



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness
*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

MODELACIÓN DE UNA SITUACIÓN EMPRESARIAL PARA LA ENSEÑANZA DE SIMULACIÓN DISCRETA

María Antonia Rodríguez Betancur, Guillermo León Carmona González, Daniela Álvarez Zapata, María Adelaida Cano Escobar, Juan Sebastián Montoya Agudelo

**Universidad EAFIT
Medellín, Colombia**

Resumen

La simulación discreta es una de las herramientas que se utilizan para modelar sistemas reales y sobre el modelo construido evaluar el impacto que tendrían ciertas decisiones, mejorando así la toma de decisiones sobre el sistema real.

Actualmente, el tema de simulación discreta es impartido en la asignatura de Simulación de la especialización de Dirección de Operaciones y Logística, que pertenece al departamento de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT. Sin embargo, esta asignatura sólo cuenta con ejercicios académicos para los procesos de modelación. Esto motivó la realización de un proyecto para documentar una situación empresarial, con base en la cual los estudiantes puedan construir una simulación apoyada en una situación real. Esto permitiría a los estudiantes un acercamiento a la modelación de problemas reales de la industria.

Se eligió como situación empresarial, el análisis de la productividad de una línea de producción de la empresa panificadora Novapan de la ciudad de Medellín. La modelación del sistema se hizo por medio del software de simulación discreta Promodel®.

Este trabajo presenta los aspectos principales de la situación empresarial analizada, la metodología de trabajo, el modelo de simulación discreta, algunos resultados de la simulación, la propuesta pedagógica y algunas lecciones aprendidas en el desarrollo de esta investigación.

Palabras clave: productividad; simulación discreta; cuello de botella

Abstract

Discrete simulation is one of the tools that are used for modeling real systems and for evaluating the impact of certain decisions using the resulting model, improving with this the decisions making on the real system.

Discrete simulation has been taught in the simulation course of the Operations Management and Logistics program at EAFIT University. However this course only has academic exercises for the modeling processes. This motivated to the realization of a project for documenting a business scenario on which students can build a simulation supported on a real situation. This would allow students an approach to the modeling of real industry problems.

The productivity analysis of a production line of the Bakery Company Novapan in Medellin city was elected as the business scenario. The simulation was made through the discreet simulation software Promodel®.

This Paper presents the main aspects of the analyzed business scenario, the methodology, the discrete simulation model, some simulation results, the educational proposal and some learned lessons during the development of this research.

Keywords: *productivity; discrete simulation; bottleneck*

1. Introducción

“La complejidad en la operación de los sistemas de producción y servicios de la actualidad requieren de una modelación cada vez más apegada a la realidad, que permita un análisis profundo y detallado. Por ello, herramientas que permitan modelar esta complejidad se hacen relevantes y necesarias” (García, et al. 2006). Entre los diferentes tipos de simulación se encuentra la simulación discreta; la cual se puede definir “como el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado.” (García, et al. 2006). Con la simulación discreta se pueden modelar problemas de procesos productivos, que le puede reportar beneficios económicos a la empresa, ya que le permite evaluar el impacto de varias decisiones en el modelo de simulación y con el análisis de ésta, elegir la mejor opción; evitando así inversiones injustificadas en tiempo y dinero, que ocurren cuando no se tienen en cuenta los efectos a mediano y largo plazo.

La simulación discreta es un tema que se enseña en la asignatura Simulación, de la especialización de Dirección de Operaciones y Logística de la universidad EAFIT. Sin embargo, esta asignatura no cuenta con situaciones reales para la modelación y posterior simulación por parte de los estudiantes. Esto motivó el desarrollo de un proyecto para documentar una situación empresarial, que posteriormente pueda ser utilizada por los estudiantes en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la materia.

La situación empresarial elegida para el análisis fue el aumento de la productividad de una empresa panificadora. Inicialmente se determinaron las decisiones a evaluar. Luego, se recolectó información del proceso productivo. Posteriormente, se realizó el modelo. Con base en este modelo, se evaluaron las decisiones mediante dos escenarios. La modelación del sistema se hizo por medio del software especializado de simulación discreta Promodel®.

A través de la situación empresarial documentada se espera mejorar la experiencia de los estudiantes frente al aprendizaje, al ofrecerle una situación real en la que él pueda poner en práctica los procesos de modelación y fortalecer habilidades tales como: el análisis y evaluación de la información, pensamiento crítico y creativo. Estas fortalezas le servirán al estudiante en su futuro laboral, para enfrentarse a diferentes situaciones empresariales.

2. Marco Teórico

2.1 Simulación

En años recientes, el advenimiento de nuevos y mejores desarrollos en el área de la computación ha traído consigo innovaciones igualmente importantes en los terrenos de la toma de decisiones y el diseño de procesos y productos. En este sentido, una de las técnicas de mayor impacto es la simulación (García, et al 2006).

La simulación es usada en sistemas productivos para determinar los efectos de agregar operaciones nuevas o detalles diferentes a líneas o modelos ya existentes, y ayuda a evaluar el balance de la línea bajo condiciones dinámicas. Al realizar una simulación, esta proporciona un “banco de pruebas” donde los requerimientos de cambios en la producción pueden ser evaluados, para realizar cambios o mejoras en el sistema ya existente. “Esto reduce el tiempo de inactividad del sistema durante el cambio, y también proporciona a los operadores y gestores una mayor confianza de que los cambios pueden ser acomodados.” (Rohrer, et al.1997).

Existen varios tipos de simulación: simulación continua, simulación discreta, dinámica de sistemas, simulación por agentes, Montecarlo, entre otras; éstas se diferencian en el método que utilizan y la forma de ordenar los datos o variables. En este trabajo nos centraremos en la comprensión y el análisis de la simulación de eventos discretos o simulación discreta.

2.2 Simulación Discreta

“La simulación de eventos discretos consiste en relacionar los diferentes eventos que pueden cambiar el estado de un sistema bajo estudio por medio de distribuciones de probabilidad y condiciones lógicas del problema que esté analizando.” (García, et al. 2006).

La simulación discreta permite modelar sectores o etapas de un sistema productivo de forma individual y separada, para así tener claro el comportamiento de cada uno de los sectores, que al relacionarlos todos en el flujo total de la producción, se puedan identificar las problemáticas individuales que afectan el todo, determinando así cuales de estos sectores que representan los cuellos de botella y poder buscar amortiguarlos para que afecten la línea en un menor grado, o en lo posible eliminarlos. (Rohrer, et al. 1997); “convirtiéndose así en una herramienta que ayuda a implementar métodos de ‘optimización’ ya que al mejorar procesos, aparte de desarrollar un proceso eficaz y eficiente para asegurar el rendimiento del sistema” (Farahmand, et al. 2008), lo que evita costosos errores a la hora de la implementación de diferentes estrategias y la detección de escenarios que presenten mejores soluciones.

Algunas de las ramas más estudiadas por los ingenieros de planta es la planeación de la producción y la optimización de la capacidad, en las cuales se busca constantemente reducir los costos. Para llegar a una reducción de estos y a una mayor productividad se realizan análisis de los **cuellos de botella** existentes en el proceso, los cuales son eventos puntuales en la línea de producción, que por algún motivo están haciendo que el flujo de la misma sea más lento o que no sea lo suficientemente eficiente (Sharda, et al. 2010).

2.3 Software Promodel®

Promodel® es uno de los paquetes de software comercial para simulación más usados en el mercado. Cuenta con herramientas de análisis y diseño que, unidas a la animación de los modelos bajo estudio,

permiten al analista conocer mejor el problema y alcanzar resultados más confiables respecto de las decisiones a tomar. (García, et al. 2006).

Básicamente, este producto se enfoca a procesos de fabricación de uno o varios productos, líneas de ensamble y de transformación, entre otros. La misma compañía de desarrollo ofrece otros paquetes como MedModel® y ServiceModel®, diseñado para sistemas médicos y de servicios, respectivamente (García, et al. 2006).

3. Metodología

Para la realización de este proyecto se realizaron las siguientes etapas:

3.1. Revisión de la literatura: se hizo una revisión de los temas relacionados con la investigación.

3.2. Conocimiento de la empresa Novapan y sus procesos: para el desarrollo del proyecto se comenzó por definir el sistema a ser evaluado, de acuerdo a lo observado en la empresa y que estuviera dentro de un alcance adecuado para su modelación.

3.3. Recolección de datos: se recolectó la información necesaria sobre el problema específico que se presenta en la empresa y qué soluciones se estaban tomando frente al mismo, para así definir las variables a ser consideradas en la modelación.

3.4. Definición de problema a analizar y escenarios: al conocer más a fondo la problemática o aspectos que se deseaban analizar acerca de la productividad de la empresa, así como la forma como se lleva a cabo el lanzamiento de órdenes a la producción, se procedió a definir dos escenarios en los cuales se hacía el lanzamiento de los pedidos a la línea productiva de formas diferentes para evaluar el impacto de cada uno de estos en la productividad de la empresa.

3.5. Modelación: inicialmente se realizó un bosquejo del modelo con las variables ya definidas y se comprobó que éste se acercara a la realidad y funcionara como lo hace el sistema en la realidad. Finalmente, se construyó el modelo completo y se evaluaron dos escenarios principales, donde se cambiaba la forma de ordenar los pedidos, pues se creía que éste afectaba la productividad de la empresa.

3.6. Análisis y comparación de resultados: por medio de las estadísticas obtenidas del software, se analizaron los resultados de los dos escenarios, para así poder llegar a una conclusión que orientara la toma de decisiones más conveniente para la empresa.

3.7. Documentación del proceso productivo: se realizó un documento en donde se explicaba cuál era el problema que presentaba la empresa, los productos y procesos que se tenían en cuenta en la simulación, los resultados estadísticos obtenidos y su análisis general.

3.8. Propuesta pedagógica: se realizó una propuesta pedagógica donde se explicaba en qué consistía la actividad, cuáles eran sus objetivos y cómo debía proceder la persona que estuviera dirigiendo la actividad.

4. Descripción de la empresa y el problema

Novapan es una empresa panificadora de la ciudad de Medellín, compuesta principalmente por una planta productiva ubicada en el barrio Belén, desde la cual se distribuyen los productos a todo el Valle de Aburrá. Los productos son preparados diariamente en la planta principal, manejando un sistema Make to Order (MTO), donde se reciben pedidos de los clientes institucionales entre las ocho de la mañana y las tres de la tarde.

Actualmente, Novapan cuenta con una manera fija de lanzar sus pedidos de producción. Éstos se lanzan a la línea productiva por medio de tres listas en momentos específicos del día, siendo la primera al comenzar la jornada de trabajo, es decir, a las 6 de la mañana, la siguiente a las 11 de la mañana, y la última a las dos de la tarde. Cada una de éstas contiene recopilados los pedidos que han llegado a la empresa hasta ese momento.

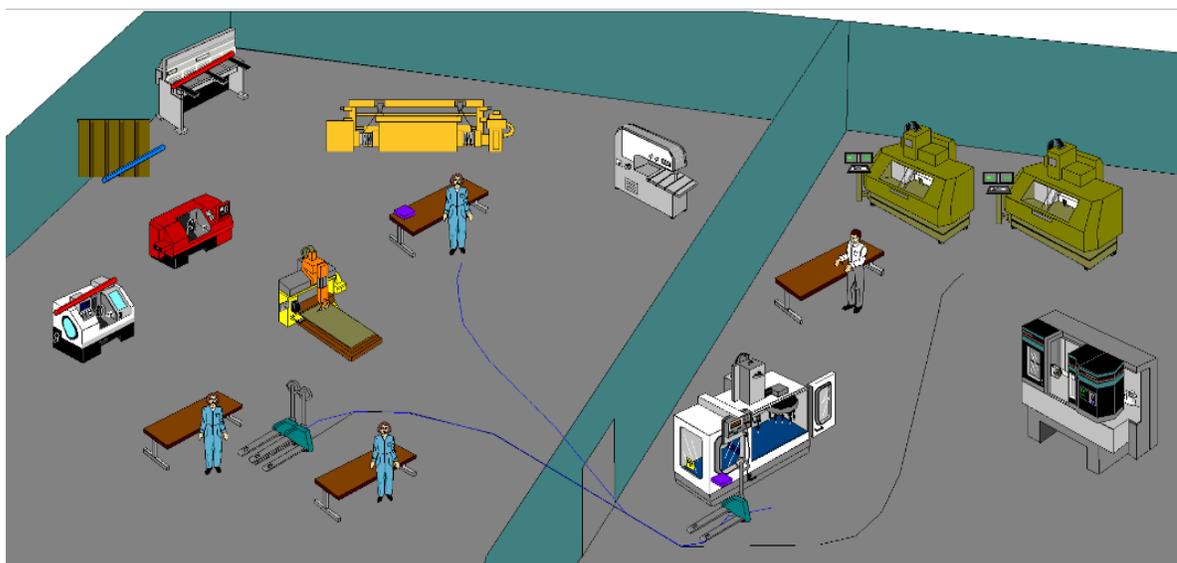
Esta forma de hacer los pedidos ha generado algunas preguntas frente a la productividad de la empresa. Por esta razón, se desea evaluar el impacto que tendría la empresa, al modificar esta política de lanzamiento de órdenes, por medio de la evaluación y análisis de dos escenarios diferentes:

- Escenario 1: Los pedidos se realizarán desde el día anterior y se dejarán listos en la noche, programando así con suficiente tiempo en qué orden se lanzarán estos pedidos a la línea productiva, y conociendo desde el inicio del día cuántos lotes de cada referencia son necesarios.
- Escenario 2: Recibir en el transcurso del día los pedidos, como se viene haciendo actualmente, lanzándolos a producción en las tres horas establecidas para hacerlo.

Se desea que, tras la simulación de estos dos escenarios, se tome una decisión con respecto a cuál de éstos traerá un impacto más positivo en la productividad de la empresa; que sea lo suficientemente significativo como para que la repercusión negativa que trae el cambio de esta política, en los clientes, pase a un segundo plano o no los afecte de una manera muy directa.

En la Figura 1 se muestra la interfaz gráfica de la simulación del proceso productivo de la situación empresarial modelada en Promodel®.

Figura 1. Interfaz gráfica del modelo en Promod





5. Análisis de resultados

Al observar los resultados estadísticos arrojados por el modelo, se pudo analizar los escenarios desde una perspectiva general. Se encontró un inconveniente frente a la programación y más específicamente, en sus resultados, debido a se estableció una unidad de medida que no se adaptaba a la situación modelada. Por lo tanto, en la simulación se producían más unidades de las requeridas y no la cantidad exacta de éstas, lo que se generaba “inventario” adicional, lo cual es algo que no se maneja en la empresa. Los resultados mostraron frente a este aspecto que en el escenario en el cual los pedidos se tenían listos desde la noche anterior, presentaba menos inventario, es decir, aunque igualmente se producía más de lo que se requería, esta cantidad de unidades sobrantes era mucho menor que la cantidad del segundo escenario. Este error se podría corregir, cambiando la unidad de referencia que se asemeje a la realidad, pues el modelo debe ser lo más cercano al sistema de la empresa y éste se está alejando teniendo inventario.

Otro aspecto importante que se pudo observar fue respecto al recorrido de las entidades a través del proceso y sus tiempos de actividad. En el primer escenario, donde los pedidos se programaban con antelación, se evidenciaron unos tiempos de espera y de bloqueo de entidades considerablemente menores que los tiempos en el segundo escenario (figura 2 y 3). Esto representa resultados positivos para este primer escenario, ya que es posible que el menor tiempo de simulación del modelo en su totalidad se deba en parte a la reducción de tiempos de espera, debido a que el sistema no está detenido tanto tiempo por aspectos de capacidades limitadas, lo que produce un bloqueo que obstaculiza el proceso normal de éstas. Con estos resultados se podría concluir que con la simulación se logró mejorar la productividad de la empresa.

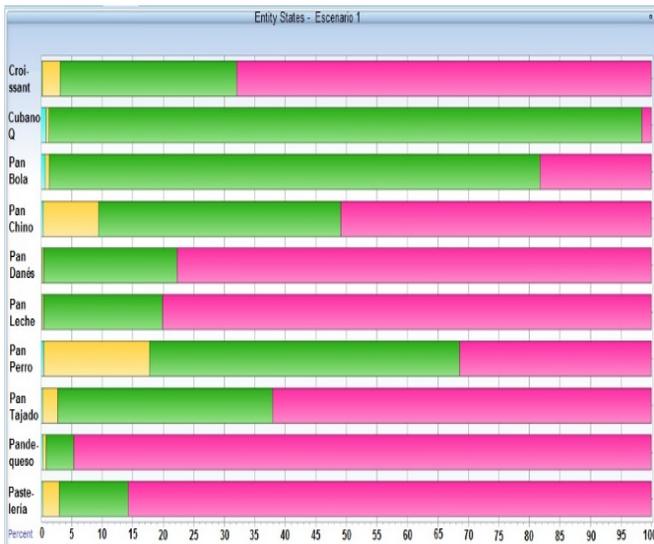
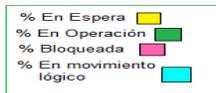


Figura 2. Estado de entidades: Escenario 1



Figura 3. Estado de entidades: Escenario 2

6. Propuesta pedagógica inicial

Para el uso de la situación empresarial documentada en clase, se propone realizar las siguientes actividades en clase: 1) Entrega documento del problema empresarial al estudiante. 2) Solicitar al estudiante plantear varios escenarios frente al problema, de esta forma el estudiante realiza un análisis inicial. 3) Entrega al estudiante de los escenarios propuestos. 4) El estudiante debe realizar el modelo, la simulación y el análisis de los datos estadísticos. 5) Evaluación del escenario más adecuado por parte del estudiante.5)

Socialización de los modelos y sus resultados.

Con esta propuesta se espera una mayor motivación del estudiante al participar en el análisis y construcción de un modelo de simulación basado en una situación empresarial. También tendrá la oportunidad de enfrentar problemas que se presentan en proceso de modelación. De esta forma, el estudiante obtendrá un mayor conocimiento que le permitirá, en el ámbito laboral, construir modelos de simulación para problemas que requieran de este tipo de soluciones.

7. Conclusiones, limitaciones y trabajos futuros

Para la construcción de un modelo es necesario contar con datos confiables. Sin embargo, se encontraron dificultades a la hora de la recolección de datos en la empresa, ya que ésta no contaba con un estudio de tiempos estandarizados de todos los procesos. Para superar esta dificultad, la empresa proporcionó unos tiempos que se tenían estimados de cada operación, pero estos datos no eran muy apropiados para la realización de la simulación. Por tal motivo, se eligieron unos datos dentro de un rango cercano a los entregados por la empresa. Esto se realizó asignándole a cada valor de los datos, una distribución triangular con un desfase del 20% para establecer los tiempos mínimos y máximos de cada operación, tomando este porcentaje como un parámetro que puede variar en el momento de querer evaluar la sensibilidad del modelo en situaciones diferentes.

Una de las mayores dificultades fue construir el modelo de simulación, debido a que el conocimiento que se tenía del software no era tan profundo, como para simular el “problema” de la empresa; y que se consideraron demasiadas variables haciendo que el modelo fuera complejo. Frente a esta experiencia es importante señalar a los estudiantes que para la modelación de un proceso productivo se debe simplificar la realidad a analizar, eligiendo las variables más importantes del problema y generalizando sus procesos; esto con el fin que el proceso de simulación no sea tan complejo y poder entender mejor los resultados.

La herramienta de simulación no permitía el ingreso de algunas unidades de medida presentes en la situación real, como es el caso de cambiar unidades por gramos. Sin embargo, esto generó comportamientos no acordes a la realidad. Esto deja como lección, que necesariamente no se tienen que usar exactamente las mismas unidades de medida de la empresa, sino una unidad que se acerque a la usada en ella y se comporte lo más cercano a la situación de análisis.

En general se puede concluir, que en el momento de elegir una situación empresarial, ésta se debe simplificar. No se tienen que considerar todas las variables que existen en el proceso, se debe agruparlas y tener un modelo general donde se evidencie el problema y sobre todo tener en cuenta que si es poco

entendible para los investigadores, será aún más para los estudiantes involucrados; por lo tanto la situación a analizar no debe ser muy detallada, debe contener pocos procesos y variables, y lo más concreta posible. El siguiente paso en la investigación, es construir un modelo más simplificado de la situación a analizar que permita generar el comportamiento del sistema, pero sin llegar al detalle, es decir, con los procesos más importantes y sólo con algunos productos. Posteriormente, se hará el proceso de simulación y se estudiarán los resultados estadísticos que arroje el software y se observará cuál de los escenarios propuestos logra el objetivo de mejorar la productividad.

Por último, se llevará la situación a la clase de simulación para que los estudiantes, con sus fundamentos teóricos, analicen el problema que se les entrega, lo simulen y en la clase realicen un debate sobre los resultados. Al final de la actividad, se realizará una encuesta a los estudiantes para observar el impacto que tuvo la actividad en la comprensión del tema.

8. Referencias

- García, Eduardo; García, Heriberto; Cárdenas, Leopoldo. (2006) “Simulación y análisis de sistemas con ProModel” México: Pearson Educación, (pp. 2, 132)
- Farahmand, K., Lee, E. (2008, Mayo) "Investigating Productivity and Efficiency Through Simulation Technology and Application", Proceedings of the 2008 IIE Annual Conference and Expo, Applied Solutions Sessions, Vancouver, BC, Canada. Consultado el 13 de abril de 2012 en http://www.iienet2.org/uploadedfiles/IIE/Technical_Resources/Conference_Proceedings/Annual/8.pdf.
- Rohrer, Matt; Strong, Bucky. (1997, Julio) “Automotive applications of discrete event simulation.” Automotive Design & Production; ProQuest (pp. 38)
- Sharda, B.; Bury, S. (2010). “Bottleneck analysis of a chemical plant using discrete event simulation”. *Winter Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2010* (pp. 1547–1555). Consultado el 25 de marzo de 2012 en http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5678916

Sobre los autores

- **María Antonia Rodríguez Betancur:** Estudiante de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT. mrodri23@eafit.edu.co
- **Guillermo León Carmona González:** Ingeniero de Sistemas. Estudiante de Maestría. Docente de tiempo completo Universidad EAFIT. gcarmona@eafit.edu.co
- **Daniela Álvarez Zapata:** Estudiante de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT. dalvar35@eafit.edu.co
- **María Adelaida Cano Escobar:** Estudiante de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT. mcanoes@eafit.edu.co
- **Juan Sebastián Montoya Agudelo:** Estudiante de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT. jmonto41@eafit.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la

Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)