

2. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN

2.1 Definiciones de simulación

El uso moderno del término Simulación se debe a Von Neumann y Ulman cuando, tras la Segunda Guerra Mundial, definieron como *método de Monte Carlo* a la técnica matemática que resolvía ciertos problemas físicos (como la difusión aleatoria de los neutrones) que resultaban costosos de realizar experimentalmente y difíciles de resolver analíticamente. Los métodos de Monte Carlo consisten en utilizar el muestreo estadístico para generar soluciones a las ecuaciones diferenciales que gobiernan ciertos sistemas físicos. Con la llegada de los ordenadores de alta velocidad a comienzos de los 50, la simulación alcanza otro significado al poderse experimentar sobre modelos matemáticos que describan cualquier sistema real complejo.

La simulación mediante ordenador fue introducida en las universidades en los años 60, y los libros y publicaciones sobre el tema aparecieron en la misma época. El carácter multidisciplinar de la simulación es evidente por el hecho de que el tema se trata por diferentes departamentos en distintas universidades del mundo.

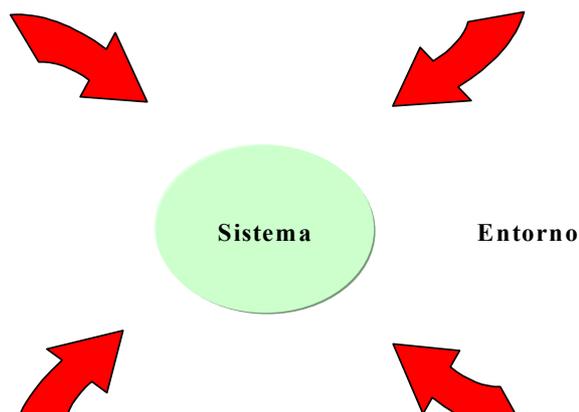
Son varias las definiciones dadas por los científicos al término Simulación dependiendo del enfoque que se utilice. Churchman ofrece una definición muy estricta del término:

x simula a y si: (i) x e y son sistemas formales, (ii) y se toma como sistema real, (iii) x se toma como una aproximación del sistema real, y (iv) las reglas de validación de x están libres de errores

En general se suele utilizar una definición menos precisa pero más práctica. La definición dada por Shubik es más general y admitida por los científicos:

La simulación de un sistema consiste en el funcionamiento de un modelo o simulador, que es una representación del sistema a estudiar. El modelo permite manipulaciones que serían imposibles, demasiado costosas o impracticables realizar sobre el sistema real. El funcionamiento del modelo puede ser estudiado para inferir propiedades respecto al comportamiento del sistema real o de sus subsistemas

Un *sistema* se define como un grupo de objetos que se encuentran relacionados por algún tipo de interacción o interdependencia con el fin de cumplir un propósito determinado. Un ejemplo de esto sería una cadena de montaje dentro de una fábrica, donde cada máquina es una entidad independiente de las demás pero relacionada con ellas para conseguir el objetivo de obtener el producto final.



Un sistema a menudo está afectado por cambios que se producen fuera de él. Estos cambios se denominan *entorno* del sistema. A la hora de modelar el sistema es necesario definir los límites entre dicho sistema y su entorno. Esta decisión puede depender del propósito del estudio que se vaya a realizar.

Los sistemas pueden ser de dos tipos: *discretos* o *continuos*. Los sistemas discretos son aquellos en que las variables que definen el estado del mismo cambian en distintos instantes de tiempos (por ejemplo, un proceso de fabricación en serie, donde las piezas llegan cada cierto tiempo y las máquinas cambian de estado cuando inician y terminan de procesar una pieza). En los sistemas continuos las variables de estado cambian de forma continua a lo largo del tiempo (por ejemplo, el movimiento de los vehículos en una red urbana, donde la posición y velocidad pueden cambiar de forma continua respecto al tiempo). Normalmente los sistemas son híbridos pues existen variables de los dos tipos, pero en general en cada sistema tiende a dominar uno de los tipos anteriores.

Diversos ejemplos de sistemas son los siguientes:

- Fábricas, cadenas de montaje.
- Servicios públicos, bancos, hospitales, oficinas,...
- Logística y distribución.
- Sistemas de ordenadores y de telecomunicación.
- Operaciones militares.
- Obras de infraestructura.
- Economía de una región.

2.2 Modelos de simulación

La definición de *modelo* que ofrece la Real Academia de la Lengua Española en una de sus acepciones es bastante aceptada en simulación: *Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento*. La ventaja que ofrece un modelo es la posibilidad de experimentar sin modificar las condiciones del sistema, siendo a veces su realización imposible o excesivamente costosa, e incluso puede que el sistema que se desea analizar no exista por ser un estudio de diseño.

Cuando se habla de la palabra modelo, la mayoría de la gente piensa en una maqueta de un coche en un túnel de viento, en la cabina de vuelo desconectada del avión o en una miniatura de un petrolero en una piscina. Estos son ejemplos de modelos *físicos o icónicos*, donde existe una semejanza física entre el sistema y el modelo. Este tipo de modelos no son de interés en el ámbito de la investigación operativa, aunque a veces se han desarrollado modelos a escala en producción como por ejemplo en un sistema de manejo de materiales. Los modelos que interesan en este estudio son los *matemáticos o lógicos*, donde el sistema se representa mediante relaciones lógicas y cuantitativas. A modo de ejemplo, el diagrama de flujo de un programa representa de forma simbólica la relación lógica de un sistema. Un modelo de programación lineal puede ser otro ejemplo de la representación matemática de los elementos del sistema.

Una vez construido un modelo matemático que representa el sistema, es necesario examinarlo para poder encontrar las respuestas a las preguntas que interesen de dicho sistema. Si el modelo matemático es simple, se podrá encontrar una solución analítica del mismo, que será la mejor solución para las variables de salida que miden los objetivos del sistema. A veces no es posible encontrar soluciones analíticas del sistema por la complejidad del modelo matemático, o bien no es posible plantear un modelo matemático válido por la complejidad del sistema. En tales casos el modelo debe estudiarse mediante simulación, es decir, planteando un modelo con una serie de datos de entrada y obteniendo valores de las variables de salida.

Los modelos de simulación, como ya se ha comentado, son todos modelos matemáticos, pero es interesante realizar una clasificación de los mismos según su comportamiento:

- *Discretos o Continuos*: De igual manera que se definieron los sistemas discretos y continuos, dependen de las variables del modelo, en especial de la variable que mide el tiempo. En un proceso químico, la temperatura cambia de forma continua en el tiempo, mientras que en los modelos de colas los valores de las variables cambian en ciertos instantes de tiempo. Hay que hacer notar que un modelo discreto no siempre se usa para modelar un sistema discreto ni viceversa.
- *Estocásticos o Deterministas*: Si en un modelo de simulación no existen elementos aleatorios, se denomina determinista. Una vez que se establezcan los valores de las variables de entrada y las relaciones en un modelo determinista, queda completamente definido dicho sistema para encontrar la solución al mismo. Sin embargo muchos sistemas deben ser modelados utilizando variables de entrada aleatorias, dando lugar a los modelos estocásticos. Un modelo de un supermercado, donde la llegada de los clientes sigue una distribución estadística es un ejemplo de modelo estocástico, frente a un sistema de fabricación flexible, donde en condiciones normales los tiempos de procesado no varían.
- *Estáticos o Dinámicos*: Un modelo estático representa un sistema donde no interviene el tiempo o no tiene valor esencial. En un modelo Dinámico se representa la evolución del sistema a lo largo del tiempo. Los modelos de Monte Carlo son estáticos frente a los modelos dinámicos que representan los transportes de piezas en fabricación.

Los modelos de simulación que centran la mayor atención de los científicos son discretos, estocásticos y dinámicos, denominándose *modelos de simulación de eventos discretos*.

2.3 Campos de aplicación de la simulación

La disponibilidad de lenguajes específicos de simulación, ordenadores de elevada velocidad de cálculo, con una disminución del coste de operación, y los avances en métodos de modelado y simulación han permitido que ésta sea una de las herramientas más ampliamente utilizadas tanto en la investigación operativa como en el análisis de sistemas.

Las técnicas de simulación se pueden utilizar por los siguientes motivos:

- La simulación permite el estudio y la experimentación de las interacciones internas dentro de un sistema complejo.
- Se pueden observar y estudiar cambios producidos en el sistema. Estos cambios pueden ser del entorno, organizativos o de información.
- El conocimiento adquirido en el diseño del modelo que se va a simular permite sugerir mejoras en el sistema que se está investigando.
- Cambiando las entradas al modelo durante la simulación se puede ver cómo va evolucionando su respuesta, así como estudiar qué variables son más importantes y cómo interactúan.
- La simulación permite comprobar soluciones obtenidas por procedimientos analíticos.
- Se puede experimentar con nuevos diseños y políticas de uso antes de la implementación en la realidad y, así, preparar para lo que pueda pasar.

Los campos de aplicación de la simulación son diversos. En lugar de mostrar una lista exhaustiva de dichas aplicaciones, se van a enumerar algunas aplicaciones representativas:

- *Sistemas de Computación*: redes de ordenadores, componentes, programación, bases de datos, fiabilidad,...
- *Fabricación*: manejo de materiales, líneas de montaje, equipos de almacenamiento, control de inventario, mantenimiento, distribución en planta, diseño de máquinas,...
- *Negocios*: análisis de existencias, política de precios, estrategias de marketing, estudios de adquisición, análisis de flujo de caja, predicción, alternativas del transporte, planificación de mano de obra,...
- *Gobierno*: armamento y su uso, tácticas militares, predicción de la población, uso del suelo, prevención de incendios, servicios de policía, justicia criminal, diseño de vías de comunicación, servicios sanitarios,...

- *Ecología y Medio Ambiente*: contaminación y purificación del agua, control de residuos, contaminación del aire, control de plagas, predicción del tiempo, análisis de seísmos y tormentas, exploración y explotación de minerales, sistemas de energía solar, explotación de cultivos,...
- *Sociedad y Comportamiento*: estudios de alimentación de la población, políticas educativas, estructuras organizativas, análisis de sistemas sociales, sistemas de asistencia social, administración universitaria,...
- *Biociencias*: rendimiento en el deporte, control de epidemias, ciclos de vida biológicos, estudios biomédicos,...

La lista anterior muestra algunos de los campos de aplicación y sugiere la gran utilidad de la simulación para ayudar a resolver un amplio rango de problemas significativos. Como conclusión se puede asegurar que la simulación es una técnica efectiva para validar sistemas, planes o políticas a desarrollar antes de incurrir en elevados costes por el desarrollo de prototipos, tests de campo o sistemas reales. Los gestores ven cada vez más la simulación como una técnica atractiva en la ayuda a la toma de decisiones.

2.4 Ventajas e inconvenientes de la simulación

Aunque la simulación es una herramienta adecuada para el análisis de muchos sistemas, es preciso no obstante considerar previamente las ventajas y desventajas que reporta.

Las principales **ventajas** de la simulación son las siguientes:

- Una vez que el modelo está construido, se puede utilizar repetidamente para analizar cambios en el diseño o diversas políticas.
- Suele ser menos costoso obtener datos de un proceso de simulación que de un sistema real.
- Los métodos de simulación son más fáciles de aplicar que los métodos analíticos.
- Los modelos analíticos normalmente requieren asumir muchas simplificaciones para hacerlos matemáticamente tratables. Los modelos de simulación no tienen estas restricciones.
- El entorno en el que se va a incluir el sistema puede ser controlado por el usuario.
- Si se produce algún fallo en el diseño del sistema es más barato corregirlo en un modelo simulado que en un sistema real.

No obstante, la simulación también presenta una serie de **inconvenientes**:

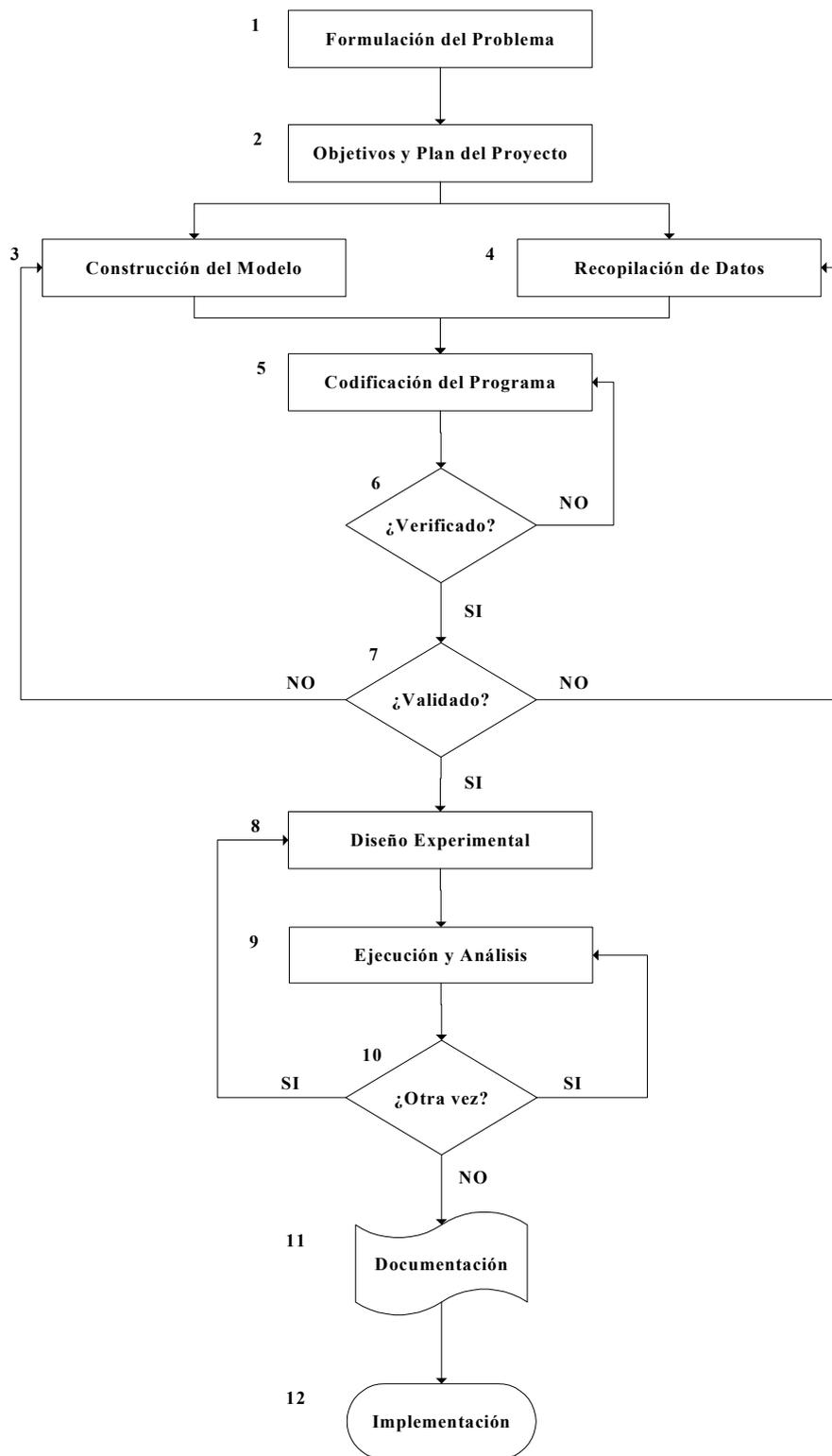
- Es una técnica imprecisa, por ser aproximada. Se estudia un modelo, no el sistema real.
- Aumentar la precisión implica aumentar la complejidad del modelo. Esto implica un mayor coste de diseño.
- Pueden ser necesarias numerosas ejecuciones de la simulación, lo que implica un mayor coste de operación.
- Los usuarios que están acostumbrados a utilizar la simulación pueden despreciar el uso de técnicas analíticas aun en situaciones en las que estas últimas son apropiadas y suficientes.

La pregunta de un analista es: ¿cuándo usar los modelos analíticos y cuándo los modelos de simulación?. En general la simulación se debe usar cuando el modelo no se puede resolver mediante técnicas analíticas, o cuando las hipótesis simplificadoras del modelo analítico no refleja suficientemente el sistema real.

En resumen, la simulación se puede considerar una herramienta muy útil en el análisis de todo tipo de procesos y tareas de diseño y operación de sistemas complejos.

2.5 Etapas de un proyecto de simulación

Los pasos que hay que realizar para desarrollar un proyecto de simulación pueden seguir el siguiente diagrama de flujo:

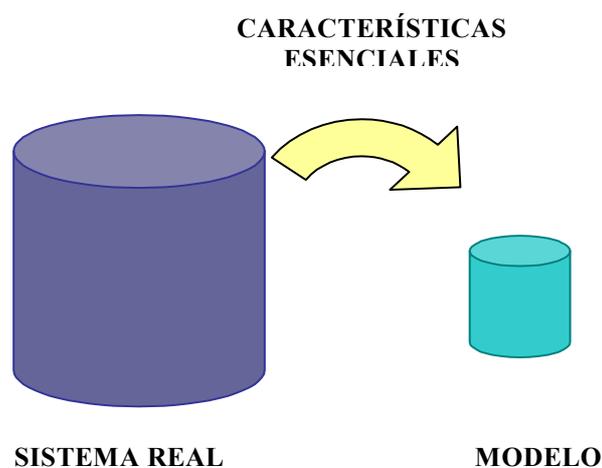


Una explicación más detallada de cada paso se da a continuación:

1.- *Formulación del problema.* Todo estudio debe comenzar con una definición del problema, acotándolo tanto física como temporalmente. En este momento el analista debe conocer perfectamente todos los aspectos del sistema que va a estudiar. Hay que tener en cuenta que hay muchos casos en los que conviene reformular el problema a medida que se avanza en su estudio.

2.- *Establecimiento de los objetivos y plan del proyecto.* Los objetivos indican las cuestiones que se van a estudiar en la simulación. En este punto es donde se determina si la simulación va a ser una herramienta apropiada o no. Si se decide que sí es apropiada entonces sería recomendable tener en cuenta otras alternativas distintas que pudieran ser utilizadas como un método de evaluación o verificación. Para terminar el plan del proyecto es necesario tener en cuenta su coste, el número de personas involucradas en el mismo y el número de días que llevará realizar cada fase del proyecto.

3.- *Construcción del modelo.* La construcción del modelo es quizás la etapa menos científica y más "artística" pues no existe un guión general. Para la formulación del modelo de simulación es necesario recoger las características esenciales del sistema objeto de estudio, seleccionar y modificar de forma adecuada suposiciones básicas que



caracterizan el sistema y, entonces elaborar el modelo para conseguir unos resultados que, aunque sean aproximados, resulten útiles. El modelo deber ser simple (El 80% de un sistema se reduce en muchos casos al 20% de sus elementos), flexible (capaz de incorporar nuevos elementos con cierta facilidad), efectivo (puede alcanzar los objetivos) y eficiente (el tiempo de computación que emplee en alcanzar soluciones sea razonable). La construcción del modelo debe ser progresiva, comenzando por un modelo simple para ir aumentando su complejidad poco a poco. En ningún caso el resultado final debe ser un modelo tan complejo que sea computacionalmente ineficiente.

Para construir el modelo, inicialmente se especifican las variables del modelo. Las variables de un modelo se dividen en *exógenas* o de entrada, que son externas al modelo y existen independientes del modelo, y *endógenas* o de salida, que son propias del modelo y dependen de la estructura del mismo y de las variables exógenas. Las variables exógenas se pueden dividir a su vez en *controlables* o de decisión e *incontrolables* o parámetros del modelo. En el ejemplo de la entidad bancaria, variables exógenas controlables serían el número de cajeros abiertos para atender a los clientes en cada instante y el número de empleados, mientras que variables exógenas incontrolables serían el número máximo de cajas disponibles, los tiempos entre llegadas de los clientes o los tiempos de atención a los clientes. Algunas variables endógenas serían el número de clientes esperando o el tiempo de ocupación de los empleados. Además de definir las variables del modelo, hay que definir el conjunto de restricciones sobre las variables del mismo. Por ejemplo, el número de cajeros abiertos no puede exceder al número máximo de cajas, ni al total de empleados disponibles. Finalmente y para evaluar la efectividad del sistema, se han de identificar las funciones objetivos y las variables que miden las mismas. Por ejemplo, un objetivo a alcanzar en nuestro modelo es minimizar los tiempos de espera de los clientes en los cajeros. Sin embargo, esto puede colisionar con el objetivo de maximizar el tiempo de ocupación de los empleados del banco. En estos casos se puede realizar un análisis multi-objetivos o bien ponderar ambos objetivos en una única función.

Los modelos de simulación, como ya se ha comentado, son de tipo lógico y por tanto se han de representar de forma simbólica. Las especiales características de un modelo dinámico de eventos discretos implica que los diagramas de flujo propios de un programa de ordenador no sean apropiados. Para expresar simbólicamente los modelos de simulación de eventos discretos se suelen utilizar dos herramientas: los *grafos de eventos* y los *diagramas de ciclos de actividades*. Los primeros utilizan un enfoque basado en sucesos, reflejando los sucesos del sistema, la relación entre los mismos y la actualización de las variables de estado. Mientras que los segundos utilizan un enfoque basado en actividades, mostrando la secuencia de operaciones que realiza cada elemento que interviene en el modelo a su paso por el mismo. Ambas herramientas de modelado se analizarán en detalle más adelante con varias ilustraciones.

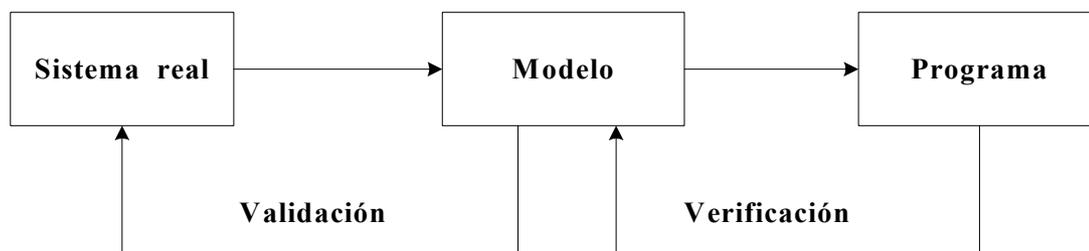
4.- Recopilación y preparación de los datos. Este paso suele producirse simultáneamente con la propia construcción del modelo. No obstante, como la recopilación de los datos necesita un porcentaje bastante grande del tiempo total del proceso de simulación, es necesario comenzar cuanto antes. Los objetivos planteados en la primera etapa marcan en gran medida los tipos de datos que son necesarios recopilar. Por ejemplo, se pueden recoger las distribuciones de los tiempos de esperas en la entidad bancaria a estudiar para varios valores de las variables controlables, de forma que luego permitan validar la simulación. Otros datos se refieren a variables incontrolables como las distribuciones de los tiempos de llegadas o de los tiempos de atención al cliente.

A la hora de utilizar los datos en el modelo, pueden ser considerados como *deterministas* o *estocásticos*. En el primer caso, se conocen las distribuciones con certeza. Sin embargo, en el segundo caso, los datos se pueden incluir en el modelo de dos formas: usando la muestra de datos para representar la distribución de probabilidad, o determinar una distribución probabilística teórica que se aproxime bien a la muestra para usarla en el modelo. Hoy en día, los programas de simulación suelen incorporar una aplicación de análisis de datos de entrada como apoyo a los analistas.

5.- Codificación del programa. La mayoría de los sistemas reales son tan complejos que los modelos requieren una gran cantidad de información y una elevada capacidad de operación. Por este motivo el modelo que se desarrolle debe ser programado en un ordenador. El analista del sistema debe decidir si realiza el programa en un lenguaje de propósito general, FORTRAN, C, Pascal, Basic, o utiliza algún lenguaje específico de simulación como SIMAN o Arena. Los primeros son más conocidos y accesibles para los programadores, necesitando en general menos tiempo de ejecución. Sin embargo, un programador de lenguajes de simulación codifica el modelo en menos tiempo que si utiliza lenguajes de propósito general. Además, los lenguajes orientados a la simulación suelen incorporar un conjunto de herramientas que facilita la labor del analista y programador, como por ejemplo un analizador de datos de entrada y de salida o un animador gráfico. Los lenguajes de simulación que llevan integrados estos módulos suelen denominarse herramientas de simulación.

6.- Verificar el programa. La verificación del programa consiste en comprobar que el programa está libre de errores y de acuerdo al modelo. Esta operación se puede realizar manualmente, gráficamente o mediante un test con soluciones ya conocidas.

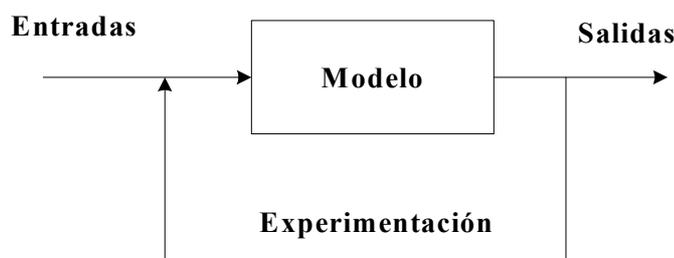
7.- *Validar el modelo.* La validación del modelo comprueba si el modelo de simulación es una buena aproximación del sistema a estudiar. Se dice que un modelo es válido si sus valores de medida se corresponden con los datos recogidos del sistema real (experimentos de campo). El modelo también se puede validar mediante una serie de métodos específicos como el *Test de Turing* o el *Método Delphi*.



8.- *Diseño experimental.* El objetivo en el diseño de los experimentos es fijar los valores de los parámetros y la configuración de la simulación de forma que la información que se desea obtener se realice con el mínimo número de simulaciones posibles. Existen dos enfoques para realizar el diseño de los experimentos:

- Identificar el conjunto de factores que afectan a las variables de salida y ejecutar el experimento con valores concretos de los mismos. Se usan técnicas estadísticas para discernir si los factores seleccionados afectan a las variables de salida. Por ejemplo, en la cola de un supermercado se definen dos factores: el número de cajeros y el porcentaje que dedica cada uno de ellos a llenar las bolsas. Se definen tres niveles para cada factor y se utilizan como variables de salida la espera de los clientes en las colas y la utilización de los cajeros. Se decide ejecutar nueve veces cada uno de los ocho experimentos y determinar la combinación de factores con menor coste mediante análisis de varianza.
- Buscar la mejor solución para las variables de decisión o factores mediante los experimentos de simulación. Una de estas técnicas consiste en encontrar una función que describa la relación entre las variables de decisión y las variables que miden el comportamiento del sistema. Son métodos iterativos, donde se inicia con un conjunto de valores sobre las variables de decisión que se van modificando mediante métodos de búsqueda locales. En el ejemplo del supermercado, se inician ambos factores con los valores mínimos y se ejecuta la simulación. En las siguientes simulaciones se modifican levemente los valores para buscar la dirección de máximo descenso.

9.- Ejecución de la simulación y análisis de los resultados. En este paso se obtienen los valores de las variables de salida del modelo y que determinan las prestaciones del sistema que se está simulando. Se aportan una serie de entradas al modelo y se comprueba si lo que se obtiene es lo que realmente se desea o, por el contrario, hay que cambiar las entradas o el modelo mismo. Se produce así un proceso de realimentación.



El análisis de los resultados depende de los objetivos que se estudien y de los factores que definen el problema: si el comportamiento es absoluto o se comparan diferentes sistemas, si el problema es de horizonte finito (transitorio) o en régimen permanente, y si el tamaño de la muestra es fijo o es secuencial. El análisis de resultados se realiza mediante diferentes métodos de estudio de datos (métodos estadísticos clásicos, de comparaciones múltiples, de ordenaciones múltiples, secuenciales, regenerativos,...) que suelen incorporarse en las herramientas de simulación.

10.- ¿Más simulaciones? En función de los resultados de las simulaciones que ya se han completado, el analista decide si son necesarios más experimentos o si, por el contrario, las ya completadas son suficientes.

11.- Documentación del programa y presentación de los resultados. Habrá que documentar el programa por la posibilidad de que posteriormente vaya a ser utilizado por otros analistas, distintos de los que lo desarrollaron. La presentación de resultados se realizará en función del tipo de problema que se resuelve y de para quién vaya dirigida esta documentación:

- Si el problema es de *tipo no recurrente*, las decisiones son únicas, el horizonte de tiempo es largo y los resultados deben ser analizados por un grupo reducido de expertos; por ejemplo estudiar la localización de un supermercado en una ciudad.

- Si el problema es de *tipo recurrente*, las decisiones son rutinarias, a corto plazo y los resultados se enfocan hacia un grupo mayor de usuarios de nivel medio; por ejemplo los mensajes que se les muestran a los operadores de una fábrica.

12.- Implementación. El éxito de la fase de implementación depende de lo bien que se realicen las fases anteriores del proyecto. Si el modelo y las suposiciones iniciales son correctas entonces la implementación se realizará con éxito.

Con estas etapas queda completamente definido un proyecto de simulación. Este suele ser el orden de ejecución aunque algunas de ellas pueden ir en paralelo como la formulación del modelo y la recogida de datos, y a veces hay que volver a ejecutar fases anteriores, por ejemplo, si el modelo no es válido se suelen recoger más datos y reconstruir el modelo, o si el programa no se ajusta al modelo se suele modificar dicho programa.

2.6 Programa de simulación ARENA

En el mercado existe una amplia variedad de software para simulación de sistemas. Un buen número de ellos trabajan en entornos “duros”, en los que la definición de los modelos se realiza mediante herramientas matemáticas configurables (matrices, funciones, etc.), y en los que el tiempo de aprendizaje es importante. No obstante cabe destacar que son de una gran flexibilidad, lo que permite su aplicación a una gran cantidad de ámbitos.

El aumento de la capacidad de procesamiento de los computadores, unido a las cada vez mayores posibilidades gráficas de los mismos, ha contribuido a la aparición de software de simulación más “amigable”, que facilita al usuario el proceso de elaboración, validación y experimentación de modelos mediante el uso de herramientas gráficas dentro de un entorno de ventanas. Dentro de este grupo se ubica ARENA desarrollado por ROCKWELL SOFTWARE.

ARENA combina la facilidad de uso de los simuladores de bajo nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación. ARENA se nos presenta como una Herramienta “Orientada al Proceso”, por cuanto permite la descripción completa de la experiencia que una entidad desarrolla al interior del sistema conforme fluye a través de él.



La orientación al proceso asoma como una forma más natural de descripción de un sistema en contraposición con la orientación al evento donde se establece una descripción detallada de cada uno de ellos y se debe mantener un control omnipresente de las entidades, variables, eventos, etc. (tal y como lo experimentamos durante el desarrollo de nuestra simulación “a mano”).

Por ejemplo, desde la perspectiva de la orientación al proceso, la descripción del mismo sistema cliente servidor estaría estructurada en los siguientes pasos:

1. Creación de una nueva entidad (cliente)
2. Guardar la hora actual en uno de los atributos de la entidad para poder calcular el tiempo en fila y el tiempo total de permanencia en el sistema.
3. Posicionarse al final de la fila
4. Esperar en fila hasta que el servidor se desocupe (si el servidor estaba desocupado esta espera será 0 u.t.)
5. Salir de la fila y utilizar el servidor
6. Calcular el tiempo en fila
7. Permanecer utilizando el servidor por el lapso de tiempo requerido
8. Liberar el servidor (para que otras entidades puedan utilizarlo)
9. Incrementar el contador de entidades procesadas y calcular el tiempo de permanencia en el sistema
10. Eliminación de la entidad

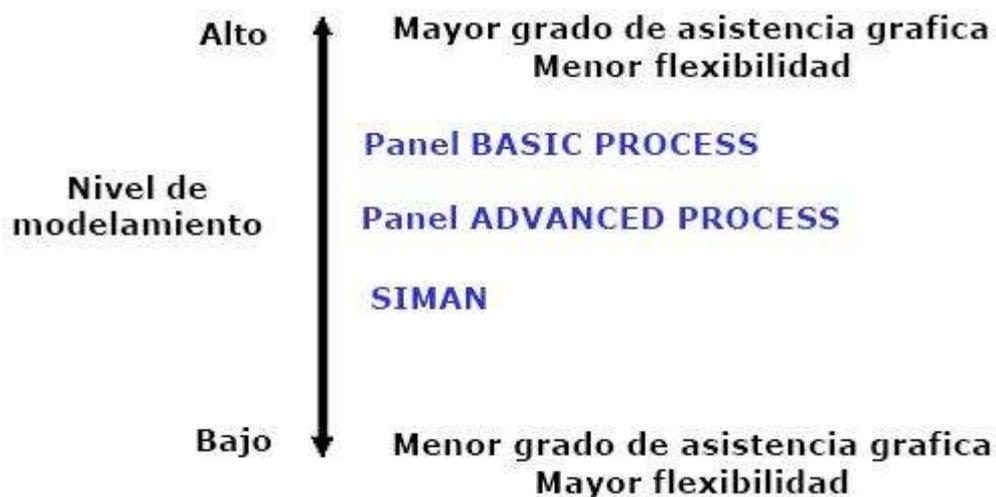
Sin embargo, la ejecución de un modelo de simulación construido a través de la orientación al proceso es llevada a cabo siguiendo el paradigma de la orientación a eventos.

En efecto, aún cuando durante el modelado no se pueda observar, la definición de eventos, cálculos de variables, actualización de lista de eventos, avance del reloj de simulación, etc. están presentes “*tras bambalinas*” siendo todas ellas desarrolladas internamente por el software.

Debido a su poder y simplicidad la lógica de la orientación al proceso se ha hecho muy popular y será la que utilizaremos de ahora en adelante (dado que ARENA la utiliza). Sin embargo es conveniente reconocer que es lo que está operando tras esta orientación al proceso.

Tal es así que, ARENA permite descender hasta la lógica misma de los eventos que tienen lugar en el modelo de simulación creado, lo que en términos prácticos significa acceder al código en el que el modelo de simulación está construido. Este código es el utilizado por el lenguaje de simulación SIMAN el que constituye la plataforma sobre la que está desarrollado ARENA y todos los módulos que lo componen.

Esto habla de una estructura jerárquica de ARENA, en cuanto a que se presenta como una herramienta de modelación de alto nivel (asistida gráficamente) pero con la capacidad de alcanzar un alto grado de flexibilidad al permitir modificar directamente el código computacional subyacente a ella.



Dada la orientación al proceso, el desarrollo de modelos en ARENA se estructura sobre una base grafica asociada a la construcción de diagramas de flujo, que describirán la serie de pasos que debe seguir una entidad conforme avanza en nuestro sistema.

Es decir ARENA posibilita la construcción de los modelos sin la necesidad de codificar los programas. Para ello ARENA provee de una serie de Módulos gráficos que nos permitirán desarrollar las descripciones de los procesos asociados a los sistemas que modelaremos.

Los elementos principales usados en ARENA son los módulos, las entidades y las variables.

Los **módulos** son los elementos básicos con los que se construyen los modelos, estos se seleccionan de algunos de los paneles existentes en la barra de proyectos. El diagrama que se construirá con estos módulos describe la dinámica asociada a los procesos que tienen lugar en el sistema, por lo que es conveniente conceptualizar los módulos como nodos de una red por donde circulan las entidades (clientes, productos, etc.), que fluyen por esta red desde un punto inicial hasta un punto por donde salen.

Los módulos de datos son un tipo especial de módulos que no tienen representación en la vista de diagrama de flujo del modelo, sólo aparecen en la vista de hoja de cálculo. Sirven para definir las características de varios procesos y elementos del modelo. Los iconos de estos módulos se asemejan pequeñas hojas de cálculo. Las entidades no fluyen por los modelos de datos.

Las **entidades** pueden ser personas u objetos, reales o imaginarios, sus movimientos a través del sistema causan un cambio en el Estado del sistema. Las entidades (documentos, clientes, piezas, etc.) son aquellas que están siendo producidas o atendidas o que de cualquier otra manera influyen en nuestro proceso. Por ejemplo: Clientes que están entrando a un restaurante, o partes que están siendo producidas en una fábrica.

Las entidades son objetos dinámicos en la simulación, usualmente son creadas, circulan por un tiempo y después se van, aunque es posible también tener entidades que nunca se van y que se mantienen circulando en el sistema. Todas las entidades tienen que ser creadas ya sea por el modelador o automáticamente por ARENA. Las entidades contienen propiedades llamadas atributos que permiten crear diferencias entre ellas. Los atributos pueden ser el tiempo de llegada, la prioridad, fecha de vencimiento, color, etc.

Las **variables** representan un conjunto de valores globales que pueden ser alterados en cualquier lugar dentro del modelo. ARENA tiene dos tipos de variables: las variables definidas por el usuario y las variables del sistema. Las variables definidas por el usuario pueden ser cambiadas durante el tiempo de simulación, por ejemplo: tasa de llegada, inventario actual, número de pacientes registrados, etc.

Las variables del sistema son características predefinidas de los componentes del modelo que indican el estado del componente, por ejemplo: número de entidades esperando en una fila (NQ(queue name)), actual valor de un contador (NC(counter name)).