

## Publicaciones

# La aplicación de la simulación operativa a problemas logísticos<sup>1</sup>

*Por Juan Pablo Guido*

Desde la aparición de los primeros trabajos a mediados de este siglo, la técnica de simulación ha ocupado un lugar de privilegio entre las herramientas de la investigación operativa.

Sin embargo, hasta bien entrados los años ochenta, ese interés en la investigación y el entrenamiento académico no pudo encontrar un correlato en el ámbito empresarial. Es que aún cuando se reconocían los enormes atractivos de la simulación como soporte a la toma de decisiones, las dificultades en la aplicación de esta técnica a la vida real de las compañías (modelos costosos de construir y validar, muy poco flexibles frente a condiciones cada día más inestables, y habitualmente concebidos y manejados "por expertos", no por los reales operadores del sistema) atentaban contra su efectiva aplicación a la problemática de las empresas.

Con el advenimiento de la "revolución informática" iniciada a fines de la década pasada, y la consolidación de las plataformas gráficas (ej.: Windows, Macintosh), la simulación ha comenzado a recuperar el terreno perdido, constituyendo hoy una herramienta imprescindible en áreas tales como la investigación y el desarrollo de nuevos productos, la ingeniería ambiental y otros.

Es nuestro interés presentar aquí la aplicación de estas técnicas a las operaciones logísticas, un ámbito donde las ventajas de la simulación han sido particular y tradicionalmente reconocidas, pero en las que existe todavía (en especial en nuestro país) un enorme camino a recorrer.

Antes de exponer algunos ejemplos de aplicaciones concretas en operaciones logísticas, sin embargo, vale la pena detenerse un momento a repasar brevemente los fundamentos y las ventajas de la simulación como metodología de análisis de decisiones y a reconocer los elementos principales de un modelo de simulación desarrollado con el apoyo de herramientas informáticas diseñadas en este nuevo ambiente.

### La simulación como metodología de análisis

Aun cuando no las reconozcamos bajo este nombre, distintas formas de "simulación" son habitualmente conocidas: desde los simuladores de vuelo o de conducción de automóviles hasta las proyecciones de flujos de fondos constituyen ejemplos de modelos que emulan sistemas reales.

Es que la simulación, tal como la definiera Bobillier en 1976, constituye "una técnica para la construcción y ejecución de un modelo de un sistema real, con la finalidad de estudiar el comportamiento de éste, sin romper su entorno". De esta manera, el modelo es susceptible de ser sometido a las condiciones de incertidumbre propias de cualquier sistema operativo real, determinando su reacción y comportamiento, sin riesgo de que esa inter-

vención suponga peligro o interferencia con la realidad -sean estos pasajeros, arcas de una compañía o sistemas operativos-.

Aplicada a la realidad empresarial, la simulación aparece entonces como una herramienta de suma utilidad a la hora de testear hipótesis de trabajo antes de su desarrollo e implementación, lo que permite aspirar a drásticas economías de dinero, de tiempo y de esfuerzo. Nuestra experiencia demuestra que la modelización de un sistema operativo permite, además, profundizar notablemente la comprensión del mismo, a partir de la explicitación de las relaciones entre los distintos elementos contenidos en él, y del reconocimiento de las variables de mayor impacto en su desempeño.

El correcto desarrollo y aplicación de un modelo de simulación supone un proceso habitualmente estructurado en cuatro pasos, tal como se muestra en el gráfico 1:

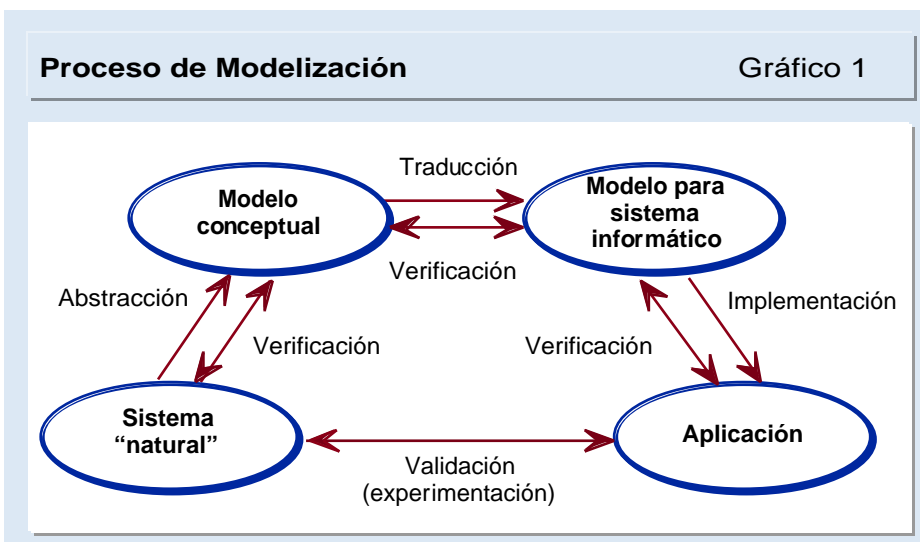
- en primer término, la construcción de un modelo conceptual representativo del sistema real. Este proceso de **abstracción** es clave para asegurar no sólo la efectividad de la modelización -esto es, que los comportamientos se ajusten a los de la vida real-, sino también la eficiencia en el compromiso de recursos para su desarrollo. En este sentido, un buen modelo no es aquel que intenta copiar integralmente la realidad, sino

aquel que reproduce sólo la parte relevante del sistema bajo análisis.

- en segundo lugar, este modelo conceptual deberá ser transformado en un programa computacional que soporte la operación del mismo. Es en esta etapa de **traducción** del modelo a un lenguaje de programación donde las nuevas herramientas informáticas han tenido un impacto crítico, simplificando y reduciendo

más de cinco veces el tiempo requerido para llevar adelante esta tarea, que solía ocupar entre el sesenta y el ochenta por ciento del timing total de un proyecto de modelización.

- esta reducción de los tiempos de programación ha permitido destinar el tiempo a la tarea de verdadero valor en este proceso: el **análisis de los resultados** de la simulación, sometiendo al sistema modelizado a diferentes condiciones operativas y proponiendo distintas estrategias de despliegue de recurso, midiendo su desempeño de manera objetiva.
- finalmente, y en particular en proyectos que supongan niveles de riesgo o de compromiso de recursos especialmente relevantes, la **validación** del modelo constituye un punto de vital importancia. El desarrollo de experiencias pilotos ad hoc, o la aplicación al modelo de datos históricos



son formas utilizadas en forma habitual para verificar el ajuste entre el modelo desarrollado y la realidad.

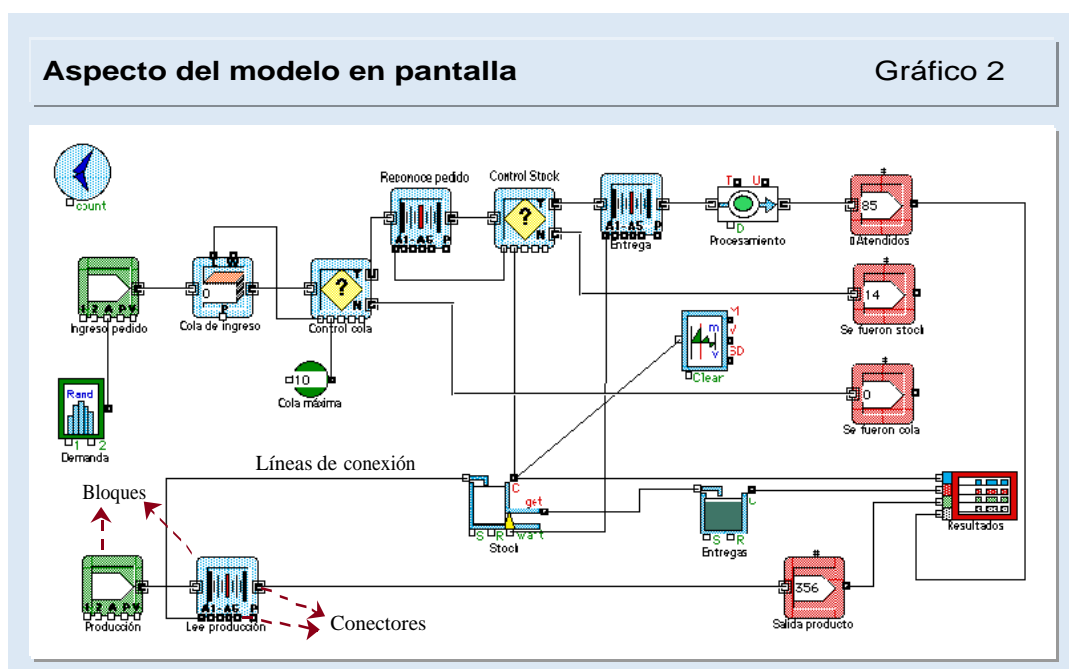
Las drásticas reducciones en los tiempos necesarios para completar este proceso, pasando de proyectos que en el pasado demandaban meses, a calendarios que pueden hoy ser medidos en días; y la posibilidad de desarrollo por los propios responsables de las áreas operativas, sin intervención de especialistas de sistemas, han permitido una transformación en el modo de uso de estas técnicas como apoyo a las decisiones. En efecto, las contadas experiencias de simulación de sistemas operativos de décadas anteriores muestran enormes modelos, con un alto grado de integración y detalle, abarcativos (al menos en la intención) de todas las posibles decisiones sobre el sistema. Hoy, en cambio, el concepto que prevalece es el del desarrollo de modelos pequeños, altamente enfocados y en muchos casos "descartables" una vez aplicados a la decisión para la cual fueron concebidos.

Hemos revisado hasta aquí algunos aspectos elementos básicos de la modelización de desempeño. Sin embargo, para quienes tienen un alma esencialmente práctica será aún difícil "ver" qué es, en concreto, un modelo de simulación de desempeño. A ellos nos dedicaremos en los próximos párrafos.

### Un modelo básico de simulación de desempeño

En el gráfico 2 es posible ver el "aspecto" típico de un modelo de simulación de desempeño. Aunque se trata de un modelo sencillo, contiene todos los elementos principales de una modelización de mayor complejidad.

Se trata en este caso de simular la gestión de inventarios en un almacén de productos terminados, al que llegan pedidos con frecuencia y cantidad aleatoria.



Esos pedidos son ubicados en una "cola" de ingreso, que es monitoreada en forma permanente en relación a una condición de servicio (ej.: tiempo de demora de atención de una orden inferior a x minutos, nro. de pedidos en espera inferior a y unidades, etc.), y penalizada en caso de que la misma sea vulnerada. Una vez determinada la cantidad solicitada, se verifica el nivel de existencias y la capacidad de hacer frente a la nueva orden, reconociendo y castigando las eventuales roturas de stock.

Si la orden puede ser satisfecha, se da curso a su procesamiento, que requiere el compromiso de recursos asociados a una determinada capacidad y productividad (llámese horas hombres, horas máquinas, etc.). Finalmente, el pedido es reconocido como satisfecho.

Paralelamente a este proceso, el almacén es realimentado desde un sistema productivo, con una cadencia conocida pero aleatoria. Esas unidades, sumadas a las del stock inicial, irán conformando la inversión en inventarios contenida en el sistema.

Al ejecutar o "correr" la aplicación, el modelo simulará el comportamiento del sistema real a lo largo de un día de trabajo (duración que por supuesto puede ser modificada según los requerimientos de cada caso), obteniéndose en pocos segundos los resultados que, de otra manera, hubieran significado el seguimiento de ocho horas de operación: niveles de servicio, inversión promedio en inventarios, roturas de stock, aprovechamiento de la capacidad de procesamiento disponible, etc.

No es el objeto discutir aquí las múltiples decisiones asociadas incluso a un sistema tan sencillo como el aquí descrito y la utilidad de la simulación para la evaluación de las distintas alternativas de solución. Antes bien, pretendemos presentar a continuación los componentes habituales de una modelización de desempeño desarrollada bajo la nueva generación de aplicaciones informáticas:

- los bloques constituyen los elementos básicos de un modelo de simulación. Similares a bloques de un diagrama de proceso, estos elementos reciben, generan, procesan y/o emiten información, en forma autónoma o interactiva con un operador, mediante un programa incluido en el mismo. Cada bloque es representado por un icono o figura única, que permite

Pantallas de diálogo Gráfico 3

**[0] Import**

Generates items according to a distribution.

Constant  
 Erlang  
 Exponential  
 Integer, uniform  
 Normal  
 Real, uniform  
 Triangular: \_\_\_\_\_ is most likely.  
 Weibull

(1) Mean =   
 (2) (unused)

No item at time zero

Set attribute, priority, or number of items (optional):

Attr. name =  Priority =   
 Attr. value =  # of items(U) =

Use block seed offset

Comments

(Help) Ingreso pedido

**[19] Activity, Delay**

Holds an item for a specified amount of time (delay).

Delay (time units) =

Utilize blocking  
 "T" connector is true/false

Arrivals	86
Departures	85
Utilization	0.84855563381

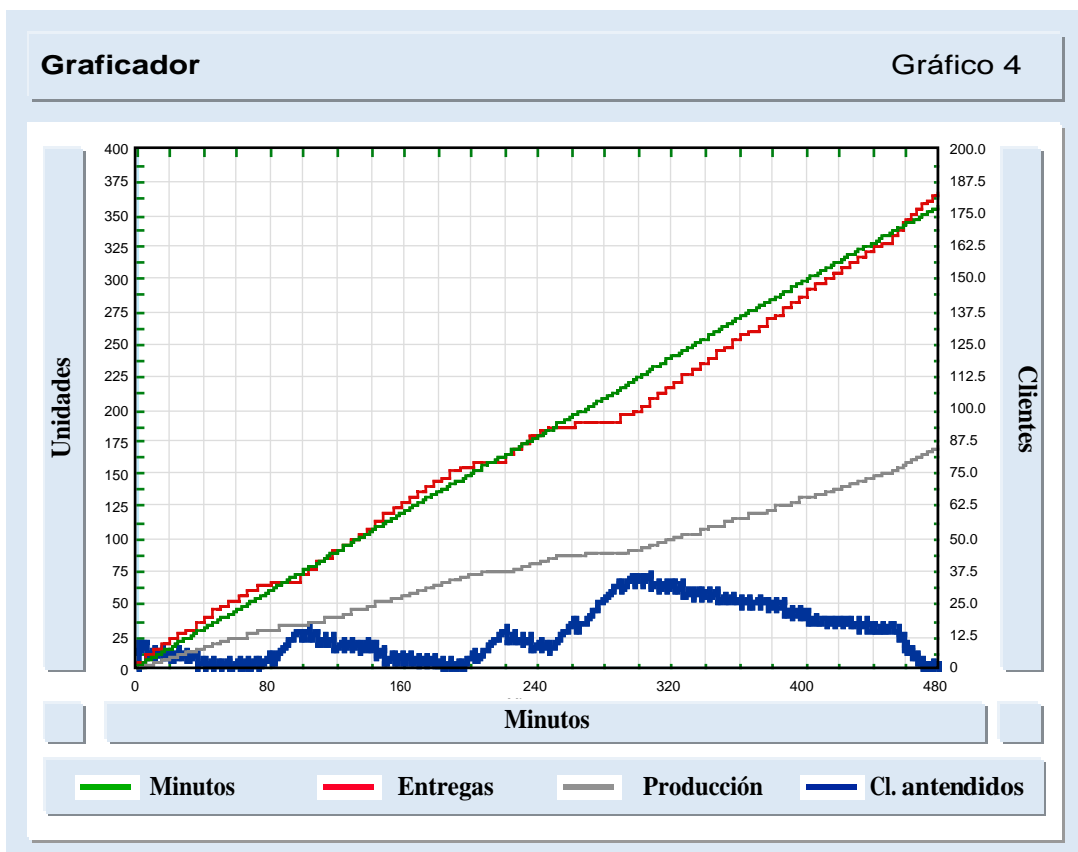
Comments

(Help) Procesamiento

reconocer sus capacidades y operaciones: generar ítems en forma fija o aleatoria, almacenar unidades, procesar elementos, medir y graficar resultados, etc.

- los conectores representan los medios de acceso y salida natural de información de un bloque. Cada conector tiene un significado único para el bloque, de manera de permitir al programa asociado a él reconocer la forma de procesar los datos recibidos, y al operador del sistema identificar la información emergente.
- las líneas de conexión constituyen el modo de unir bloques, mostrando el flujo de información a través del modelo. De esta manera, modelizar es, en definitiva, "unir" bloques representativos de cada etapa de un proceso de acuerdo a su secuencia operativa, sin necesidad alguna de programación o codificación.
- finalmente, cada bloque cuenta con una pantalla de diálogo, que permiten la interactividad del sistema con el usuario, tanto para el ingreso de valores y condiciones de operación como para la provisión de información respecto al estado del modelo. En el gráfico 3 se muestran las pantallas de diálogo correspondientes a los bloques de Ingreso, en la que puede indicarse, entre otros datos, la modalidad y frecuencia de ingreso de órdenes; y al bloque de Procesamiento, en la que es posible observar el tiempo operativo requerido para el procesamiento, el aprovechamiento de la capacidad disponible, etc.

Es habitual que las aplicaciones de simulación provean una serie de elementos adicionales destinados a facilitar aún más el desarrollo, la exposi-



ción y el análisis de resultados del modelo: plotting, que facilita la exposición gráfica de los resultados de la simulación, tal como se muestra en el gráfico 4; jerarquización de bloques, que permite ir elaborando submodelos que serán integrados bajo un único bloque, para su posterior utilización en un sistema superior; análisis de sensibilidad, destinado a entender el impacto de movimientos en determinadas variables del sistema; etc.

No es necesario profundizar más en el conocimiento de estos sistemas para entender el enorme impacto que su facilidad de comprensión y manejo han supuesto a la hora de hacer efectivos y asequibles los beneficios de la simulación. Pero sí parece propicio avanzar ahora en el tema que da nombre a este artículo: la aplicación de estas técnicas a los problemas logísticos.

### **La aplicación de la simulación operativa a problemas logísticos**

Tal como anticipáramos líneas arriba, aún cuando en sus inicios la simulación halló en la problemática logística excelentes ejemplos "de laboratorio" (modelos de Montecarlo para simulación de respuesta de stocks, colas de atención, etc.), recién en los últimos años han aparecido aplicaciones concretas de estas técnicas a cuestiones de real valor para la compañía.

En este sentido, creemos interesante compartir algunos ejemplos de proyectos que hemos recogido durante nuestra experiencia en esta materia.

- 1.- Sistemas de stocks
- 2.- Sistemas one tier - two tier
- 3.- CND
- 4.- EIM
- 5.- Dimensionamiento centro atención clientes

---

<sup>i</sup> Este artículo fue publicado en la revista Énfasis Logístico en Septiembre de 1997.