



# Introducción a la simulación en Dirección de Operaciones

<b>Apellidos, nombre</b>	Cardós Carboneras, Manuel (mcardos@doe.upv.es) Guijarro Tarradellas, Ester (esguitar@upvnet.upv.es)
<b>Departamento</b>	Organización de Empresas
<b>Centro</b>	Universitat Politècnica de València



## 1 Resumen

El número de problemas reales que se puede resolver por medios analíticos es limitado, aunque nos permiten entender los mecanismos que los gobiernan. Si queremos ampliar nuestras respuestas a problemas prácticos reales podemos recurrir a la simulación, para lo cual responderemos a varias preguntas básicas:

1. ¿Qué es la simulación?
2. ¿Cuándo no conviene o necesitamos utilizar modelos de simulación?
3. ¿Cuáles son las categorías de modelos de simulación que podemos utilizar?
4. ¿Cuáles son las aplicaciones de software más adecuadas para cada categoría de simulación?

## 2 Introducción

Puede definirse la simulación (Banks et al., 2013) como la imitación del funcionamiento de un proceso o sistema del mundo real a lo largo del tiempo. Pero, ¿cuándo necesitamos recurrir a la simulación? Habitualmente los problemas que manejamos en Dirección de Operaciones tienen en común que:

- Son complejos, con múltiples relaciones de causalidad entre sus elementos.
- Incluyen numerosas variables que reflejan su estado e incluso cambian a lo largo del tiempo.
- Podemos adoptar varias decisiones, algunas de las cuales anticiparemos en nuestro análisis inicial pero otras surgirán cuando avance el trabajo detallado y conozcamos mejor el problema.
- Pretendemos que el resultado finalmente propuesto sea óptimo o al menos aceptable según diferentes criterios.

La consecuencia es que nos encontramos habitualmente ante un dilema:

- Por una parte, para poder disponer de expresiones analíticas útiles y manejables con frecuencia necesitamos asumir simplificaciones muy restrictivas del problema real. En consecuencia, las conclusiones que obtenemos pueden ser conceptualmente importantes pero de escasa aplicación al problema original.
- Por otra parte, si intentamos abordar su complejidad real, no somos capaces de obtener expresiones analíticas adecuadas para tomar decisiones. En consecuencia, no podemos anticipar la relación entre las decisiones que adoptamos y los resultados que obtenemos.

Ninguna de estas opciones parece adecuada porque nos obligan a elegir entre poder tomar decisiones y respetar la complejidad del problema real. Pero, ¿cómo se afronta este dilema en otras disciplinas experimentales? Siempre que sea posible, se prueba en laboratorios el comportamiento de modelos físicos reales. Por ejemplo, de esa forma aprendemos cómo se comportan los materiales, la forma

en que se transmite el calor y en general el comportamiento de numerosos fenómenos físicos.

Sin embargo, a veces no es posible recurrir a experimentar en un laboratorio básicamente porque:

- La escala necesaria es prohibitiva. ¿Qué tamaño e instalaciones debería tener un laboratorio capaz de recrear fielmente el clima de la península ibérica?
- El coste y/o el plazo necesarios son excesivos. ¿Cuánto costaría construir varias configuraciones de un sistema productivo para encontrar la combinación más adecuada de tecnologías, topología y procedimientos operativos?

En este último caso, una alternativa viable es desarrollar un modelo de simulación de la realidad con detalle suficiente para explicar el comportamiento que observamos y anticipar futuros comportamientos, especialmente ante las decisiones que consideramos adoptar. Justamente ese es el propósito de los modelos de simulación, que en la práctica requieren la utilización de un software adecuado para construir los modelos y un ordenador suficientemente potente para examinar su comportamiento.

Law y Kelton (2000) sistematizan las ideas anteriores en las alternativas para estudiar un sistema que se muestran en el Gráfico 1.

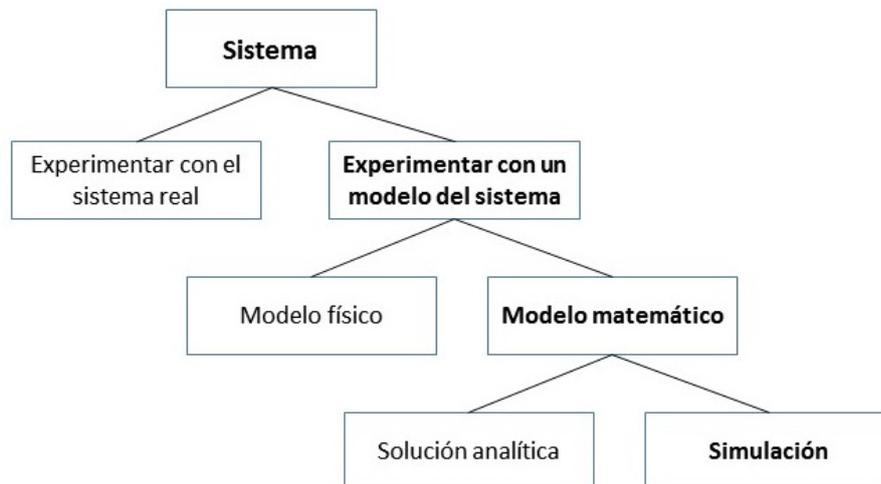


Gráfico 1. Alternativas para estudiar un sistema (Law y Kelton, 2000)

En consecuencia, recurriremos a la simulación cuando no dispongamos de soluciones analíticas apropiadas ni tampoco podamos experimentar ni con el sistema real ni con un modelo físico.



### 3 Objetivos

El propósito de este documento es que, al completar su lectura, el lector sea capaz de:

- Identificar cuando es adecuado utilizar la simulación.
- los distintos tipos de software de simulación.
- Usar JaamSim para construir y hacer funcionar un modelo básico de simulación de utilidad en la Ingeniería de Organización.

### 4 Desarrollo

#### 4.1 Pasos de una simulación

La realización de una simulación está llena de riesgos, que habitualmente llevan a proyectos mucho más costosos de lo que se esperaba o con unos resultados finales pobres. Para reducir los riesgos es muy conveniente usar una metodología que considere todas las tareas necesarias. En el desarrollo de una simulación se pueden distinguir las siguientes etapas (Banks et al., 2013):

- **Formulación del problema:** exponer el problema en el que se va a trabajar, incluyendo las asunciones que se crean oportunas.
- **Objetivos:** detallar las preguntas que deben ser respondidas, así como varios escenarios que deban ser investigados.
- **Modelo conceptual:** abstraer el sistema real en estudio mediante un modelo conceptual, formado por relaciones lógicas y matemáticas entre los componentes y la estructura del sistema; conviene que evolucione desde una versión simple hasta que alcance la complejidad apropiada.
- **Recogida de datos:** especificar los datos necesarios, su frecuencia y formato de forma que se puedan extraer de los registros existentes o bien que sea necesario establecer nuevos registros.
- **Codificación del modelo:** escribir el modelo conceptual anterior en el formato propio del software de simulación que se va a utilizar, construyendo así un modelo operacional.
- **Verificación:** comprobar que modelo operacional se comporta como se espera del modelo conceptual.
- **Validación:** determinar si el modelo conceptual representa adecuadamente al sistema real, idealmente comparando las entradas y salidas de cada uno.
- **Diseño de experimentos:** decidir para cada escenario la longitud de la simulación, el número de repeticiones (replicaciones) y la forma en que se inicializa.
- **Producción y análisis:** estimar métricas de rendimiento para cada escenario a partir de las replicaciones realizadas.
- **Ampliar producción y análisis:** decidir, a la vista de los resultados obtenidos, si es necesario aumentar el número de réplicas y escenarios.

- Documentación: describir con claridad y concisión cómo funciona el modelo, asunciones que realiza, resultados obtenidos y recomendación.
- Implantación: aplicar los resultados obtenidos al sistema real.

En los casos más sencillos no siempre se recorren formalmente todos los pasos anteriores, pero sí se toman todas las decisiones propias de cada uno aunque se haga de forma implícita. Sin embargo, las decisiones implícitas suelen pasar desapercibidas y conducir con frecuencia a errores y omisiones significativas.

## 4.2 Clasificación de los modelos de simulación

Según Law y Kelton (2000) los modelos de simulación (ver Gráfico 2) se pueden clasificar de acuerdo con tres dimensiones:

1. Incertidumbre.
  - Un modelo es **determinista** cuando se obtiene siempre el mismo resultado al repetir sus valores las variables de entrada y del sistema.
  - En caso contrario, el modelo es aleatorio o **estocástico**.
2. Estabilidad.
  - El modelo es **estático** cuando las variables que lo caracterizan (entrada, salida, sistema) no cambian a lo largo del tiempo.
  - Si por el contrario el modelo cambia a lo largo del tiempo, se dice que es **dinámico**.
3. Cambio.
  - Un modelo dinámico es **continuo** cuando al menos una variable del sistema puede cambiar en cualquier momento.
  - Un modelo dinámico es **discreto** cuando las variables del sistema sólo cambian en instantes temporales concretos como consecuencia de la aparición de un suceso (evento).

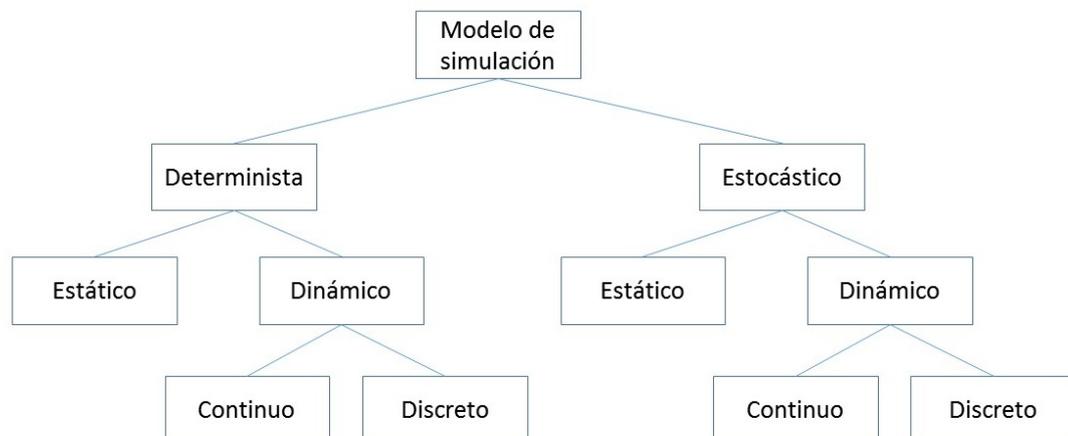


Gráfico 2. Taxonomía de los modelos de simulación (Law y Kelton, 2000)

Veamos algunos ejemplos de los tres tipos de modelos deterministas:

- Las tensiones eléctricas en un circuito con resistencias y condensadores se suelen calcular mediante un modelo determinista estático.
- Las tensiones a las que está sometida la estructura de un puente metálico por el que circulan vehículos se suelen calcular mediante un modelo determinista dinámico y continuo.
- Las unidades fabricadas en un turno por una línea de producción donde conocemos con exactitud los tiempos de procesar una unidad en cada máquina se obtienen mediante un modelo determinista dinámico y discreto.

Los mismos ejemplos anteriores se convierten en modelos estocásticos cuando consideramos características más próximas a la realidad:

- Las tensiones eléctricas en un circuito con resistencias y condensadores se calcularán mediante un modelo estocástico estático si consideramos que los valores reales de las resistencias y los condensadores tienen una distribución aleatoria, aunque en promedio puedan coincidir con los valores nominales.
- Las tensiones a las que está sometida la estructura de un puente metálico por el que circulan vehículos deben calcularse mediante un modelo estocástico dinámico y continuo si consideramos la existencia de viento variable y distintos patrones de flujo de vehículos.
- Las unidades fabricadas en un turno por una línea de producción donde son aleatorios los tiempos de procesar una unidad en cada máquina deberán estimarse mediante un modelo estocástico dinámico y discreto.

### 4.3 Selección del software de simulación

Aunque los conceptos básicos de simulación eran conocidos con anterioridad, su desarrollo no fue posible hasta la mitad del siglo XX gracias a la aparición de ordenadores capaces de manejar el elevado número de cálculos que es necesario. Además el software siempre ha sido importante:

- Inicialmente las simulaciones se realizaban desarrollando programas informáticos específicos para cada modelo con lenguajes como FORTRAN.
- Poco después se desarrollaron lenguajes específicos de simulación, acortando con ello el tiempo necesario para la construcción de los modelos. Algunos ejemplos son GPSS, SIMSCRIPT o SIMULA.
- Actualmente se dispone de software especializado capaz de especificar un modelo utilizando una interfaz gráfica o GUI (*graphical user interface*). Aunque de nuevo reducen enormemente el tiempo necesario para la construcción del modelo, sin embargo cada software suele estar especializado en un tipo de modelo de simulación.

Desde un punto de vista práctico, nos limitaremos a las aplicaciones especializadas con GUI puesto que proporcionan la mayor facilidad de uso y rapidez de desarrollo. Además, existe una relación estrecha entre el modelo de simulación elegido y el software de simulación necesario. En este sentido, los modelos estocásticos son muy

frecuentes en la Dirección de Operaciones, por lo que en esta área podemos considerar tres categorías principales de software de simulación:

- **Método de Monte Carlo.** Se centra en los modelos estocásticos estáticos. Se generan los valores aleatorios de las entradas y se calcula (con métodos deterministas) las salidas con objeto de conocer su comportamiento. En el ejemplo anterior del circuito eléctrico:
  - Se generan los valores aleatorios que adoptarían las variables de entrada (resistencias y condensadores).
  - Mediante los métodos electrotécnicos habituales se estima el valor de la tensión en diferentes puntos del circuito.
  - Un histograma de cada variable permite conocer el comportamiento del circuito ante la variabilidad de las resistencias y los condensadores.
- **Simulación continua,** centrada obviamente en los modelos dinámicos continuos. Una de las alternativas más interesantes se basa en Modelica, un lenguaje abierto para el modelado de sistemas físicos complejos en el que se basa Openmodelica, una alternativa de código abierto desarrollada por la Open Source Modelica Consortium, así como otras alternativas comerciales especializadas (Dymola, Wolfram System Modeler, SimulationX, MapleSim, Jmodelica.org, IDA Simulation Env). Estas aplicaciones permiten simular el comportamiento dinámico de sistemas tan diferentes como mecánicos, neumáticos o eléctricos.
- **Simulación discreta.** Debido a la estructura modular de Openmodelica, existen módulos que amplían su funcionalidad a la simulación discreta, pero resultan complicadas de manejar. Probablemente la alternativa más interesante de código libre es JaamSim puesto que:
  - Cuenta con un equipo de desarrollo y una comunidad activa.
  - Dispone de una GUI comparable a otras opciones comerciales, aunque carece de algunas funciones como la optimización que están presentes en algunas alternativas comerciales.
  - Dispone de los objetos necesarios para una simulación en el contexto de Dirección de Operaciones.
  - Es más rápido que los productos comerciales más conocidos (ver Gráfico 3).

Estas aplicaciones permiten simular colas, procesos, averías, rutas y transportes, por lo que son muy aplicables en los modelos de Dirección de Operaciones.

Otras opciones comerciales conocidas son Flexim, Arena, Simio y AnyLogic.

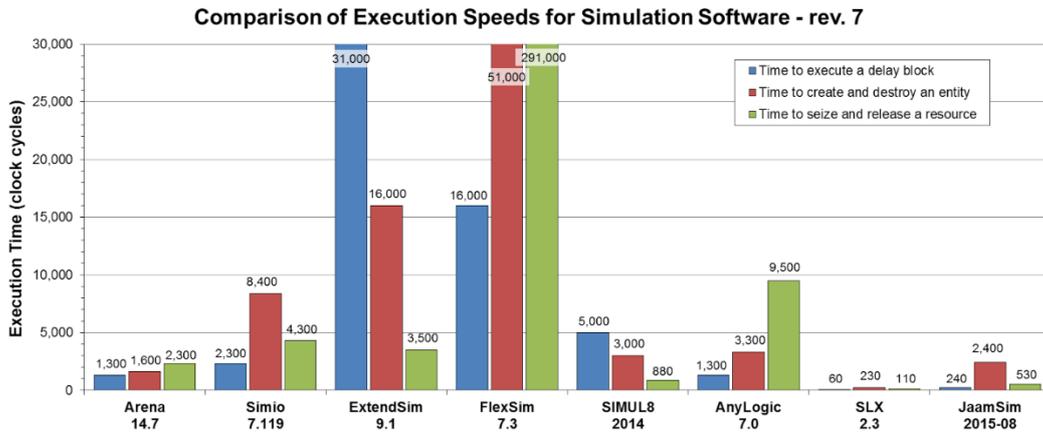


Gráfico 3. Comparación entre software de simulación ([jaamsim.com/blog.html](http://jaamsim.com/blog.html))

## 5 Cierre

A lo largo de este documento hemos visto cuando resulta útil recurrir a la simulación de un sistema y cuáles son los pasos que debemos seguir para obtener los resultados deseados.

Además hemos considerado los distintos modelos que pueden utilizarse así como el software de simulación más recomendable en Dirección de Operaciones.

## 6 Bibliografía

Banks J., Carson J., Nelson B., Nicol D.: "Discrete-Event System Simulation", Pearson Education, 2013

Law A.M.; Kelton W.D.: "Simulation Modeling and Analysis", Third Edition, McGraw-Hill, New York, 2000

[www.modelica.org](http://www.modelica.org)

[www.openmodelica.org](http://www.openmodelica.org)

[www.3ds.com/products-services/catia/products/dymola](http://www.3ds.com/products-services/catia/products/dymola)

[www.wolfram.com/system-modeler/](http://www.wolfram.com/system-modeler/)

[www.simulationx.com](http://www.simulationx.com)

[www.maplesoft.com/products/maplesim/](http://www.maplesoft.com/products/maplesim/)

[www.jmodelica.org/](http://www.jmodelica.org/)

[www.equa.se/en/ida-ice](http://www.equa.se/en/ida-ice)

[jaamsim.com/](http://jaamsim.com/)

[jaamsim.com/blog.html](http://jaamsim.com/blog.html)

[www.flexsim.com](http://www.flexsim.com)



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

[www.arenasimulation.com](http://www.arenasimulation.com)

[www.simio.com](http://www.simio.com)

[www.anylogic.com](http://www.anylogic.com)