fondo

George Fishman's Professional Career

Alexopoulos, C. Goldsman, D. y Wilson, J. R. (2009). *Advancing the Frontiers of Simulation*. Nueva York: Springer.



Lee el capítulo en honor de George Samuel Fishman «George Fishman's Professional Career» en el que se resumen sus contribuciones más significativas a las disciplinas de investigación de las operaciones y las ciencias de la administración. Se da especial importancia a los logros de George para ayudar a sentar las bases en el campo de la simulación con ordenador y los avances realizados durante las últimas cinco décadas.

Accede al capítulo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://www.ise.ncsu.edu/jwilson/files/professional-career.pdf>

Bibliografía

Banks, J., Carson, J.S. y Nelson, B. L. (1996). *Discrete-Event System Simulation*. (2a ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Fishman, G. S. (2001). *Discrete-Event Simulation*. New York: Springer. Recuperado de: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4757-3552-9>

Fritzon, P. (2011). *Introduction to Modeling and Simulation of Technical and Physical Systems with Modelica*. Nueva York: John Wiley & Sons.

Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. (1998) (Jerry Banks). Wiley & Sons. Retrieved from <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471134031.html>

Law, A. M. y Kelton. W, D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. Nueva York: McGraw-Hill.

Test

1. El estado de un sistema de simulación describe:
 - A. El valor del reloj en cada instante.
 - B. El comportamiento del sistema.
 - C. Los elementos del sistema.
 - D. Ninguna de las anteriores es totalmente correcta.

2. La simulación proporciona:
 - A. Una solución analítica a un problema.
 - B. Una aproximación de la solución.
 - C. No proporciona soluciones.
 - D. Ninguna de las anteriores es verdadera.

3. El juego operacional es:
 - A. Una forma de simulación con ordenador en el que las personas forman parte del modelo.
 - B. Una forma de simulación en laboratorio en el que las personas forman parte del modelo.
 - C. Una forma de simulación con ordenador en el que las personas no forman parte del modelo.
 - B. Una forma de simulación en laboratorio en el que las personas no forman parte del modelo.

4. La recolección de datos:
 - A. Se realiza durante el desarrollo del modelo de simulación y se obtiene datos que no se modifican durante el proceso de desarrollo.
 - B. Se realiza durante el desarrollo del modelo de simulación y se obtiene datos que pueden variar según el resultado de la traducción.
 - C. Se realiza previamente al desarrollo del modelo de simulación y se obtiene datos que pueden variar según el resultado de la traducción.
 - D. Se realiza durante el desarrollo del modelo de simulación y se obtiene datos que pueden variar según el resultado de la verificación y la validación..

5. La validación de un modelo de simulación:
- A. Comprueba la corrección de la representación de los parámetros de entrada y la estructura lógica del modelo en el ordenador.
 - B. Compara el modelo con el comportamiento real del sistema y las discrepancias obtenidas sirven para mejorar el modelo.
 - C. No mejora el modelo ni detecta errores en los datos.
 - D. Ninguna de las anteriores es verdadera.
6. En una simulación, las variables de estado:
- A. Siempre toman valores discretos.
 - B. Al menos una tiene que ser continua.
 - C. Solo toman valores continuos.
 - D. Ninguna de las anteriores es verdadera.
7. En un modelo dinámico:
- A. Las variables siempre toman valores aleatorios.
 - B. Las variables toman valores continuos.
 - C. Las variables no cambian, solo lo hacen las entidades del modelo.
 - D. Las variables cambian con respecto al tiempo.
8. La duración del periodo de inicialización, el tiempo que dura la simulación y el número de simulaciones se lleva a cabo en la etapa de:
- A. Formulación del problema.
 - B. Formulación del modelo.
 - C. Recolección de datos.
 - D. Ninguna es verdadera.