

1

INTRODUCCION

Con el advenimiento de la computadora, una de las más importantes herramientas para analizar el diseño y operación de sistemas o procesos complejos es la simulación.

Aunque la construcción de modelos arranca desde el Renacimiento, el uso moderno de la palabra simulación data de 1940, cuando los científicos Von Neuman y Ulam que trabajaban en el proyecto Monte Carlo, durante la Segunda Guerra Mundial, resolvieron problemas de reacciones nucleares cuya solución experimental sería muy cara y el análisis matemático demasiado complicado.

Con la utilización de la computadora en los experimentos de simulación, surgieron incontables aplicaciones y con ello, una cantidad mayor de problemas teóricos y prácticos. En este libro se intenta por consiguiente, investigar y analizar cierto número de aplicaciones importantes de simulación de las áreas de economía, administración de negocios e investigación de operaciones, así como también sugerir algunos métodos alternativos para resolver algunos problemas teóricos y prácticos que surgen al efectuar simulaciones reales.

1.1. DEFINICION DE SIMULACION

Se ha empezado a utilizar la palabra simulación sin haber dado previamente una definición de ella. Por consiguiente, antes de proseguir con la discusión de este tema, sería conveniente describir algunas de las definiciones más aceptadas y difundidas de la palabra simulación. Thomas H. Naylor la define así:

Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo.

La definición anterior está en un sentido muy amplio, pues puede incluir desde una maqueta, hasta un sofisticado programa de computadora. En sentido más estricto, H. Maisel y G. Gnugnoli, definen simulación como:

Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos períodos de tiempo.

Otros estudiosos del tema como Robert E. Shannon, definen simulación como:

Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

Las definiciones anteriores no especifican si los sistemas modelados son continuos o discretos. Sin embargo, es necesario señalar que el grueso de este libro está dedicado al diseño, análisis y validación de sistemas dinámicos discretos. Algunos autores de este tema como Geoffrey Gordon en su libro *System Simulation*, tratan a fondo el Análisis y estudio de sistemas dinámicos continuos.

1.2. ETAPAS PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE SIMULACION

Se ha escrito mucho acerca de los pasos necesarios para realizar un estudio de simulación. Sin embargo, la mayoría de los autores opinan que los pasos necesarios para llevar a cabo un experimento de simulación son:

- *Definición del sistema.* Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primeramente

un análisis preliminar del mismo, con el fin de determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener del estudio.

- *Formulación del modelo.* Una vez que están definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo.
- *Colección de datos.* Es posible que la facilidad de obtención de algunos datos o la dificultad de conseguir otros, pueda influenciar el desarrollo y formulación del modelo. Por consiguiente, es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Normalmente, la información requerida por un modelo se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo, de órdenes de compra, de opiniones de expertos y si no hay otro remedio por experimentación.
- *Implementación del modelo en la computadora.* Con el modelo definido, el siguiente paso es decidir si se utiliza algún lenguaje como fortran, basic, algol, etc., o se utiliza algún paquete como GPSS, simula, simscript, etc., para procesarlo en la computadora y obtener los resultados deseados.
- *Validación.* Una de las principales etapas de un estudio de simulación es la validación. A través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o en los datos alimentados al modelo. Las formas más comunes de validar un modelo son:
 1. La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
 2. La exactitud con que se predicen datos históricos.
 3. La exactitud en la predicción del futuro.
 4. La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
 5. La aceptación y confianza en el modelo de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación
- *Experimentación.* La experimentación con el modelo se realiza después de que éste ha sido validado. La experimentación

consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos.

- *Interpretación.* En esta etapa del estudio, se interpretan los resultados que arroja la simulación y en base a esto se toma una decisión. Es obvio que los resultados que se obtienen de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semi-estructurado, es decir, la computadora en sí no toma la decisión, sino que la información que proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente a sistemáticamente obtener mejores resultados.
- *Documentación.* Dos tipos de documentación son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación. La primera se refiere a la documentación de tipo técnico, es decir, a la documentación que el departamento de Procesamiento de Datos debe tener del modelo. La segunda se refiere al manual del usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado, a través de una terminal de computadora.

1.3. FACTORES A CONSIDERAR EN EL DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACION

Puesto que la simulación está basada fuertemente en la teoría de probabilidad y estadística, en matemáticas, en ciencias computacionales, etc., es conveniente decir algunas ideas de cómo intervienen estas áreas en el desarrollo y formulación del modelo de simulación.

1.3.1. Generación de variables aleatorias no-uniformes

Si el modelo de simulación es estocástico, la simulación debe ser capaz de generar variables aleatorias no-uniformes de distribuciones de probabilidad teóricas o empíricas. Lo anterior puede ser obtenido si se cuenta con un generador de números uniformes y una función que transforme estos números en valores de la distribución de probabilidad deseada. A este respecto, se han desarrollado una gran cantidad de generadores para las distribuciones de probabilidad más comunes como: La distribución normal, la distribución exponencial, la distribución poisson, la distribución erlang, la distribución binomial, la distribución gamma, la distribución beta, la distribución F, la distribución t, etc.

1.3.2. Lenguajes de programación

Las primeras etapas de un estudio de simulación se refieren a la definición del sistema a ser modelado y a la descripción del sistema en términos de relaciones lógicas de sus variables y diagramas de flujo. Sin embargo, llega el momento de describir el modelo en un lenguaje que sea aceptado por la computadora que se va a usar. En esta etapa se tienen dos cursos de acción a seguir si no se tiene nada de software sobre simulación: 1) Desarrollar el software requerido para estudios de simulación, ó 2) Comprar software (lenguajes de programación de propósito especial). Para esta alternativa es necesario analizar y evaluar varios paquetes de simulación (GPSS, GASP, etc.) antes de tomar la decisión final.

1.3.3. Condiciones iniciales

La mayoría de los modelos de simulación estocástica se corren con la idea de estudiar al sistema en una situación de estado estable. Sin embargo, la mayoría de estos modelos presentan en su etapa inicial estados transientes los cuales no son típicos del estado estable. Por consiguiente es necesario establecer claramente las alternativas o cursos de acción que existen para resolver este problema. Algunos autores piensan que la forma de atacar este problema sería a través de:

- Usar un tiempo de corrida lo suficientemente grande de modo que los períodos transientes sean relativamente insignificantes con respecto a la condición de estado estable.
- Excluir una parte apropiada de la parte inicial de la corrida.
- Utilizar simulación regenerativa.

Obviamente, de las tres alternativas presentadas, la que presenta menos desventajas es el uso de simulación regenerativa. Las otras alternativas presentan las desventajas de ser prohibitivamente excesivas en costo.

1.3.4. Tamaño de la muestra

Uno de los factores principales a considerar en un estudio de simulación es el tamaño de la muestra (número de corridas en la computadora).

La selección de un tamaño de muestra apropiado que asegure un nivel deseado de precisión y a la vez minimice el costo de operación del modelo, es un problema algo difícil pero muy importante. Puesto que la información proporcionada por el experimento de simulación sería la base para decidir con respecto a la operación del sistema real, esta información deberá ser tan exacta y precisa como sea posible o al menos el grado de imprecisión presente en la información proporcionada por el modelo debe ser conocida. Por consiguiente, es necesario que un análisis estadístico sea realizado para determinar el tamaño de muestra requerido.

El tamaño de la muestra puede ser obtenido de dos maneras:

1. Previa e independientemente de la operación del modelo, o
2. Durante la operación del modelo y basado en los resultados arrojados por el modelo. Para la última alternativa se utiliza la técnica estadística de intervalos de confianza.

1.3.5. Diseño de experimentos

El diseño de experimentos es un tópico cuya relevancia en experimentos de simulación ha sido reconocida pero raramente aplicado. El diseño de experimentos en estudios de simulación puede ser de varios tipos, dependiendo de los propósitos específicos que se hayan planteado. Existen varios tipos de análisis que pueden ser requeridos. Entre los más comunes e importantes se pueden mencionar los siguientes:

- Comparación de las medias y variancias de las alternativas analizadas.
- Determinación de la importancia y el efecto de diferentes variables en los resultados de la simulación.
- Búsqueda de los valores óptimos de un conjunto de variables.

Para realizar el primer tipo de análisis, al cual se le denomina comúnmente diseño de experimentos de un factor simple, es necesario tomar muy en cuenta el tamaño de la muestra, las condiciones iniciales y la presencia o ausencia de autocorrelación. Para el segundo tipo de análisis, existe una gran cantidad de literatura, puesto que la gran mayoría de los libros de texto de diseño de experimentos, explican o tratan el tema de análisis de variancia y técnicas de regresión como medios para evaluar la importancia y el efecto de varias variables en los resultados de operación de un sistema. Para el tercer tipo de análisis, generalmente se requiere utilizar algoritmos heurísticos de búsqueda como por ejemplo el algoritmo de Hooke y Jeeves.

1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE SIMULACION

Aunque la técnica de simulación generalmente se ve como un método de último recurso, recientes avances en las metodologías de simulación y la gran disponibilidad de software que actualmente existe en el mercado, han hecho que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas. Además de las razones antes mencionadas, Thomas H. Naylor ha sugerido que un estudio de simulación es muy recomendable porque presenta las siguientes ventajas:

- A través de un estudio de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema, al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observando los efectos de esas alteraciones en el comportamiento del sistema.
- Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
- La técnica de simulación puede ser utilizada como un instrumento pedagógico para enseñar a estudiantes habilidades básicas en análisis estadístico, análisis teórico, etc.
- La simulación de sistemas complejos puede ayudar a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y a entender mejor las interrelaciones entre estas variables.
- La técnica de simulación puede ser usada para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poca o ninguna información. A través de esta experimentación se puede anticipar mejor a posibles resultados no previstos.
- La técnica de simulación se puede utilizar también para entrenamiento de personal. En algunas ocasiones se puede tener una buena representación de un sistema (como por ejemplo los juegos de negocios), y entonces a través de él es posible entrenar y dar experiencia a cierto tipo de personal.
- Cuando nuevos elementos son introducidos en un sistema, la simulación puede ser usada para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en el comportamiento del sistema.

A diferencia de las ventajas mencionadas, la técnica de simulación presenta el problema de requerir equipo computacional y recursos hu-

manos costosos. Además, generalmente se requiere bastante tiempo para que un modelo de simulación sea desarrollado y perfeccionado. Finalmente, es posible que la alta administración de una organización no entienda esta técnica y esto crea dificultad en vender la idea.

1.5. EJEMPLOS DE USOS DE SIMULACION

Existe una gran cantidad de áreas donde la técnica de simulación puede ser aplicada. Algunos ejemplos podrían ser los siguientes:

- *Simulación de un sistema de colas.* Con la técnica de simulación es posible estudiar y analizar sistemas de colas cuya representación matemática sería demasiado complicada de analizar. Ejemplos de estos sistemas serían aquellos donde es posible la llegada al sistema en grupo, la salida de la cola del sistema, el rehusar entrar al sistema cuando la cola es excesivamente grande, etc.
- *Simulación de un sistema de inventarios.* A través de simulación se pueden analizar más fácilmente sistemas de inventarios donde todos sus parámetros (tiempo de entrega, demanda, costo de llevar inventario, etc.), son estocásticos.
- *Simulación de un proyecto de inversión.* Existen en la práctica una gran cantidad de proyectos de inversión donde la incertidumbre con respecto a los flujos de efectivo que el proyecto genera a las tasas de interés, a las tasas de inflación, etc., hacen difícil y a veces imposible manejar analíticamente este tipo de problemas. Para este tipo de situaciones el uso de simulación es ampliamente recomendado.
- *Simulación de sistemas económicos.* La técnica de simulación puede ser utilizada para evaluar el efecto de cierto tipo de decisiones (devaluación de la moneda, el impuesto al valor agregado, etc.), en las demás variables macroeconómicas como: producto nacional bruto, balanza comercial, inflación, oferta monetaria, circulante, etc.
- *Simulación de estados financieros.* La expansión y diversificación de una organización a través de la adquisición y establecimiento de nuevas empresas, repercuten significativamente en su posición y estructura financiera. Por consiguiente, el uso de simulación permite analizar cuál de las estrategias de crecimiento son las que llevarán a la organización al logro de sus objetivos y metas de corto, mediano y largo plazos.