



Casamientos, litografía 48 x 58 cm, 1992

Simulación de procesos a través de eventos discretos

♦ Jesús del Carmen Peralta Abarca

En la actualidad, estamos viviendo un continuo cambio en el mundo, la llamada “nueva economía”, que se caracteriza por la globalización de las operaciones de las empresas y por el uso intensivo de tecnologías de la información.¹ Esto ha obligado a las empresas a la introducción pronta de nuevos productos y servicios que le permitan atraer nuevos clientes y mejorar el servicio a los actuales. Para lograrlo, se requiere que su sistema productivo sea flexible y que se incorporen en él los requerimientos que el mercado actual necesita: tiempos de entrega de producto o ciclos de producción más cortos, económicos y con calidad, para lo cual son necesarias la ciencia, la tecnología y la innovación.

Los procesos de producción descansan, fundamentalmente, en cuatro factores: 1) datos disponibles y confiables de los puntos de venta, 2) pronósticos adecuados, 3) cadena de suministro rápida y 4) adecuada planeación de los inventarios y precios.² Por lo anterior, se necesita crear estrategias que respondan a los cambios rápidos y

constantes del entorno actual, así como apoyarse en las nuevas tecnologías de la información y el *software* especializado.

Hoy, las nuevas investigaciones científicas en el área de la programación han creado herramientas que permiten recrear con facilidad ámbitos reales de los procesos que existen en las empresas. Una de ellas es la simulación, cuyos modelos están siendo ampliamente estudiados como apoyo para la toma de decisiones.

Existen tres tipos de simulación que son comúnmente utilizados para la representación de sistemas complejos: la simulación basada en agentes (SBA), la dinámica de sistemas (DS) y la simulación de eventos discretos (SED).³ La simulación basada en agentes permite capturar de una manera mucho más real las interacciones entre los agentes que actúan en el sistema, mediante la modelación de algunas reglas de decisión y de las interacciones más importantes entre cada uno de ellos. La complejidad que se observa globalmente está determinada por la interacción local de los individuos

¹ F. D. Muñoz, *Antes de decidir, ¡simule! Reporte Técnico ITAM-DA IIO-2001-3*, ITAM, México DF, 2001.

² *Ibid.*, p. 3.

³ Luis R. Izquierdo, José Manuel Galán Ordax, José I. Santos y Ricardo del Olmo Martínez, “Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas”, *Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, núm. 16, 2008, pp. 85-112.

♦ Profesora e investigadora, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, UAEM



de una población.⁴ La dinámica de sistemas es un enfoque de la simulación continua que pretende capturar la estructura de un sistema por medio de la representación de las relaciones causales entre las principales variables del sistema y los procesos de realimentación.⁵

La simulación de eventos discretos es una técnica informática de modelado dinámico de sistemas, que se define como “un programa que reproduce el comportamiento de un sistema real siguiendo el patrón de eventos e interacciones”.⁶ Ampliando más el concepto, se puede decir que la simulación discreta es una técnica para el tratamiento de problemas complejos que se apoya en la potencia de los equipos informáticos y en *software* específico para el desarrollo de modelos de sistemas. Este tipo de simulación es útil en procesos de carácter estocástico (uso de variables aleatorias),⁷ para los cuales no resulta adecuada la utilización de modelos matemáticos de optimización exactos, y se caracteriza por un control en la variable del tiempo que le permite a este avanzar en intervalos variables, en función de la planificación de ocurrencia de ciertos eventos en un futuro.

Un requisito para aplicar esta técnica es que las variables que definen el sistema no cambien su comportamiento durante el intervalo simulado. Aunque en ella hay entidades que siguen algunas reglas de decisión, dichas entidades actúan como agentes pasivos que siguen las reglas del sistema más que las reglas individuales que la rigen.

Los conceptos más empleados en la simulación de eventos discretos son las entidades (activas y pasivas), los recursos y los flujos (secuencia de eventos). Los expertos en ella afirman que dicho método permite capturar la aleatoriedad y la operatividad del sistema.⁸

Entre los beneficios de usar esta forma de simulación está el permitir probar cambios antes de realizarlos, justificar la contratación de más personas, la compra de máquinas, el cambio en el diseño de una planta, entre otros. Todo ello se puede probar en la computadora; ahí no cuesta hacer cambios y es más fácil convencer al cliente mostrándole el beneficio de llevar a cabo ciertos diseños o cambios en un ambiente simulado que además ofrecen la certeza de que van a funcionar.

⁴ Eric Bonabeau, “Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems”, *PNAS*, vol. 9, suppl. 3, 2002, pp. 7280-7287, doi: 10.1073/pnas.082080899.

⁵ John Sterman D., *Business dynamics: thinking and modeling for a complex world*, McGraw Hill, Boston, 2000, p. 82.

⁶ “Ejemplo análisis. Simulación de eventos discretos”, en Universidad de Oviedo, http://www.di.uniovi.es/~dediego/is/recursos/ej_eve.pdf, consultado en noviembre de 2011.

⁷ Gabriel A. Wainer, *Introducción a la simulación de eventos discretos*, Informe Técnico, Report n.: 96-005, Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, http://www.ucema.edu.ar/u/rst/Simulacion_de_Sistemas/Teoria/Introduccion_a_la_Simulacion_de_Eventos_Discretos.pdf, consultado en abril de 2011.

⁸ Jerry Banks, *Discrete-event system simulation*, Prentice Hall, Nueva York, 2000.

Los modelos desarrollados permiten evaluar el comportamiento de un sistema en diferentes situaciones, de manera que las modificaciones se realicen sobre el modelo y no sobre el propio sistema. Esto abre la posibilidad de reducir el riesgo y los costos de dichas pruebas, y si se comete un error no pasa nada, pues todo ha sido simulado en un ambiente virtual.

También se elimina la incertidumbre presente en la toma de decisiones en las empresas, porque dicho método se considera como una parte esencial en estudios de operabilidad o riesgos, pues con él es posible asesorarse en las eventuales consecuencias del fracaso de una planta y en la mitigación de sus efectos. Asimismo, con él se mejora la comprensión de los procesos y es una herramienta poderosa para la optimización de plantas, tanto en el campo operativo como en el del diseño. Este tipo de simulación tiene igual importancia en procesos continuos (*batch* y *semibatch*) y procesos cíclicos de manufactura; igualmente, se han realizado estudios de simulación en distintos sectores, como los de fabricación, distribución física, transporte de personas y mercancías, servicios sanitarios, procesos administrativos, entre otros.

Para realizar una simulación de eventos discretos se suelen utilizar: 1) un conjunto de variables de estado discretas; 2) un planificador, que contiene una lista cronológica de eventos a tratar (en donde el término “evento” es entendido como un

cambio de estado que debe efectuarse a una hora $t_i \in E$), y 3) un reloj global, que indica el instante actual de la simulación; es la hora de ocurrencia del evento que se está tratando en la actualidad.⁹

Dentro del modelado de simulación de eventos discretos existen dos tipos principales: fijos y dinámicos. La interacción de los componentes de tipología fija se simboliza por medio de un grafo en el cual los nodos representan componentes, y los arcos, los caminos posibles de interacción. En los sistemas de tipología dinámica las interacciones son arbitrarias y dinámicas.

Para poder realizar una simulación se requiere de tres elementos básicos: 1) el *sistema real*, que será el generador de los datos. En este se tendrán variables observables y no observables; 2) el *modelo*, que es un conjunto de instrucciones que permitirá generar datos comparables con los observables. Su finalidad es el desarrollo de una representación simplificada y observable del comportamiento y de la estructura del sistema real. El modelo especifica el comportamiento de las relaciones entre las entradas y salidas; y 3) el *simulador*, que ejecuta las instrucciones del modelo para producir su comportamiento.¹⁰

Los tres elementos anteriores están ligados por dos relaciones, que son la relación del modelado que conecta el sistema real con el modelo y la relación de simulación que enlaza el modelo y el simulador. Un modelo puede considerarse válido si

⁹ *Ibid.*, p. 8.

¹⁰ *Ibid.*, p. 10.



los datos obtenidos coinciden con los producidos por el sistema real (validación del modelo). En específico, la simulación permitirá,¹¹ entre otros beneficios, determinar y localizar *cuellos de botella* en el proceso estudiado; optimizar la producción; asignar recursos de manera eficiente; comparar diferentes estrategias o alternativas; gestionar inventarios intermedios.

Dentro de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), específicamente en el área de Optimización y Software del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (Ciicap) se han realizado trabajos de investigación relativos al tema, en los que se han utilizado los modelados de tipología fija y dinámica. Se pueden mencionar los siguientes: *Estructura híbrida de vecindad para el problema del árbol de expansión mínima (MST)*, modelo cuya aplicación actualmente se está trabajando en un problema de redes hidráulicas en una localidad del estado de Morelos; *Paralelización*

de un algoritmo de búsqueda local iterada para el problema del agente viajero, el cual busca reducir el espacio de soluciones a un nivel óptimo para un problema de transporte con restricciones; *Estructura híbrida de vecindad para la optimización de propiedades mecánicas de un acero microaleado en base a su composición química*, un modelo que ayuda en la optimización de recursos para la elaboración de nuevos materiales de acero microaleado.

En el ámbito internacional existen investigaciones como la titulada *Desde el diseño genético hasta la concepción de nuevos materiales utilizando métodos de inteligencia artificial*, desarrollado por Pedro E. J. Rivera Díaz del Castillo, de la Universidad de Cambridge, en el Reino Unido, el cual fue presentado en el Octavo Congreso Internacional de Cómputo y Software 2011. Otros investigadores que han aportado sus trabajos en la simulación de eventos discretos son Papadimitriou y Steiglitz, Wetzels y Garey, entre otros.

¹¹ Enrique de la Fuente Aparicio, Susana San José Alonso, Francisco Javier Olmos Herguedas y Javier Juez Santamaría, *La simulación discreta, herramienta indispensable en la toma de decisiones en la industria actual*, s/f, en Ingeniería de Producto y de los Procesos, Aeipro, <http://www.unizar.es/aeipro/finder/INGENIERIA%20DE%20PRODUCTOS/BB21.htm>, consultado en abril de 2011.