

Aplicación de los modelos de Simulación de Operaciones en la carrera de ingeniería industrial

Marquina, Fernando Francisco*; Mohamad, Jorge Alejandro; Colombo, Federico Andrés

*Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina
Alicia Moreau de Justo 1500. (1107) Ciudad de Buenos Aires. fernandomarquina@uca.edu.ar;
jorge_mohamad@uca.edu.ar; federicoacolombo@gmail.com*

RESUMEN

El presente trabajo busca difundir y compartir una experiencia de la aplicación de las técnicas y modelos de simulación en la asignatura "Análisis de Decisiones y Simulación". La materia está encuadrada dentro del grupo de las troncales de la carrera –Tecnologías Aplicadas-, y se dicta en el segundo cuatrimestre del cuarto año de la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Católica Argentina.

Durante el curso se brinda capacitación a los estudiantes en la aplicación y el uso de las técnicas y herramientas necesarias para desarrollar modelos de simulación de operaciones en procesos industriales, con aplicaciones orientadas a determinar la capacidad operativa, tanto con intervalos de tiempo constante –demanda- como a intervalos de tiempo variable –líneas de espera-, y su resolución mediante la herramienta informática ExtendSim.

A lo largo de este artículo se presentarán los objetivos de la materia, la forma en que se desarrolla, y los resultados obtenidos en los últimos años de la experiencia.

Palabras Claves: enseñanza; simulación; gestión de operaciones.

ABSTRACT

The current paper aims sharing an experience about teaching simulation models and techniques into the subject "Decision analysis and simulation".

It is lectured within the group of subjects that are the backbone of the Industrial Engineering career at Universidad Católica Argentina. It is taught in the second semester of the 4th year.

Throughout the course, students are trained in the application and use of the techniques and necessary tools to develop simulation models applied to operations management of different industrial processes, mainly to calculate operational capacity, such as demand forecast and queuing theory, together with its solution using ExtendSim software application.

This article will depict the different goals to be achieved in the subject, the way the subject is developed and the results that have been achieved lately.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca difundir y compartir una experiencia de la aplicación de las técnicas y modelos de simulación en la asignatura "Análisis de Decisiones y Simulación". Durante el curso se brinda capacitación a los estudiantes en la aplicación y el uso de las técnicas y herramientas necesarias para desarrollar modelos de simulación de operaciones en procesos industriales, con aplicaciones orientadas a determinar la capacidad operativa, tanto con intervalos de tiempo constante –demanda- como a intervalos de tiempo variable –líneas de espera-, y su resolución mediante la herramienta informática ExtendSim.

En el análisis de decisión se plantean y estudian varios escenarios posibles al mismo tiempo, pero es en la simulación cuando se hace una representación de la realidad más verosímil, con resultados probabilísticamente más cercanos a la misma, para después estar en condiciones de tomar la decisión en función de estos.

A lo largo del presente trabajo se hace foco en la aplicación de la simulación en los procesos de operaciones.

Se define simulación como: el proceso de reproducir el comportamiento de un sistema, utilizando un modelo que describa las operaciones del mismo.

La simulación consiste en diseñar un modelo para realizar experimentos sobre un sistema real:

- Determina reacciones a diferentes reglas operativas o cambios de estructura.
- Puede ser usada conjuntamente con técnicas estadísticas y gerenciales tradicionales.
- Se usa normalmente un sistema informático.

En este sentido la simulación es una alternativa indispensable para resolver muchos de los problemas que se presentan en la realidad. Por ejemplo, se puede construir un modelo para simular lo siguiente:

- El proceso de producción en una fábrica, para identificar los cuellos de botellas en la línea de producción.
- La operación diaria de un lavadero de autos o un banco, para comprender el impacto de añadir más recursos, líneas de lavado y operadores o cajeros.

En el ámbito de operaciones de producción de bienes y/o servicios, la simulación permite representar y analizar distintas alternativas de un sistema, y finalmente decidir cuál es la mejor de esas alternativas.

Con esta visión, la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias de la Pontificia Universidad Católica Argentina incorporó al Plan de Estudio de su carrera de grado Ingeniería Industrial la materia "Análisis de Decisiones y Simulación". Esta materia está encuadrada dentro del grupo de las troncales de la carrera –Tecnologías Aplicadas-, y se dicta en el segundo cuatrimestre del cuarto año de la carrera.

2. MARCO TEÓRICO: SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Los docentes que coordinan y dictan este curso han fijado los siguientes objetivos:

- Presentar de manera sistemática las técnicas y herramientas que permiten aproximaciones racionales para la toma de decisiones en el ámbito empresarial industrial y comercial, en un entorno de aleatoriedad, ya sea en condiciones de incertidumbre (con probabilidades desconocidas), como en condiciones de riesgo (con probabilidades conocidas).
- Capacitar en la aplicación y el uso de las técnicas y herramientas necesarias para desarrollar modelos de simulación de procesos industriales, y su resolución mediante aplicaciones informáticas.

Como así también, se han propuesto las siguientes competencias a ser desarrolladas por los alumnos:

- Competencia para identificar, formular y resolver problemas de gestión de operaciones mediante las técnicas de simulación.
- Competencia para diseñar, proyectar y planificar lo referente a la capacidad, niveles de producción, gestión de inventarios y satisfacción de la demanda en la gestión de las operaciones a lo largo de una cadena de suministros.
- Competencia para desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.

A efectos de asegurar el logro de los objetivos fijados, el curso se organizó en torno a seis unidades temáticas:

- Introducción al proceso de decisión.
- Análisis de decisiones bajo condiciones de incertidumbre.
- Análisis de decisiones bajo condiciones de riesgo.
- Implementación de modelos de simulación.
- Aplicación de los Modelos de Simulación.
- Desarrollo y resolución de modelos de simulación mediante la herramienta informática ExtendSim.

Estas seis unidades se agrupan, para su dictado efectivo, en dos módulos: Módulo de análisis de decisiones, y Módulo de Simulación.

La importancia de la simulación radica en que:

- Permite simular el comportamiento de un sistema en diferentes circunstancias de sus variables, analizando los cambios y sus consecuencias.
- Permite probar hipótesis a una fracción del costo que realmente demandaría llevar a cabo las actividades que el modelo simula.
- Posibilita comenzar con una aproximación simple de un proceso y refinarlo gradualmente a medida que la comprensión del proceso mejora (mejora "paso a paso"). En este sentido, a medida que se van agregando mejoras, el modelo imitará más de cerca el proceso de la vida real.

Situaciones para usar la Simulación:

- Cuando los modelos se hacen demasiado complejos.
- Cuando la relación entre las variables no es lineal, o cuando es necesario manejar demasiadas variables y restricciones con enfoques de optimización.
- Para realizar experimentos sin perturbar el funcionamiento de los sistemas reales.
- Compresión de tiempo: obtener estimaciones en mucho menor tiempo del requerido para recopilar los mismos datos de una operación.
- Perfeccionar las habilidades en la toma de decisiones gerenciales por medio de juegos.

Por otro lado, se presenta algunas Aplicaciones de la Simulación:

- Planeamiento Económico: Preguntas del tipo: "Qué pasaría si...?"
- Administración de Inventarios: Niveles de Stock de Seguridad
- Sistemas de Líneas de Espera (Colas)
- Operaciones de Producción: Secuenciamiento de Tareas, Estimaciones de Capacidad de Producción.
- Gestión de Proyectos: Actividades con tiempos aleatorios.

Las etapas de la simulación se encuentran representadas por la Figura1:

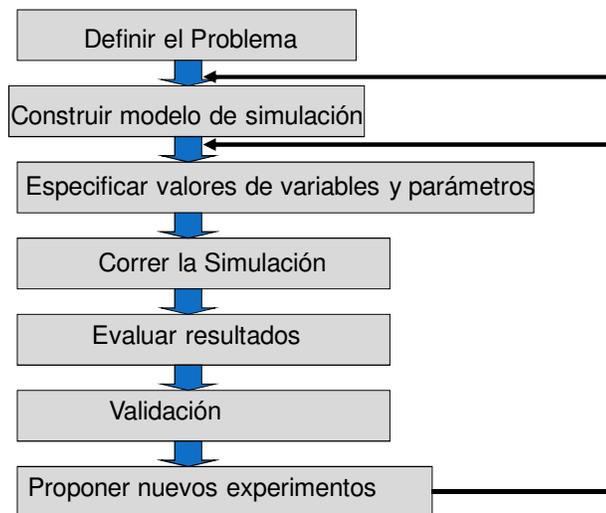


Figura 1 Etapas de la simulación

Los modelos de simulación consisten en la representación de un sistema real mediante un conjunto de relaciones lógicas y cuantitativas entre sus componentes, permitiendo estudiar cómo se comporta el modelo del sistema cuando cambia alguno de sus componentes.

3. SOFTWARE DE APLICACIÓN

Durante la parte práctica de la materia, se utiliza el software ExtendSim, el cual es una poderosa herramienta de simulación, de última generación. Usando ExtendSim pueden desarrollar modelos dinámicos de procesos de la vida real en una amplia variedad de campos. Con ExtendSim se pueden crear modelos a partir de la combinación de bloques, examinar los procesos involucrados y ver cómo se relacionan entre sí. Posteriormente se podrá cambiar los supuestos y encontrar una solución óptima.

La simulación con ExtendSim permite:

- Predecir el resultado de ciertas acciones
- Profundizar en el entendimiento y estimular el pensamiento creativo
- Visualizar sus procesos lógicamente o en un ambiente virtual

- Identificar áreas problemáticas antes de la implementación
- Explorar los efectos de modificaciones a la situación inicial
- Confirmar que todas las variables que afectan el problema son tenidas en cuenta
- Optimizar las operaciones
- Evaluar ideas e identificar ineficiencias
- Entender por qué ocurren determinados eventos
- Comunicar la integridad y viabilidad de los planes

Facilidades del ExtendSim:

- Un sistema completo de bloques que permitirá construir modelos rápidamente
- Una interfaz gráfica personalizable que representa las relaciones en el sistema modelado
- Descomposición jerárquica ilimitada que hace modelos más fáciles de construir y entender
- Diálogos, notebooks y una base de datos integrada que permite cambiar valores en el modelo y probar rápidamente mediante interfaces dinámicas
- Animación en 2D y 3D para una mejor presentación de los modelos
- La posibilidad de ajustar escenarios mientras la simulación está corriendo
- Editor de ecuaciones para crear ecuaciones compiladas
- Posibilidad de modelizar a escala
- Optimización evolutiva, Montecarlo, modo batch, y análisis de sensibilidad para optimizar los modelos
- Reportes personalizados para presentaciones y análisis
- Capacidad de aplicar costeo basado en actividades (ABC costing)
- Interactividad completa con otros programas y plataformas

Algunas características de la arquitectura de la simulación:

- Simulación multi-propósito. ExtendSim es un entorno multi-dominio que permite modelizar dinámicamente entornos continuos, discretos, sistemas lineales, no lineales y mixtos.
- Basado en bibliotecas. Los bloques que se construyen ad-hoc pueden ser guardados en bibliotecas y fácilmente re-utilizados en otros modelos.
- Lenguaje de programación íntegramente compilado y editor de diálogos optimizados para la simulación. Permite modificar los bloques de ExtendSim o construir sus propios bloques para usos especializados.
- Dispone de numerosas funciones de integración, estadística, gestión de colas, animación, matemáticas, vectores, matrices, gestión de datos y cadenas de datos.
- Capacidad de traspaso de datos, valores, vectores, o estructuras matriciales compuestas.
- Apoyo total para una amplia gama de tipos y estructuras de datos. Series, listas vinculadas, números enteros y reales y secuencia de datos se construyen dentro.
- Integración de datos vinculados. Conecta los datos del cuadro de diálogo del bloque con las bases de datos internas.

El formalismo que se utiliza para especificar un sistema es llamado metodología de modelización.

Las tres principales metodologías de modelización son:

- Modelos continuos: El ExtendSim utiliza la Biblioteca de bloques denominada "Value".
- Modelos de eventos discretos: El ExtendSim utiliza la Biblioteca de bloques denominada "Item".
- Modelos de tasa discreta: El ExtendSim utiliza la Biblioteca de bloques denominada "Rate".

Modelos continuos: En modelos continuos, los cambios en los valores tienen una relación directa con el paso del tiempo t , y el tiempo "pasa" en incrementos iguales Δt . Luego de cada avance Δt se mide el estado del sistema. En otras palabras, los valores reflejan en cada momento el estado del sistema modelizado, y el tiempo simulado avanza uniformemente de una unidad de tiempo Δt constante a la siguiente. Ejemplo: proceso de producción de un determinado líquido (refinación de combustible, producción de bebidas, etc.), en el cual hay una entrada continua de materia prima y también una salida continua de producto terminado. Otro ejemplo: Contaminación de un reservorio acuático.

Modelo de eventos discretos: En el caso de modelos de eventos discretos, el estado del sistema cambia cuando ocurre un evento, y sólo cuando estos eventos ocurren. El mero paso del tiempo no tiene efecto directo en el modelo. En estos sistemas discretos a intervalos variables ó "evento a evento" ó "eventos discretos", el parámetro "t" se modifica (avanza) cada vez que se produce un evento, independientemente del tiempo transcurrido entre eventos. Es decir, el estado del sistema se mide solamente cuando se produce un evento. Ejemplos: sistema de colas (el sistema se modifica cada vez que entra un cliente y cada vez que sale un cliente), proceso productivo de manufactura (se modifica cuando un producto en proceso va pasando de una operación a otra, cada vez que sale de producción y entra al inventario de producto terminado), o cuando las entidades individuales (partes) son ensambladas conforme a ciertos eventos (la llegada de órdenes de los clientes).

Utilizando la analogía de la tubería para la simulación de eventos discretos, la tubería puede estar vacía o mostrar una cantidad de baldes de agua atravesándola. De manera contraria a un flujo continuo, los baldes de agua saldrán de la tubería a intervalos aleatorios.

Modelos de tasa discreta: Son un híbrido, que combina aspectos de modelos continuos y de eventos discretos. Tal como los modelos continuos, simulan el flujo de materia en vez de ítems; pero tal como los modelos de eventos discretos, recalculan valores y porcentajes cada vez que ocurre un evento. Utilizando nuevamente la analogía de la cañería para una simulación de tiempo discreto, hay un constante flujo de fluido pasando a través de la cañería. Pero la cantidad de flujo y/o su recorrido pueden cambiar cuando un evento ocurre.

La Tabla 1 resume la clasificación de las metodologías de modelización del ExtendSim.

Tabla 1 *Clasificación de las metodologías de modelización del ExtendSim*

Tipo de modelización	¿Qué modeliza?	Ejemplos
Continuo	Procesos continuos	Procesos: químicos, biológicos, económicos
Eventos discretos	Ítems individuales	Sistemas de colas de artículos o personas, o proceso productivo, se modifica cuando un proceso va pasando a otra operación. Información: datos, mensajes.
Tasa discreta	Flujo de materiales	Flujos de materiales basados en tiempo: productos homogéneos, producción de alta velocidad, entrada y flujo de datos, minería

En la Tabla 2 se presentan algunas características que permiten la comparación entre las tres metodologías de modelización del ExtendSim.

Tabla 2 *Comparación de modelos*

Factor	Continuo	Eventos discretos	Tasa discreta
¿Qué causa un cambio en el estado del modelo?	El paso del tiempo	Un evento	Un evento
Intervalos de tiempo - Δt	Los intervalos de tiempo son constantes. El modelo recalcula secuencialmente en función del paso del tiempo. $\Delta t = \text{constante}$	Los intervalos entre eventos son dependientes de la ocurrencia del evento. El modelo recalcula cuando ocurre un evento.	Los intervalos entre eventos son dependientes de la ocurrencia del evento. El modelo recalcula cuando ocurre un evento
Características de lo modelizado	Rastrea las características en la base de datos o asume que el flujo es homogéneo.	Utilizando atributos, se asignan a los ítems características únicas, permitiendo que puedan rastrearse a lo largo del modelo.	Rastrea las características en la base de datos o asume que el flujo es homogéneo.
Orden	FIFO	Los ítems pueden moverse por orden FIFO, LIFO, Prioridad o personalizado.	FIFO

4. ESTUDIO DE CASO Y RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentará el siguiente caso de aplicación para modelar un proceso de gestión de las operaciones:

El gerente de operaciones de una planta envasadora de aguas saborizadas estudia la posibilidad de envasar botellas en una instalación automatizada. Para eso tendría que instalar una combinación de dos robots. Trabajando en serie, los dos robots (llamados Mel –para la operación de llenado de las botellas- y Danny –para la operación de cerrado de las botellas-) son capaces de realizar todas las operaciones requeridas. El lote inicial es de 200 botellas por día, y se despacha al inicio de la jornada. Frente a Mel se formará una fila de espera de todas las unidades. Cuando Mel termine su parte del trabajo –llenado-, la botella se transferirá directamente a Danny –cerrado-.

Todas las unidades del lote necesitan ambas actividades (llenado y cerrado). Los tiempos de procesamiento son variables aleatorias y se comportan de acuerdo con las siguientes distribuciones de probabilidad:

- Mel (llenado): distribución normal: Media: 2 min, desviación estándar: 0,5 min.
- Danny (cerrado): distribución normal: Media: 3 min, desviación estándar: 1 min.

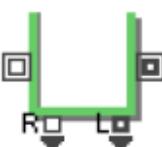
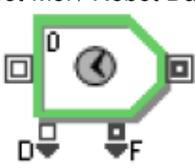
1. Realizar la modelización.
2. Estimar cuántas unidades se producirán en una jornada laboral (8hs).
3. ¿Cuántas unidades quedaron sin procesar? ¿Y con stock intermedio?

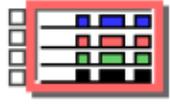
Desarrollo:

Modelizado de la línea de envasado

La tabla 3 muestra un listado de los bloques que se agregarán a la hoja de trabajo, y cómo se utilizarán en el modelo. Con excepción del bloque Plotter de la biblioteca Plotter, los siguientes bloques son de la biblioteca Item.

Tabla 3 Descripción de los bloques utilizados y carga de parámetros

Nombre (Etiqueta)	Función del bloque	Ingresando los parámetros de diálogo y configuraciones
<p>Create (entrada) Botellas vacías</p> 	<p>Genera ítems o valores, al azar o programados. Si se utiliza para generar ítems, los empuja dentro de la simulación y deberá ser seguido por un bloque Queue (cola de espera)</p>	<p>En el diálogo del bloque "Create", la configuración que se selecciona es por programa, y se ingresa un lote inicial de 200 botellas vacías.</p>
<p>Queue (Cola) o stock intermedio</p> 	<p>Funciona como una cola ordenada o como un pool de recursos de cola. Como cola ordenada, los ítems esperan en orden FIFO o LIFO o basados en sus atributos o prioridades.</p>	<p>Por defecto el bloque Queue, tiene especificada una cola ordenada (sorted queue), con ítems guardados y liberados en el orden FIFO. Como esto es lo que el modelo especifica no se hace ningún cambio en la cola. Cola 1: Contiene las botellas inicialmente vacías. Cuando el robot de llenado Mel se libera, deja salir las botellas una por una en el orden FIFO. Cola 2: stock intermedio de botellas llenas, esperando para ser cerradas por el robot Danny.</p>
<p>Activity (Actividad) Robot Mel / Robot Danny</p> 	<p>Procesa uno o más ítems simultáneamente. El tiempo de procesamiento es constante, o basado en la distribución de probabilidad, o atributo de un ítem.</p>	<p>En este caso en el robot Mel, el tiempo de llenado tiene una distribución normal, con una media de 2 minutos con un desvío estándar de 0.5 minutos. Y en el robot Danny, el tiempo de cerrado tiene una distribución normal, con una media de 3 minutos y un desvío estándar de 1 minuto.</p>
<p>Exit (salida)</p> 	<p>Libera ítems de la simulación y los cuenta a medida que salen.</p>	<p>Libera las botellas llenas y cerradas del modelo.</p>

<p>Plotter (Tablero de resultados)</p> 		<p>Reporta el tamaño de los stocks (colas) de botellas vacías y botellas llenas sin cerrar (intermedio), y cuántas botellas llenas y tapadas han salido.</p>
--	--	--

El modelo completo puede observarse en la Figura 2.

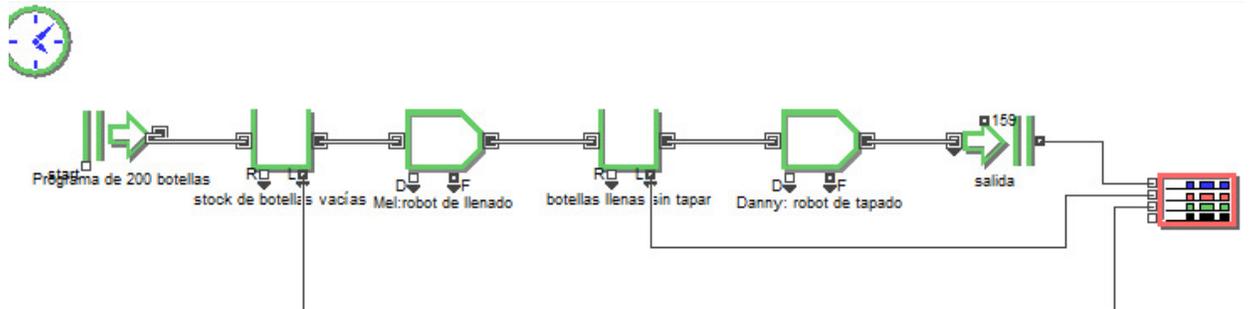


Figura 2 Modelizado de la línea de envasado con dos robots

Al final de la corrida de simulación, el Plotter muestra unas 152 botellas llenas y tapadas, unas 47 botellas esperando a ser tapadas, y 1 botella en proceso de cerrado en el robot Danny. Estos números tienen sentido considerando que 1 botella es llenada cada 2 minutos aproximadamente y es tapada cada 3 minutos, y la simulación se corre por 480 minutos.

Los resultados gráficos se observan en la figura 3.

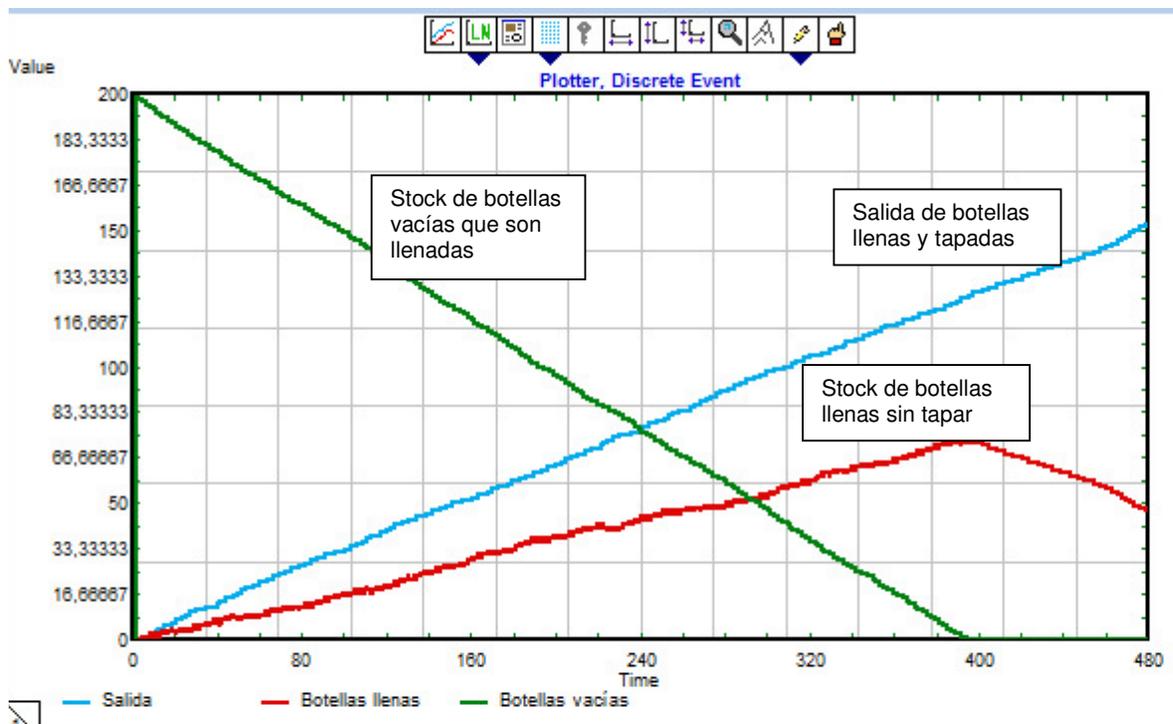
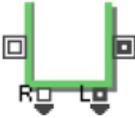
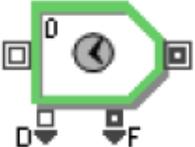
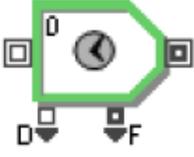


Figura 3 Representación gráfica de los resultados de la simulación de la línea de envasado

La tabla 4 recopila la información de cada bloque al finalizar la corrida de simulación, y por lo tanto ayuda a interpretar los resultados.

Tabla 4 Interpretación de los resultados

Nombre (Etiqueta)	Resultados obtenidos de los cuadros de diálogos de los bloques	Interpretación de los resultados de una corrida de simulación dada																																																																
<p>Queue (Cola) o stock de botellas vacías</p> 	<p>Stock de botellas vacías</p> <p>Queue statistics</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Current</th> <th>Average</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Length:</td> <td>0</td> <td>81,477975</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Wait:</td> <td>394,83663</td> <td>195,54714</td> <td>394,83663</td> </tr> <tr> <td>Arrivals:</td> <td>200</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Departures:</td> <td>200</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reneges:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Utilization:</td> <td>0,8225763</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total Cost:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Stock de botellas llenas sin tapar</p> <p>Queue statistics</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Current</th> <th>Average</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Length:</td> <td>47</td> <td>39,982807</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td>Wait:</td> <td>177,09417</td> <td>85,206178</td> <td>177,09417</td> </tr> <tr> <td>Arrivals:</td> <td>200</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Departures:</td> <td>153</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reneges:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Utilization:</td> <td>0,9867348</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total Cost:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Current	Average	Maximum	Length:	0	81,477975	200	Wait:	394,83663	195,54714	394,83663	Arrivals:	200			Departures:	200			Reneges:	0			Utilization:	0,8225763			Total Cost:	0				Current	Average	Maximum	Length:	47	39,982807	73	Wait:	177,09417	85,206178	177,09417	Arrivals:	200			Departures:	153			Reneges:	0			Utilization:	0,9867348			Total Cost:	0			<p>El stock de botellas vacías parte de un máximo de 200 unidades, y se agota en la simulación 1, en 394,83 minutos. Siendo el stock promedio de 81,48 botellas vacías y el tiempo de espera promedio de 195,55 minutos.</p> <p>El stock de botellas llenas sin tapar, evoluciona incrementándose desde cero botellas hasta un máximo de 73, luego decrece hasta un nivel de 47 botellas en el tiempo 480 minutos. El stock promedio es de 40 botellas.</p>
	Current	Average	Maximum																																																															
Length:	0	81,477975	200																																																															
Wait:	394,83663	195,54714	394,83663																																																															
Arrivals:	200																																																																	
Departures:	200																																																																	
Reneges:	0																																																																	
Utilization:	0,8225763																																																																	
Total Cost:	0																																																																	
	Current	Average	Maximum																																																															
Length:	47	39,982807	73																																																															
Wait:	177,09417	85,206178	177,09417																																																															
Arrivals:	200																																																																	
Departures:	153																																																																	
Reneges:	0																																																																	
Utilization:	0,9867348																																																																	
Total Cost:	0																																																																	
<p>Activity (Actividad) Robot Mel: llenado de botellas</p> 	<p>Robot Mel</p> <p>Block Animation Comments</p> <p>Process Cost Shutdown Preempt Results Contents</p> <p>Processes one or more items simultaneously; outputs each item as soon as it is finished</p> <p>Activity statistics</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Current</th> <th>Average</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Length:</td> <td>0</td> <td>0,8264679</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Wait:</td> <td>1,8679727</td> <td>1,983523</td> <td>3,1285727</td> </tr> <tr> <td>Preemptions:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Shutdowns:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Off-Shifted items:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Blocked items:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Utilization</p> <p>Utilization: 0,8264679</p> <p>Activity is utilized when:</p> <p>Activity is: <input type="checkbox"/> Off shift <input type="checkbox"/> Down</p> <p>Items are: <input type="checkbox"/> Off shift <input type="checkbox"/> Down <input checked="" type="checkbox"/> Processing <input type="checkbox"/> Block</p> <p>Activity state statistics (as a percentage of time and capacity)</p> <p>Busy: 0,83 Idle: 0,17 Blocked: 0 Shutdown: 0</p> <p>Overall statistics</p> <p>Arrivals: 200 Departures: 200 Tot</p>		Current	Average	Maximum	Length:	0	0,8264679	1	Wait:	1,8679727	1,983523	3,1285727	Preemptions:	0			Shutdowns:				Off-Shifted items:				Blocked items:				<p>En este caso el robot Mel llenó las 200 botellas; el tiempo de llenado tuvo un promedio de 1.98 minutos, y un tiempo máximo de proceso de 3,12 minutos. La capacidad fue utilizada en un 83% durante los 480 minutos que duró la simulación.</p>																																				
	Current	Average	Maximum																																																															
Length:	0	0,8264679	1																																																															
Wait:	1,8679727	1,983523	3,1285727																																																															
Preemptions:	0																																																																	
Shutdowns:																																																																		
Off-Shifted items:																																																																		
Blocked items:																																																																		

<p>Activity (Actividad) Robot Danny: tapado de botellas ya llenas.</p> 	<p>Robot Danny</p> <p>[5] Activity <Item></p> <p>Block Animation Comments</p> <p>Process Cost Shutdown Preempt Results Contents</p> <p>Processes one or more items simultaneously; Outputs each item as soon as it is finished</p> <p>Activity statistics</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Current</th> <th>Average</th> <th>Maximum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Length:</td> <td>1</td> <td>0,9950679</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Wait:</td> <td>2,3856231</td> <td>3,1355146</td> <td>6,1088382</td> </tr> <tr> <td>Preemptions:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Shutdowns:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Off-Shifted items:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Blocked items:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Utilization</p> <p>Utilization: 0,9950679</p> <p>Activity is utilized when:</p> <p>Activity is: <input type="checkbox"/> Off shift <input type="checkbox"/> Down</p> <p>Items are: <input type="checkbox"/> Off shift <input type="checkbox"/> Down <input checked="" type="checkbox"/> Processing <input type="checkbox"/> Blo</p> <p>Activity state statistics (as a percentage of time and capacity)</p> <p>Busy: 1 Idle: ##### Blocked: 0 Shutdown: 0</p> <p>Overall statistics</p> <p>Arrivals: 153 Departures: 152 T</p>		Current	Average	Maximum	Length:	1	0,9950679	1	Wait:	2,3856231	3,1355146	6,1088382	Preemptions:	0			Shutdowns:				Off-Shifted items:				Blocked items:				<p>En el caso del robot Danny, despachó 152 botellas, 1 quedó en proceso. El tiempo de llenado tuvo un promedio de 3,13 minutos, y un máximo de 6,1 minutos. La capacidad fue utilizada en un 99,5% durante los 480 minutos que duró la simulación.</p>
	Current	Average	Maximum																											
Length:	1	0,9950679	1																											
Wait:	2,3856231	3,1355146	6,1088382																											
Preemptions:	0																													
Shutdowns:																														
Off-Shifted items:																														
Blocked items:																														
<p>Exit (salida)</p> 	<p>Exit (salida)</p> <p>Report Animation Comments</p> <p>Passes items out of the simulation</p> <p>Reports results</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Number Exited</th> <th>Ignore Resets</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>152</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>		Number Exited	Ignore Resets	1	152	<input checked="" type="checkbox"/>	<p>En el transcurso de la simulación, se liberaron 152 botellas llenas y tapadas del modelo.</p>																						
	Number Exited	Ignore Resets																												
1	152	<input checked="" type="checkbox"/>																												

Con el análisis de este caso, queda claro que la operación de cerrado (robot Danny) es el cuello de botella, y su capacidad no alcanza a cubrir la demanda diaria en horario regular, por lo que deberá hacerlo trabajando en tiempo extra.

Se ha aplicado la técnica de simulación a un caso sencillo, pero sumamente ilustrativo, en el que aparecen conceptos de demanda, capacidad e inventario, y el que orienta a la toma de decisiones, en este caso sobre la necesidad de incrementar la capacidad de la operación identificada como cuello de botella.

5. CONCLUSIONES

En la Gestión de las Operaciones de Producción y Logística, específicas de la actividad profesional de los Ingenieros Industriales, se analizan 3 variables características: Demanda, Producción e Inventarios. La demanda depende del mercado y es el dato fundamental para dimensionar el proceso productivo, la producción resulta de la demanda y su dimensionamiento agrega una cuarta variable que es la Capacidad, y los niveles de inventario son consecuencia de las relaciones entre la demanda y la producción.

Entendiendo esta relación, se comprende que la variable Capacidad es un factor clave en la gestión de Operaciones, y por lo tanto a lo largo del curso del Módulo de Simulación se focaliza en determinar cuáles deberían ser los niveles de capacidad estructural –instalaciones fijas- o coyuntural –horas extras o subcontratación-.

Para esta determinación de niveles de capacidad se aplica la herramienta de Simulación y los cálculos con el software ExtendSim. Se hace teniendo en cuenta las modalidades de la simulación: a) con avance del tiempo a intervalos constantes –para los cálculos de la Demanda a intervalos constantes: diaria, semanal, mensual-, y b) con avance del tiempo a intervalos variables –llegadas de pedidos de lotes de producción, llegadas de clientes a una cola de servicios-.

Tal como se reflejó en el punto anterior en el cual se describió como ejemplo al problema de la Línea de Envasado, los alumnos tienen la oportunidad de trabajar en equipo planteando un problema típicamente de la gestión de operaciones y tomar decisiones en las que aplican conceptos de la carrera.

La experiencia del dictado de los contenidos teóricos y las actividades de formación práctica en la resolución de problemas abiertos de ingeniería industrial, tales como la gestión de los inventarios y el comportamiento de las colas, vistos durante el curso, es muy satisfactoria en los resultados académicos y en la motivación de los estudiantes.

En base a todo lo expuesto se puede concluir que la incorporación de estas herramientas en la curricula de la carrera Ingeniería Industrial no solo tienen un impacto directo sobre la construcción de las competencias específicas del perfil de los futuros profesionales –tomar decisiones de una manera más certera, y en consecuencia con una oportunidad de mejora de la Productividad real, y por ende de la Rentabilidad de las empresas-; sino que desarrollan una serie de competencias genéricas tales como el trabajo en equipo, la definición y el planteo de nuevos problemas, el razonamiento crítico y la habilidad en la toma de decisiones, que son sumamente requeridas en los ámbitos laborales actuales, tanto en las corporaciones empresarias como en las PyMEs.

6. REFERENCIAS

- [1] Mathur, K.; Solow, D. (2000) *Investigación de Operaciones. El arte de la Toma de Decisiones*. Ed. Prentice Hall.
- [2] Piera, M.; Guasch, T.; Casanovas, J.; Ramos, J. (2006) *Cómo mejorar la Logística de su empresa mediante la Simulación*. Ed. Díaz de Santos.
- [3] Coss Bu, Raúl. (2007) *Simulación. Un enfoque práctico*. Ed. Limusa.
- [4] *ExtendSim: Guía del Usuario*. (2008) Imagine That Inc.
- [5] Krajewski, Lee; Ritzman, Larry; Malhotra, Manoj. (2008) *Administración de Operaciones: Procesos y Cadena de Valor*. Prentice Hall.