

3 Simulación de eventos discretos

Dado que el método elegido para realizar el equilibrado de línea es la simulación de un modelo de eventos discretos, es conveniente entender previamente en que consiste este tipo de técnica. En este apartado se hará una descripción de la simulación en general y de los sistemas de eventos discretos en particular, entrando en profundidad en todos los conceptos que son útiles para nuestro proyecto.

3.1 *Introducción a la Simulación:*

La simulación es una herramienta poderosa en el proceso de diseño o aprendizaje de un proyecto, que puede utilizarse para resolver cualquier problema relacionado con un sistema real del cual se haya obtenido previamente una modelización.

3.1.1 Surgimiento

A lo largo del tiempo se han ido estudiando numerosos métodos, hasta llegar a la situación actual, en la que las simulaciones son tan realistas que pueden estudiarse con alto grado de detalle sistemas altamente complejos, de campos tan dispares como la política (tácticas militares, servicios sanitarios), la ecología (control de residuos, prevención de incendios), los negocios (análisis de existencias, política de precios), la computación (redes de ordenadores, bases de datos) o, como en el caso que nos ocupa, los sistemas de fabricación y líneas de montaje. En este apartado se hará una breve reseña histórica que ayude a comprender el porqué del surgimiento de estas técnicas y su importancia en la actualidad.

Posiblemente, uno de los primeros métodos de simulación sea el llamado *Método de Montecarlo*, desarrollado entre 1942 y 1945 por J.V. Neumann y S.Ullman. Dicho método se basa en algoritmos utilizados para simular sistemas complejos mediante la resolución de ecuaciones por métodos de aproximación aleatoria.

En 1950 ya comienzan a realizarse simulaciones de sistemas reales, como el estudio de la capacidad de líneas telefónicas, aunque es entre los años 60 y 70, con el gran impluso de los ordenadores por transistores, cuando empieza a tomar verdadero auge.

Concretamente, la simulación de eventos discretos surge en 1977, cuando J.Henriksen desarrolla un pseudocódigo para la implementación de modelos este tipo. A partir de ahí fueron surgiendo distintos lenguajes que integran nuevas funcionalidades, como animaciones o presentación gráfica de resultados, por ejemplo SIMAN, SIMULA, SLAM o CINEMA.

3.1.2 Modelado

Ya se ha mencionado que para poder simular un sistema real es imprescindible disponer previamente de un buen modelo del mismo. Un modelo es una representación de un objeto, sistema, o idea, cuyo propósito es ayudar a explicarlo, entenderlo o mejorarlo. Precisamente en el modelado reside la habilidad para analizar un problema: consiste en resumir las características esenciales del mismo, seleccionar y modificar las suposiciones básicas que caracterizan al sistema, y luego enriquecer y elaborar el modelo hasta obtener una aproximación útil. Las cualidades que debe tener un modelo para que sea realmente útil son:

- Fácil de entender por el usuario, pues en caso contrario complicará considerablemente el trabajo y manipulación del sistema.
- Dirigido a metas u objetivos concretos. Los sistemas reales suelen ser tan complejos que es necesario saber con claridad cual es el sentido del modelo. Según dicho objetivo podremos tener, incluso, diferentes modelizaciones de un mismo problema.
- Sensato en cuanto a no dar respuestas absurdas. No tiene sentido obtener un modelo que aporte una información irrelevante u obvia.
- Fácil de manipular y controlar por el usuario, la que la simulación y demás tareas en general suelen implicar variaciones o cambios en el modelo.
- Completo: Debe reflejar todos los aspectos que queden comprendidos en el sistema real.
- Adaptable mediante sencillos procedimientos de modificación y actualización, ya que el sistema, sobre todo un caso de línea de fabricación como el nuestro, suele estar sujeto a múltiples modificaciones y evoluciones durante su ciclo de vida.

Para conseguir un modelo que albergue todos estos aspectos es conveniente tener muy claros los pasos a seguir, que pueden ser los siguientes:

1. Establecer una definición clara de los objetivos.
2. Analizar el sistema real.
3. Dividir el sistema en problemas más simples.
4. Buscar analogías con otros sistemas o modelos.
5. Considerar un ejemplo numérico específico del problema.
6. Determinar las variables de interés.
7. Escribir las ecuaciones o relaciones que describen los fenómenos y relacionan las variables.
8. Si se tiene un modelo manejable, enriquecerlo. En caso contrario, simplificarlo.

Según todos los conceptos expuestos en este apartado, se puede concluir que pueden construirse modelos con características completamente diferentes. Todos estos sistemas pueden agruparse bajo los siguientes tipos:

1. Continuos o Discretos: Se tiene un sistema continuo cuando las relaciones funcionales entre las variables del sistema sólo permiten que el estado evolucione en el tiempo en forma continua. Matemáticamente, el estado cambia en infinitos puntos de tiempo. Por el contrario, se dice que el sistema es discreto cuando estas relaciones sólo permiten que el estado varíe en un conjunto finito o contable de puntos temporales.

2. Deterministas o Estocástico: Se dice que el modelo es determinista cuando el sistema no contiene ningún elemento aleatorio. En cambio, si alguno de sus componentes presenta una conducta probabilística se denomina estocástico, es decir, para valores de entrada conocidas no es posible asegurar los valores que tomarán las salidas.
3. Estáticos o Dinámicos: Un modelo es estático cuando sus variables de estado no dependen del tiempo, y dinámico cuando presentan una dependencia temporal.
4. Cerrados o Abiertos: Los sistemas cerrados no presentan ningún tipo de interacción con el ambiente que los rodea, son herméticos a cualquier influencia externa. En cambio, los modelos abiertos se relacionan con su entorno a través de entradas y salidas.

El modelo que estudiaremos será de eventos *discretos, estocástico, dinámico y abierto*.

3.1.3 Uso de la simulación

En este apartado trataremos de comprender cuando puede ser necesario o sumamente práctico utilizar una simulación para analizar un sistema. A la hora de estudiar dicho problema podemos decidir, según sean sus características y especificaciones, entre experimentar directamente con el sistema real o analizarlo a través de un modelo del mismo, ya sea físico o matemático. En caso de emplear un modelo matemático, el problema se puede resolver aplicando métodos analíticos, en cuyo caso llegaríamos a una solución exacta, o bien mediante simulación, es decir, trabajando de forma empírica pero llegando a una solución bastante óptima. Todas estas posibilidades se muestran en la siguiente figura:

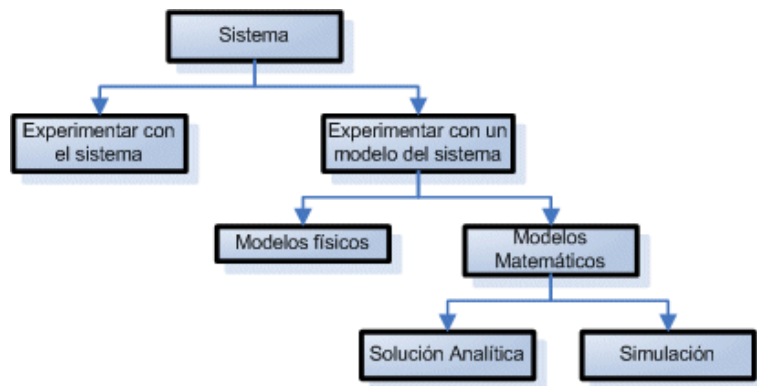


Figura 3.1 Diagrama de estudio de un sistema

A continuación trataremos de aclarar en que casos es trabajar mediante simulaciones:

- a) Cuando el sistema real todavía no existe, pues se encuentra en fase de diseño. En este caso podría llegar a ser increíblemente costoso, tanto temporal como económicamente, construirlo primero para experimentar con él después.

- b) Cuando experimentar con el sistema real puede ser complicado, costoso, peligroso o puede causar problemas.
- c) Cuando haya necesidad de estudiar el comportamiento del sistema en tiempo real. Además, permite ver su evolución no sólo en el presente, sino que también puede estudiarse el pasado o el futuro.
- d) Suponiendo que por alguno de los factores anteriores sea imposible trabajar con el sistema real, es posible que a la hora de elegir entre estudiar una solución analítica o analizarlo mediante simulación sea conveniente escoger esto último debido a que el sistema sea tan complejo que su estudio analítico es prohibitivo, ya sea por un modelado matemático imposible o por no existir solución numérica.

Por lo tanto, podemos decir que la simulación aporta múltiples ventajas, entre las que podemos destacar las siguientes:

- Una vez que el modelo está construido, se puede utilizar repetidamente para analizar cambios en el diseño o probar diferentes políticas de fabricación.
- Suele ser menos costoso obtener datos de un proceso de simulación que de un sistema real, ya que los programas informáticos encargados de hacerlo suelen realizar recopilaciones de cambios de estado o estadísticas del sistema.
- Los métodos de simulación son más fáciles de aplicar que los analíticos, gracias a las potentes herramientas diseñadas para tal fin.
- Los modelos analíticos normalmente requieren asumir muchas simplificaciones para hacerlos matemáticamente tratables, mientras que los modelos de simulación no necesitan tantas restricciones.
- El entorno en el que se va a incluir el sistema puede ser controlado por el usuario.

No obstante, también surgen ciertos inconvenientes que habrá que sopesar a la hora de decidir entre un método de estudio u otro:

- Es una técnica imprecisa, por ser aproximada, ya que lo que se estudia es un modelo y no el sistema real. Por muy completo que este sea, es complicado que abarque absolutamente todos los aspectos.
- Aumentar la precisión implica elevar también la complejidad del modelo. Esto supone mayores costes de diseño o computacionales.
- Para obtener una visión real, es posible que sea necesario realizar numerosas ejecuciones de la simulación, lo que implica un mayor coste de operación.
- Los usuarios que estén acostumbrados a utilizar la simulación pueden despreciar el uso de técnicas analíticas incluso en situaciones en las que estas últimas son suficientes o más apropiadas.

Como conclusión queda mencionar que la simulación se debe usar cuando el modelo no se puede resolver por técnicas analíticas, o cuando las hipótesis simplificativas del modelo analítico no reflejan suficientemente el sistema real. Además, se puede considerar una herramienta muy útil en el análisis de todo tipo de procesos y tareas de diseño y operación de sistemas complejos.

3.2 Simulación de eventos discretos:

Los sistemas dinámicos de eventos discretos son, actualmente, los más estudiados. Se caracterizan porque las variables de estado, que definen el estado del sistema en cada momento, van cambiando únicamente en un conjunto discreto de instantes de tiempo.

Este comportamiento discreto del sistema permite la implementación del mismo en un programa de ordenador mediante una lista de sucesos futuros, un reloj que salte en el tiempo hacia el siguiente suceso y unos acumuladores estadísticos que actualicen las variables de estado y las de salida. Se trata de realizar una historia artificial del sistema a partir de las simulaciones del modelo para que, de esta forma, se pueda comprobar su correcto funcionamiento.

Las etapas principales en un proceso de simulación de eventos discretos como el que nos ocupa son las siguientes:

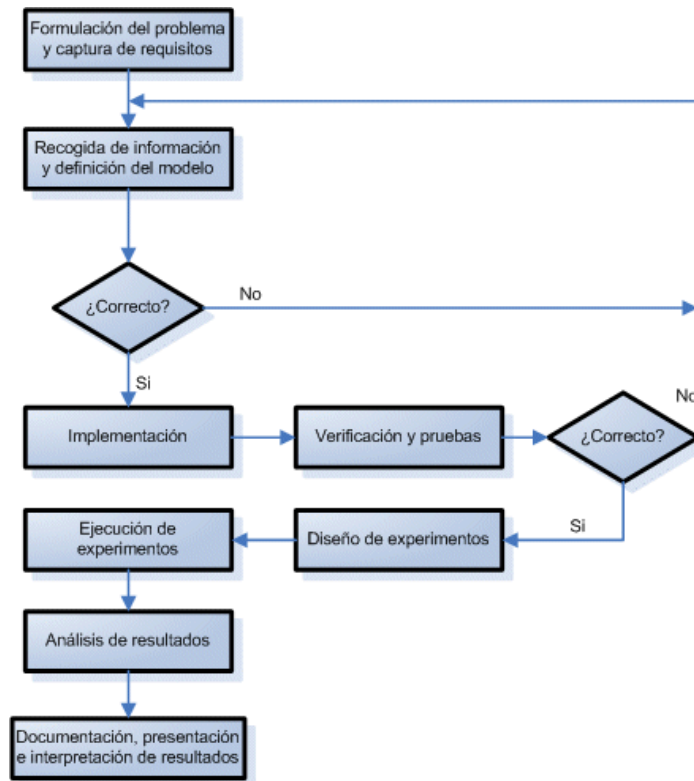


Figura 3.2 Etapas de un proyecto de simulación

3.2.1 Componentes de una simulación

Para estudiar un sistema de eventos discretos, es necesario dominar primero una serie de conceptos que iremos exponiendo en este apartado.

- **Entidades:** Son componentes que se mueven, cambian de estado e interaccionan con otras entidades. Existen dos tipos fundamentales: las temporales, que permanecen en el sistema sólo por tiempo limitado, y las permanentes, que se encuentran siempre en el sistema. Por ejemplo, en un sistema aeronáutico como el que estamos tratando, los procesos serían entidades permanentes, pues son internos al sistema, y los aviones temporales, considerando que su estado a la entrada es un conjunto de piezas sin procesar y a la salida es un producto terminado.
- **Atributos:** Se denominan así a las características de las entidades, usadas para describirlas y diferenciarlas. Todas las entidades de la misma clase tienen los mismos atributos, pero toman diferentes valores para cada entidad concreta, es decir, se pueden considerar como variables locales de cada entidad. Estos campos se definen en la simulación y se asignan durante la misma. Algunos ejemplos de atributos podrían ser el instante de llegada al sistema, el nombre o el tiempo de proceso.
- **Variables:** Reflejan características del sistema de forma global, es decir, cada variable es única para todo el modelo. No van asociadas a las entidades, aunque pueden ser modificadas por ellas. Pueden estar predefinidas por el software de simulación o ser establecidas por el usuario. Serían variables, por ejemplo, el número de piezas entrantes en el sistema o el tiempo total de simulación.
- **Recursos:** Son un tipo especial de entidad, utilizados por otras entidades para realizar una acción. Una entidad solicita un recurso. Cuando este se le asigna, lo utiliza y posteriormente lo libera. Se podrían considerar recursos el personal (operarios), los equipos (maquinaria, medios de transportes) o el espacio físico (almacenes).
- **Colas:** Lugar donde esperan las entidades cuando no pueden moverse, por ejemplo, cuando los recursos que quieren utilizar no están disponibles. Se pueden considerar infinitas, si no hay limitación de entidades esperando, o ser definidas con una capacidad finita para modelar el espacio físico.
- **Actividades:** Funciones que realizan los recursos sobre las entidades. Toda actividad debe tener una duración definida, empírica o estocástica, aunque también pueden ser definidas con duración ficticia (0). En cada una de ellas suelen darse cita una entidad con uno o varios recursos. Las tareas realizadas en cada proceso o ruta serían actividades de nuestro sistema.
- **Sucesos:** Hechos que ocurren en un determinado instante de tiempo y que dan lugar a cambios en el estado de una entidad o del sistema. Pueden ser endógenos, si se dan por condiciones propias del modelo, o exógenos, si las causas son externas al mismo. Serían sucesos la llegada de una nueva pieza, la finalización de una actividad, la asignación de un recurso, etc. Hay que tener en cuenta, además, que durante una actividad no se puede dar ningún suceso.