

Simulación de Sistemas Estocásticos

Típico, estamos en el supermercado y siempre vemos más cajas cerradas que abiertas. También sucede en el banco, o en el sitio de comida rápida de preferencia. Mientras tanto, los clientes esperan visiblemente incómodos cómo se apresuran, sin éxito, a abrir una caja o punto de atención adicional. Si analizamos las causas de lo anterior, llegaremos a la conclusión de que la mayoría de veces encontraremos una mala programación de personal. Sin embargo, ¿Cómo podemos analizar el impacto de los cambios a realizar si la cantidad de recursos es limitada y no podemos, o debemos, cambiar el horario de las personas sólo con fines de investigación? Esta pregunta nos lleva a plasmar nuestros sistemas en modelos matemáticos que nos permitan trabajar con ellos mediante simulación.

De acuerdo a Barceló (1996), un sistema se define como un conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a determinado objeto. El objetivo de la simulación es minimizar los recursos necesarios maximizando la cantidad de información obtenida. Esto conlleva a realizar cambios significativos al modelo para recoger y analizar datos, los cuales servirán finalmente para la toma de decisiones relevantes. (Carson & María, 1997).

Lo primero que se debe tomar en cuenta al momento del desarrollo del modelo es la correcta aplicación del mapeo del proceso, indicando claramente las (a) entradas, (b) salidas, (c) atributos, (d) variables, (e) recursos y (f) entidades de cada parte del proceso. Esto es fundamental debido a que una falla en esta etapa representará una falsa imagen de lo sucedido. También se debe tomar en cuenta que la persona quien realiza el análisis debe ser independiente

y libre de sesgo, ya que muchas veces se muestran los procesos “retocados” u ocultando algunas falencias.

Pero, si son modelos matemáticos, ¿Por qué no se puede encontrar una solución analítica? La respuesta a esta pregunta está basada en la complejidad del modelo mismo y la capacidad computacional para realizarlo eficientemente. (Mancilla, 1999). Adicionalmente, el control estadístico nos dice que todo proceso cuenta con una variabilidad natural, que es aleatoria y está basada en una distribución de probabilidad (Ruiz-Falcó, 2006). Es debido a esto que involucramos la estocástica, que según la RAE (2016), es la teoría estadística de la aleatoriedad en los procesos.

De acuerdo a TIS Consulting Group (2016), es en esta situación en donde la simulación estocástica se vuelve una herramienta muy poderosa, pues permite mantener el modelo más real debido a que no requiere *relajar*¹ variables. Además la interfaz basada en objetos ayuda a visualizar de mejor manera lo que está sucediendo en cada momento, tal cual se puede apreciar en la figura 1.

¹ Eliminar restricciones duras y volverlas blandas.

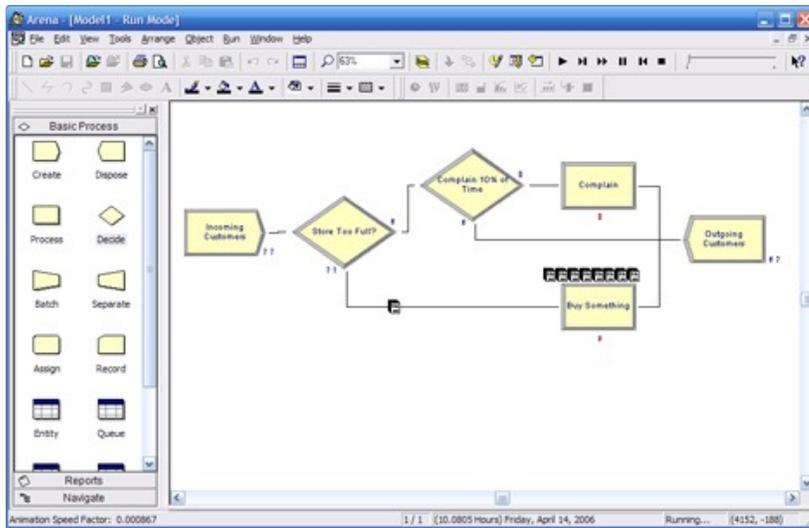


Figura 1.- Interfaz gráfica de software *Arena*.
Fuente: TIS Consulting Group

Las aplicaciones de esta técnica son muy amplias y van desde (a) procesos de manufactura, (b) sistema de colas, (c) sistemas de inventarios, (d) proyectos de inversión, (e) simulaciones de vuelo, (f) desastres naturales, (g) estrategias, etc. y puede utilizarse para realizar y analizar entidades continuas o discretas (Cantú-Gonzalez, Guardado, & Balderas, 2016).

Antes de empezar a desarrollar un caso aplicativo, debemos realizar algunas definiciones. La parte principal de una simulación y la fuente de análisis es la entidad. Esta es la que se traslada por el proceso y es afectada por las variables del sistema. En un banco, serían los clientes; y en un proceso de manufactura serían los productos. La clara identificación de las entidades, la forma como entran y cómo se trasladan es el punto de inicio de todo proceso de simulación.

Las entradas son las “puertas” por donde llegan las entidades al sistema. Estas pueden dividirse de acuerdo a varios factores como diferencias geográficas, diferentes características de

las entidades que entran por ellas o diferentes horarios de apertura. Un claro ejemplo de estas son las diferentes puertas en un centro comercial, los tipos de cliente de un banco o la hora en que las puertas abren en un estadio. Las salidas son la puerta de escape del sistema de las entidades. La existencia de una o más puertas dependerá de la necesidad de medición de ciertas características de entidades salientes. Más adelante se puede observar esto en la figura 2.

Los atributos son las características identificadoras de las entidades. Se asignan para el posterior análisis estadístico y en algunos casos para regular algunos procesos. Por ejemplo, en un proceso de fabricación de pelotas de plástico, el tiempo de procesamiento puede variar dependiendo del volumen de la misma, y es en este punto en donde se asigna esta característica.

Por otro lado, las variables son las características resultantes del proceso, las cuales pueden ser dependientes o independientes y pueden medirse y son analizadas estadísticamente para tomar decisiones. Lo más importante de las variables es que durante la simulación se pueden alterar algunas de ellas para evaluar los resultados finales.

Finalmente tenemos los recursos, que, tal y como su nombre evidencia, son necesarios para la realización de las actividades y procesos. Ellos pueden entenderse como infraestructura, como por ejemplo un salón de clases, maquinaria o personas; o pueden ser también los cajeros en un banco. La programación y disponibilidad de estos también afectará de forma considerable al modelo y se debe tomar en cuenta la importancia del manejo de los mismos.

Para poder entender mejor lo antes mencionado, desarrollaremos un caso aplicativo de una agencia bancaria del BCP, trabajo que fue realizado en un contexto académico durante el año 2014. En primer lugar se deben identificar las entidades, las cuales en este caso son de tres tipos

diferentes: (a) Cliente Exclusivo, (b) Cliente, y (c) Usuario. El motivo de separar a cada uno de éstos es debido a que cada uno cuenta con tiempos de llegada diferentes.

Posteriormente, identificamos las reglas de atención y objetivos. La prioridad en atención la tienen los Clientes Exclusivos, luego los clientes y por último los usuarios. Es decir, si hubiera en cualquier momento dado un cliente exclusivo, este siempre será el próximo en ser atendido. Sin embargo, para evitar la espera infinita de los usuarios, se considera que si el primero de la fila ha esperado más de 30 minutos y se han atendido al menos a 10 clientes, este será el siguiente en ser atendido. Como objetivos se tienen que los tiempos de atención promedio no superen los (a) 5 minutos en clientes exclusivos, (b) 15 min en clientes, y (c) 60 minutos para los

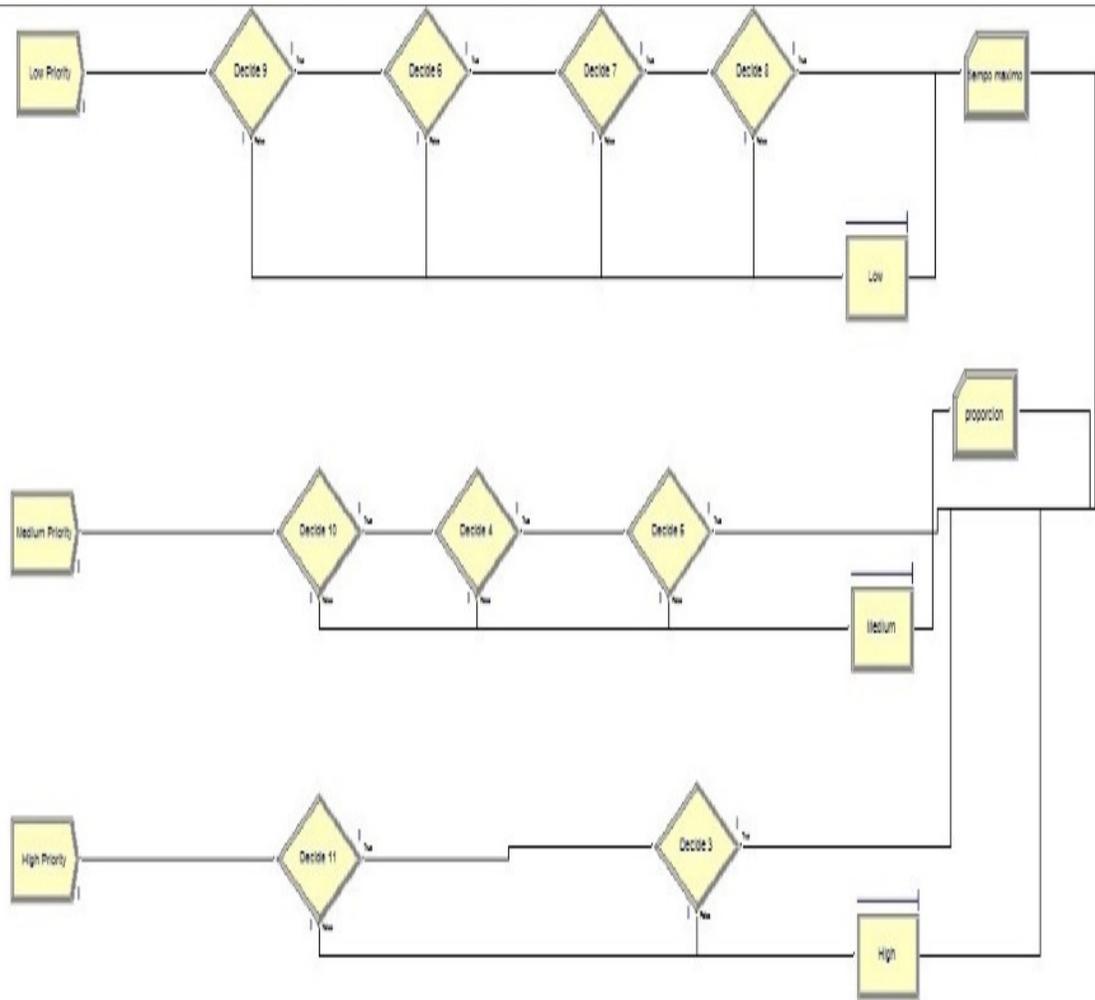


Figura 2.- Modelamiento de la entrada de clientes y cola

Debido a la imposibilidad práctica de realizar una toma de tiempos formal, se decidió utilizar la distribución de probabilidad triangular, la cual está basada en el conocimiento y experiencia de expertos en el proceso. La distribución antes mencionada utiliza valores Optimistas, Pesimistas y Más Probables, dándoles una ponderación determinada a cada una, generando, como su nombre lo dice, un gráfico de triángulo(ver figura 3) para poder generar los valores probabilísticos. En el caso estudiado, se requiere la información de (a) tiempos de

atención, (b) tiempos entre llegadas de clientes exclusivos, (c) tiempos entre llegadas de clientes y (d) tiempos entre llegadas de usuarios. Según Raczy (2014), los tiempos se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 1.- Tiempos Estimados

	T i e m p o d e atención (min)	Tiempo entre llegadas para C l i e n t e s Exclusivos (min)	Tiempo entre llegadas para Clientes (min)	Tiempo entre llegadas para Usuarios (min)
Optimista	3	15	2	60
Más Probable	8	20	5	90
Pesimista	17	40	10	Infinito (9999)

Debido a la indeterminación, colocar el valor de infinito en un simulador no es factible y este se reemplaza por un valor lo suficientemente grande para afectar significativamente la simulación, en este caso sería 9999. El modelamiento, tal cual se ve en las figuras 4 y 5, debe contener las partes necesarias para coleccionar la información necesaria y modificar los recursos y variables que sean requeridas.

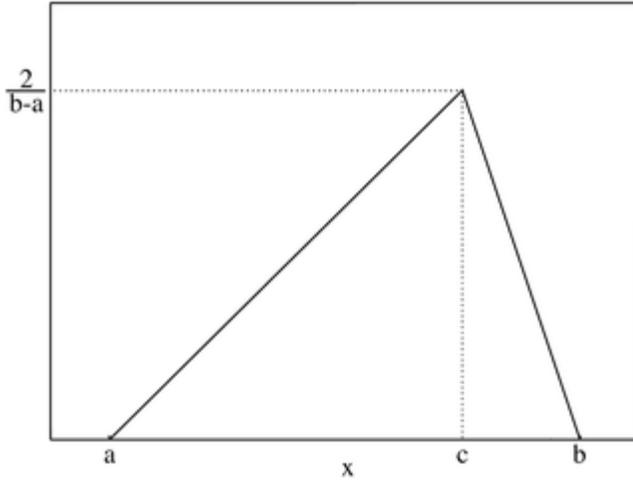


Figura 3.- Distribución Triangular

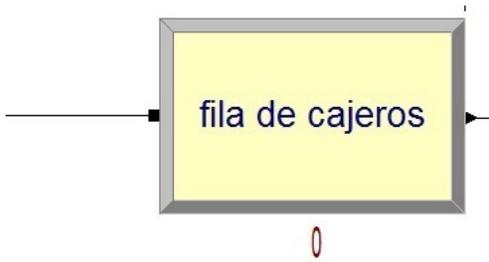


Figura 4.- Filas de cajeros

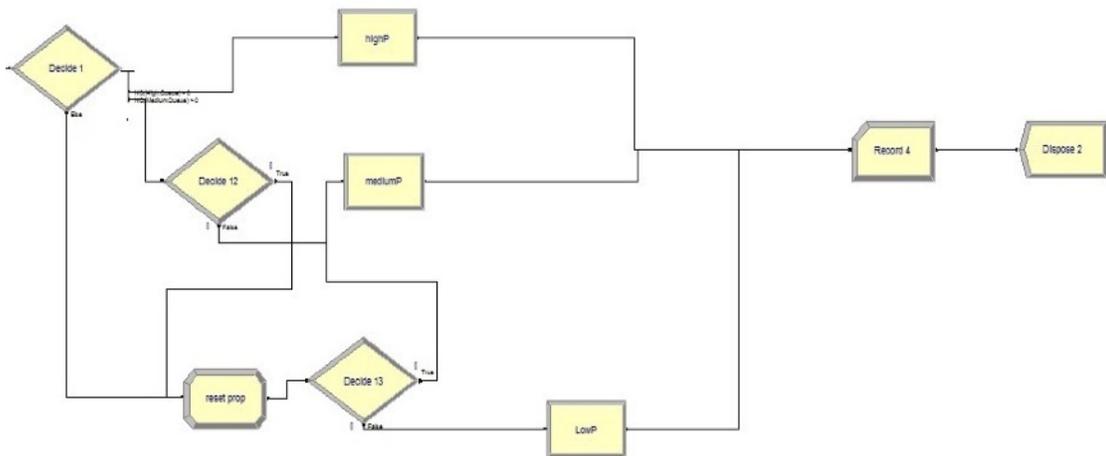


Figura 5.- Salida del Sistema

Existen varias formas de correr el modelo para asegurar una simulación correcta. El primero es determinar el período de calentamiento, el cual es el tiempo en que el sistema demora en llegar a la estabilidad. Debido a que esta es una simulación en donde se evalúa desde la apertura hasta el cierre, no es aplicable. Posteriormente se debe determinar el número de réplicas necesarias para asegurar la validez estadística del modelo. También se deben aplicar metodologías para reducción de varianza y realizar pruebas de normalidad (Torres-Vega, 2012). Ya que éste artículo se basa en la utilidad de la simulación y no en el proceso, no se profundizará en este tema.

Se deben evaluar los resultados obtenidos modificando la cantidad de cajeros disponibles y los horarios de almuerzo. Como se puede observar en la tabla 2, la forma óptima de cumplir los objetivos con la menor cantidad de personal es contando con 3 cajeros con 45 minutos de

almuerzo cada uno de forma secuencial. Se puede observar en la tabla 2 que en el primer escenario se cumple el objetivo de espera de clientes exclusivos, sin embargo la espera tanto de cliente como de usuarios es muy prolongada. Al aumentar la disponibilidad del recurso *cajero* en el sistema, se logra una mejora sustancial en los tiempos de espera, cumpliendo todos los objetivos propuestos. También se evaluaron las posibilidades de cuatro cajeros, sin embargo la mejora deja de tener un impacto en el cumplimiento de los objetivos, por lo que se descartan.

Tabla 2.- Resultados de la simulación y tiempos de espera.

	Dos cajeros, dos horarios de almuerzo (min)	Tres cajeros, tres horarios de almuerzo (min)	Cuatro cajeros, cuatro horarios de almuerzo (min)	Cuatro cajeros, dos horarios de almuerzo (min)
C l i e n t e s Exclusivos	3.21	0.81	0.07	0.39
Cientes	49.41	2.2	0.078	1.07
Usuarios	142.85	7.93	0.16	3.4

Como conclusiones podemos rescatar que la simulación es un arma muy poderosa para optimizar procesos y recursos para el cumplimiento de objetivos, minimizando la cantidad de cambios reales al proceso. También, es importante recalcar que existen más datos extraídos del reporte de simulación que pueden permitir tomar decisiones no solo sobre el cumplimiento de objetivos sino el propio diseño del proceso y formulación de objetivos.

También puede concluirse que de utilizarse esta herramienta de manera correcta, el uso de recursos en actividades tan diversas como (a) Atención al Cliente, (b) programación de despachos, (c) programación de semáforos, (d) entre otras reduciría significativamente el mal uso de los recursos productivos, maximizando así la utilización de los mismos, generando reducciones importantes en costos, impactando directamente en la productividad y competitividad.

Adicionalmente, al combinar la evaluación de éstos factores con atributos monetarios, se puede generar una poderosa herramienta para la planificación del flujo de caja y presupuestos. Cabe resaltar que éstos pueden ser incluidos dentro del modelo de simulación para ser evaluados estadísticamente, reduciendo el riesgo y error de los mismos. Finalmente, se pueden simular también diferentes escenarios de modificaciones no sólo en la disponibilidad de recursos sino en el proceso en general que permite tomar decisiones a nivel operativo, gerencial y directivo.

Franco Riva

Docente Contratado del DACG

Bibliografía

Barceló, J. (1996). *Simulación de Sistemas Discretos*. Madrid: Isdefe.

Cantú-Gonzalez, J. R., Guardado, M. d., & Balderas, J. L. (2016). Simulación de procesos, una perspectiva en pro del desempeño. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*.

Carson, Y., & María, A. (1997). SIMULATION OPTIMIZATION: METHODS AND APPLICATIONS. *Winter Simulation Conference* (págs. 118-126). Binghamton, NY: State University of New York at Binghamton, Department of Systems Science and Industrial Engineering.

Mancilla, A. M. (1999). Simulación, Herramienta para el estudio de sistemas reales. *Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte*, 104-112.

Raczy, S. (Setiembre de 2014). Tiempos estimados para simulación en agencia BCP. (F. Riva, Entrevistador)

Real Academia Española de la Lengua. (18 de octubre de 2016). *RAE*. Obtenido de Real Academia Española de la Lengua: <http://dle.rae.es/?id=Gu89KMq>

Ruiz-Falcó, A. (2006). *Control Estadístico de Procesos*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

Tarifa, E. E. (2001). *Teoría de Modelos y Simulación*. Jujuy: Facultad de Ingeniería, Universidad de Jujuy.

TIS Consulting Group. (18 de Octubre de 2016). *Simulación de Sistemas Estocásticos*. Obtenido de TIS Consulting Group: <http://tisconsulting.org/es/news/simulating-stochastic-systems/>

Torres-Vega, P. J. (2012). Simulación del tráfico en una vía expresa y análisis estadístico de los resultados. *Ingenierpia Industrial*, 45-49.