

# SIMULADOR INFORMÁTICO PARA CURSOS DE ENTRENAMIENTO DE EQUIPOS DE OPERACIÓN DE CADENAS DE DISTRIBUCIÓN

*Alejandro Clausse, Marcelo Vénere*  
Ingeniero Nuclear, PhD, CNEA-CONICET-CIC y Universidad Nacional del Centro.  
clausse@exa.unicen.edu.ar

*Víctor Herrero*  
Ingeniero Nuclear, PhD, Universidad Austral. vherrero@austral.edu.ar

*Lourdes Perea Muñoz*  
Ingeniera Industrial, Universidad Austral. lperea@austral.edu.ar

Recibido: 05-10-2009, aceptado: 17-11-2009, versión final: 17-11-2009

## RESUMEN

---

*Presenta el desarrollo del simulador informático DLS (Distributed Logistic Simulation) que se opera distribuido en red (LAN o Internet) orientado a soporte de cursos universitarios y entrenamiento "in-company". El sistema permite que los instructores diseñen los trabajos prácticos de los cursos en forma ágil, mediante la carga de parámetros de control (lead times, tamaño de inventarios, número de productos, etc.). DLS puede ser adaptado para simular una gran variedad de escenarios logísticos transmitiendo los conceptos principales de la teoría de cadenas de distribución, como gestión de inventarios, determinación y negociación de precios, comunicación de información entre jugadores, etc. El simulador fue aplicado en dos cursos para evaluar el grado de respuesta de grupos de estudiantes, mostrando excelente resultados.*

**Palabras clave:** Simulación, Gestión logística, Cadenas de distribución, Entrenamiento.

## ABSTRACT

*A flexible simulation game environment, DLS (Distributed Logistic Simulation) oriented to university teaching courses and in-company training is presented. Instructors can tailor DLS by simply setting the appropriate parameters. DLS can be adapted to a variety teaching strategies to deliver different major logistics concepts, such as inventory management, capacity management, pricing determination and negotiation, and information-sharing between players. The system was applied in two courses to evaluate the degree of response and learning of groups of students, showing excellent results in both aspects.*

**Keywords:** Simulation, Logistic Management, Supply Chains, Training.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas que se presentan en las implantaciones de proyectos de sistemas informáticos para gestión logística es la capacitación del personal de las empresas en el uso de las nuevas tecnologías, ya que los operarios de las cadenas logísticas generalmente no están familiarizados con nuevas metodologías de trabajo y organización que se pretende implantar. La capacitación de equipos de personas, que generalmente tienen niveles de conocimiento distintos, en el manejo de cadenas logísticas a través de sistemas de información es una tarea bastante compleja que suele demandar tanto o más tiempo como el desarrollo mismo del software. Las universidades, por otro lado, se ven cada vez más presionadas para reducir los costos de la educación, más aún con la preferencia creciente de muchas empresas a contratar profesionales multifuncionales para poder aumentar la competitividad.

En respuesta a estos desafíos, el uso de tecnologías informáticas para cursos de entrenamiento de estudiantes universitarios y operarios logísticos de empresas está creciendo muy rápidamente con el aumento de la capacidad de procesamiento de las computadoras personales y el auge de Internet. Entre las herramientas que están apareciendo, los juegos de simulación informáticos constituyen un paradigma muy interesante que no sólo fomenta la competición entre los estudiantes, sino que también genera el entusiasmo mejorando así el proceso de aprendizaje. Los juegos grupales son actividades competitivas, orientadas a cumplir objetivos dificultosos, dentro de un marco de reglas preestablecidas (Malone, 1981; Martocchio & Webster, 1992). En general, en todos los órdenes, el elemento lúdico está siendo revalorizado desde el punto de vista pedagógico como complemento y suplemento de los métodos de enseñanza convencionales (Randel *y otros*, 1992; Caillois, 2001; Lainema & Nurmi, 2006; Deshpande & Huang, 2009). Es un hecho demostrado que los juegos mejoran la eficiencia del aprendizaje, particularmente en la aplicación práctica de conceptos teóricos y el fortalecimiento de la capacidad humana de pensar (Randel *y otros*, 1992; Rieber, 1996; Mayer *y otros*, 2002).

En los últimos años se han presentado diferentes juegos de simulación para ingeniería industrial y administración de empresas (Alessi & Trollip, 1985; Martocchio, & Webster, 1992; Quinn, 1996). El juego de simulación de operaciones logísticas más conocido es el "juego de la cerveza", desarrollado en la década de 1960 en el MIT (Serman, 1989). El objetivo de este juego es el ensayo de estrategias de distribución y almacenamiento, generando escenarios típicos de resultados inesperados. Actualmente ya existen varios juegos de logística y producción que se ejecutan a través de Internet, donde los participantes actúan de productores, distribuidores mayoristas y minoristas, y administradores de inventarios. Chen (1999) extendió el juego de la cerveza a cadenas de distribución descentralizadas con demanda estocástica. En el juego Hulia, de la Universidad de Haifa, Israel (Kumar, 2007) los participantes deben determinar las estrategias de producción y distribución en una cadena de múltiples etapas. Hay también juegos específicos, como Trading Agent Competition (Sodhi, 2005) que simula una cadena de producción y distribución de computadoras personales y sus componentes, Logi-Game que simula un negocio de bicicletas (Riis, 1995), KFUPM que simula una red de ensamblaje y distribución (Siddiqui *y otros*, 2007), y Lean Leap Logistics Game (Holweg & Bicheno, 2002) que simula la industria automotriz.

En el presente trabajo se presenta el desarrollo del juego de simulación DLS (Distributed Logistic Simulation) orientado al soporte de cursos universitarios y entrenamiento "in-company". El sistema se ejecuta distribuido en diferentes computadoras personales conectadas en red (LAN o Internet), permitiendo el entrenamiento de equipos de operarios de cadenas logísticas. Si bien el propósito primario de la herramienta es la animación de escenarios virtuales de cadenas de distribución, el modelo puede también ser aplicado para el análisis de escenarios *what-if* de procesos reales. En términos generales, los objetivos de DLS son:

1. Ayudar al desarrollo de conocimientos y habilidades para la gestión de cadenas logísticas.

2. Proveer un ambiente lúdico interactivo que sirva de soporte a los instructores en diversas etapas del aprendizaje.
3. Promover la colaboración interuniversitaria mediante el uso de la tecnología informática industrial.
4. Proveer un ambiente virtual flexible para incentivar y practicar actividades de capacitación grupales.
5. Servir de soporte al análisis y ensayo de estrategias logísticas y de diseño de redes.
6. Evaluar la performance de operarios y estudiantes ante situaciones logísticas en un ambiente controlado.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR DLS

DLS esta basado en un modelo fundamental consistente en un sistema de información con componentes independientes que se comunican entre sí mediante mensajes. Los componentes interactivos básicos de DLS son dos, con los cuales se pueden configurar cadenas complejas de distribución, desde la fabricación hasta la entrega al consumidor final. Estos componentes son:

- **Operador Logístico (OL):** puesto de entrenamiento interactivo, en el cual un usuario responde los pedidos que realizan los clientes de ese puesto.
- **Almacén (A):** puesto de entrenamiento interactivo, en el cual un usuario administra el stock de productos de un almacén.

En cada escenario particular, pueden haber varios OL y A (que hacen las veces de ladrillos básicos de la cadena de distribución), cada uno de los cuales se ejecuta en una computadora personal en la cual se entrena un participante.

Además de los componentes OL y A hay dos componentes con los que se construyen las comunicaciones entre la cadena logística y el mundo “exterior”, las fábricas y el mercado consumidor final. Los componentes Mercado

y Fábricas no son modificados por los entrenandos, sino que son gestionados por el instructor, el cual puede imponer dinámicamente las condiciones de contorno “upstream” y “downstream”.

La interacción entre los componentes de DLS se realiza por medio de mensajes que se envían a través de un objeto Administrador. Los mensajes propios de la interacción entre los componentes son:

- **Pedido:** se utiliza cuando un componente necesita algo del componente al que esta dirigido, por ejemplo un pedido de productos, una solicitud de devolución, etc.
- **Respuesta:** transmite información ligada a un pedido realizado anteriormente por el receptor, por ejemplo un pedido de productos, el rechazo de un pedido, etc.

El flujo de mensajes es sincronizado por el objeto Administrador, y siempre comienza a partir de la generación de la demanda impuesta por el Mercado, que son introducidos en la cadena logística a través de los OL minoristas. Los OL imponen estrategias a sus respectivas componentes generando pedidos a los A. Estos a su vez deberán diseñar su estrategia de entrega y pedidos a los OL mayoristas, y así sucesivamente. Cuando finalmente los pedidos del Mercado llegan al componente Fábrica, ésta responde enviando los productos para reponer en los almacenes de la cadena, siguiendo una dinámica impuesta por el instructor. El instructor también impone condiciones a los mensajes entre los OL y los A, como demoras, costos, etc. A continuación se describen en detalle las propiedades de cada componente de DLS.

## 3. COMPONENTE OPERADOR LOGÍSTICO

La persona que se entrena a través de una estación OL debe establecer la estrategia más apropiada para atender los pedidos de uno o más componentes que actúan como clientes de la estación, los cuales pueden ser otro OL, un A, o directamente el Mercado. El OL define la estrategia de servicio determinando el sistema de asignación de los pedidos a los empleados:

- Se atienden las solicitudes en el orden en que llegan.
- Se atiende primero el pedido que tiene el vencimiento más corto.

También tiene la posibilidad de establecer el número de empleados y la forma en que se asignan los pedidos:

- Se asigna un operario individual a cada pedido.
- Se acumulan las cantidades pedidas en diferentes pedidos para un mismo producto hasta alcanzar un umbral establecido por el OL superado el cual se asigna la lista de pedidos a un empleado (desdoble de las órdenes).

El OL recibe a su vez mensajes de respuesta cada vez que un empleado ha regresado del almacén en busca de o devolviendo mercadería

### 3.1. Componente Almacén

En este componente el participante asume el rol de administrador de un inventario mediante la definición de una estrategia para obtener un alto nivel de servicio al mínimo costo. Los parámetros que debe fijar son:

- La forma en que se guardan los productos en las diferentes zonas de almacenamiento, cada zona puede tener distintos costos.
- El transporte que se utiliza para solicitar cada producto al proveedor, lo que define los tiempos de respuesta y los costos de transporte.
- La cantidad de cada producto que se pide al proveedor.
- El stock de seguridad de cada producto.

El participante A recibe un mensaje de pedido cada vez que un operario le solicita la entrega de un lote de productos. Por cada producto en el pedido, el simulador verifica que haya inventa-

rio suficiente y, de ser así, se disminuye la cantidad solicitada. La respuesta a los pedidos tiene una dinámica asociada a los tiempos asignados por el instructor y por las roturas de inventario, pudiéndose generar colas de espera. También, DLS permite la simulación de los problemas de transporte de las mercaderías entre las distintas estaciones de la cadena de distribución (capacidad, velocidad, costos).

### 3.2. Componente Fábricas

Las Fábricas son simuladas por DLS con un componente gestionado dinámicamente por el instructor. Su función es simular el retardo de atención de los pedidos que se hacen a los proveedores primarios de una cadena logística. Esto se logra generando estadísticamente respuestas retardadas a los pedidos que llegan al componente Fábricas. Los parámetros estadísticos son establecidos dinámicamente por el instructor.

### 3.3. Componente Mercado

El componente Mercado es un generador automático de pedidos estocásticos que se envían a los operadores logísticos asociados directamente con este componente (minoristas). Los parámetros estadísticos del Mercado son impuestos por el instructor, pero este componente tiene un algoritmo que simula la preferencia de los consumidores según precio y nivel de servicio. Cuando un operador logístico entrega mercadería a este Mercado de consumidores finales, este componente evalúa si la entrega fue realizada en tiempo y forma. En base a esta evaluación, el Algoritmo de mercado aplica un modelo de preferencia para generar la demanda futura. El modelo de demanda de DLS cambia la probabilidad de elegir cada OL minorista en cada paso temporal. El OL minorista que ofrezca menores precios y mejores servicios irá teniendo mayor probabilidad de recibir pedidos, y viceversa.

Al comienzo de la simulación el Mercado envía pedidos de mercadería a los OL minoristas según una distribución de probabilidad multinomial, cuyos pesos son las inversas del pre-



cio promedio  $p$  de oferta de cada OL minorista. Cada vez que un OL realiza una entrega de mercadería al Mercado, se calcula y asigna un precio "aparente" para ese OL de acuerdo a:

$$P_a = p(1 + Dt_e) \quad (1)$$

donde  $t_e$  es el tiempo de la última entrega y  $D$  es un coeficiente de desconfianza, el cual a su vez se modifica en cada paso temporal. Si  $t_e$  satisface el plazo acordado o la entrega fue completa,  $D$  baja, y viceversa. El instructor establece la magnitud con que impacta el servicio en  $D$ , pudiéndose generar escenarios donde los precios reales predominan sobre el servicio o viceversa. El coeficiente de desconfianza  $D$  se calcula también para cualquier operador logístico, lo cual es usado por DLS para la evaluación del nivel de servicio de cada estación.

### 3.4. Indicadores para la evaluación de los participantes

DLS provee dos indicadores de evaluación de cada entrenando: performance económica y performance operativa.

**Performance económica:** Se evalúa mediante el indicador económico  $IE$ , que proporciona un valor entre uno y diez de acuerdo a la ganancia neta  $GN$  obtenida por la estación de trabajo gestionada por el evaluado. Para calcular este valor antes de comenzar la simulación el instructor define y comunica a los participantes la ganancia mínima  $GNMin$  y máxima  $GNMax$  dentro de las cuales se calculará el indicador.

$$IE = \begin{cases} \text{if } (GN > GNMax) \text{ then } IE = 10 \\ \text{if } (GN > GNMax) \text{ then } IE = 1 \\ \text{else } IE = 1 + 9 \left( \frac{GNMax - GN}{GNMax - GNMin} \right) \end{cases} \quad (2)$$

**Performance operativa:** Se avalúa mediante el indicador  $IS$  que proporciona un valor entre uno y diez de acuerdo al nivel de servicio de las estaciones de trabajo. El nivel de servicio de una estación A es el porcentaje de pedidos que para los cuales había mercadería en stock

cuando fueron realizados. El nivel de servicio de una estación OL se calcula como:

$$IE = \begin{cases} \text{if } (GN > GNMax) \text{ then } IE = 10 \\ \text{if } (GN > GNMax) \text{ then } IE = 1 \\ \text{else } IE = 1 + 9 \left( \frac{GNMax - GN}{GNMax - GNMin} \right) \end{cases} \quad (3)$$

donde  $T$  es el tiempo total de la simulación, sobre el cual se realiza la integral, y  $D_{min}$  y  $D_{max}$  son cotas superior e inferior que son asignadas y comunicadas por el instructor a todos los participantes. Una operación perfecta de un OL tendrá siempre factor de desconfianza mínimo, con lo cual su indicador de performance será siempre 1. Al contrario, un OL pésimo siempre tendría desconfianza máxima, con lo cual su performance sería siempre 0.

## 4. CONFIGURACIÓN DE ESCENARIOS

DLS permite armar una gran variedad de redes de distribución de mercadería desde los puntos de producción hasta el cliente. Para ello el instructor dispone de una interfase gráfica amigable para cargar los parámetros de configuración, los cuales puede guardar en archivos para su carga futura. El procedimiento de configuración de un escenario consiste en dos pasos: configurar el mercado y las fábricas, y configurar las estaciones OL y A.

### 4.1. Elementos generales

Los elementos generales de un escenario DLS son el mercado y las fábricas.

**Mercado.** Los parámetros que dispone el instructor para configurar el comportamiento del mercado consumidor son los siguientes:

- **Estadística de cantidad de pedidos:** Distribución de probabilidad de la cantidad de pedidos por unidad de tiempo. Se configura seleccionando de una lista el tipo de distribución y luego configurando los parámetros de la distribución elegida (e.g., normal, binomial, etc.).

- **Estadística del *deadline*:** Distribución de probabilidades del *deadline*. Cada vez que el mercado realice un pedido, utilizará esta distribución para definir el tiempo límite de entrega.
- **Cotas mínima y máxima del factor de desconfianza (%):** Valor mínimo que puede tomar el factor de desconfianza. Esta cota se toma como valor inicial del factor de desconfianza para todos los operadores.
- **Penalización por incumplimiento de entrega:** Índice de penalización utilizado para calcular el factor de desconfianza de cada OL minorista.

**Fábricas.** El instructor tiene disponibles los siguientes parámetros para configurar el comportamiento de las fábricas:

- **Precio de fábrica (\$):** Precio de fábrica de cada producto.
- **Volumen unitario (m<sup>3</sup>):** volumen de una unidad de producto.
- **Peso unitario (kg):** peso de una unidad de producto.
- **Capacidad volumétrica (m<sup>3</sup>):** Volumen máximo de una unidad de transporte.
- **Peso máximo (kg):** Peso máximo de mercadería transportable por de una unidad.
- **Unidades disponibles (unidades):** Cantidad de unidades de transporte disponibles.
- **Costo de cambio a este transporte (\$):** Costo fijo incurrido por el almacén cada vez que decide cambiar a esta modalidad de transporte.
- **Costo fijo (\$ por unidad de tiempo):** Costo fijo de cada unidad de transporte por unidad de tiempo (amortización, etc.).
- **Costo variable (\$):** Costo por viaje de cada unidad de transporte (combustible, etc.).

- **Tiempo de viaje:** Tiempo que tarda este transporte en realizar un viaje de ida y vuelta del almacén a la fábrica.
- **Distribución del tiempo de entrega:** Distribución de probabilidad del tiempo de entrega de la fábrica. Se configura seleccionando de una lista el tipo de distribución y luego configurando los parámetros de la distribución elegida.

## 4.2. Componentes básicos

Una vez definidos los parámetros generales, elementos básicos, en el panel de control de administración el instructor define en forma gráfica las estaciones específicas que formarán parte del escenario de simulación. Una vez ubicados todos los componentes se procede a su configuración individual, a saber:

**Almacenes.** Por cada almacén el instructor dispone de los siguientes parámetros de configuración:

- **Costo financiero de los inventarios (%):** Costo de mantenimiento del producto dentro del almacén, expresado en porcentaje del costo de fábrica. No puede ser cambiado por el concursante.
- **Margen inicial de ganancia de los almacenes (%):** Se provee un valor inicial para todos los almacenes, el cual podrá ser cambiado individualmente por cada concursante A en cualquier momento de la simulación.
- **Stock de seguridad inicial (unidades):** El valor inicial es igual para todos los almacenes. Durante la simulación cada participante A puede ir cambiando el stock de seguridad durante la simulación.
- **Tamaño de lote (unidades):** Cantidad de unidades a pedir cada vez que un almacén realiza un pedido a fábrica. El valor inicial es igual para todos los almacenes, y cada participante A puede ir cambiando el tamaño de lote durante la simulación.

- **Demanda estimada durante el *Lead-Time* (unidades):** Cada almacén necesita una estimación de la demanda durante el *Lead-Time*. El valor inicial de esta estimación es igual para todos los almacenes, y luego puede ser estimado y cambiado por cada participante A durante la simulación.
- **Cotas mínima y máxima de la ganancia neta del almacén:** Utilizadas para calcular la performance económica del almacén.
- **Zonas:** El instructor define el nombre de cada zona de almacenamiento que cada almacén, e ingresa para cada una de ellas los siguientes atributos:
  - \* **Peso máximo (kg):** Peso máximo almacenable en la zona.
  - \* **Capacidad volumétrica (m<sup>3</sup>):** Volumen máximo almacenable en la zona.
  - \* **Costo de servicio de los inventarios (%):** Costo de mantenimiento de cada producto dentro la zona, expresado en porcentaje del costo de fábrica.
  - \* **Tiempo de manipulación (unidades de tiempo):** Tiempo que se tarda en acceder a la zona para la búsqueda de mercadería.
  - \* **Costo de manipulación (\$):** Costo generado cada vez que se accede a la zona para la búsqueda de mercadería.
- **Tiempo de viaje al almacén:** Tiempo que tarda un operario en ir al almacén y volver.
- **Cotas mínima y máxima de la ganancia neta:** Se utiliza para calcular la performance económica del OL.

### 4.3. Interfases de usuarios

DLS está basado en un ambiente gráfico tipo Windows, que provee a cada participante con múltiples ventanas que puede abrir simultáneamente durante la simulación, tanto para monitorear las variables relevantes como para introducir cambios en los parámetros de su estación. La figura 1 muestra la ventana de control de la estación de trabajo Almacén y la figura 2 muestra una ventana de monitoreo de la lista de espera de pedidos.

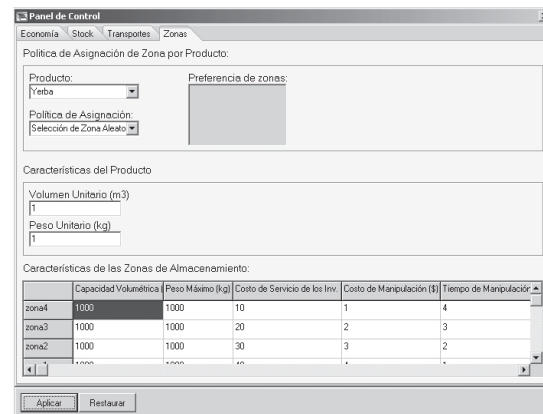


Figura 1. Ventana de control de una estación Almacén

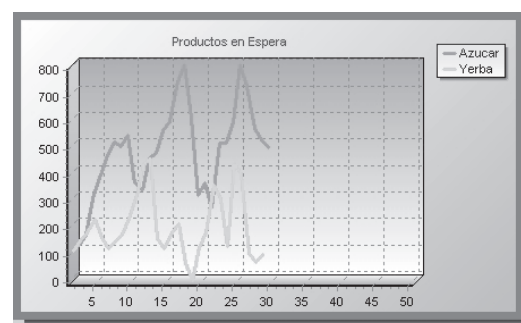


Figura 2. Ventana de monitoreo de los pedidos en espera de los productos de un almacén.

**Operadores logísticos.** Por cada estación OL el instructor dispone de los siguientes parámetros de configuración:

- **Productos:** Lista de productos que maneja la estación OL.
- **Costo de despido:** Costo de despido de un operario.
- **Costo operativo:** Sueldo de un operario por unidad de tiempo.

La figura 3 muestra la ventana de control de un Operador Logístico, y la figura 4 muestra la ventana de monitoreo del estado de los pedidos.

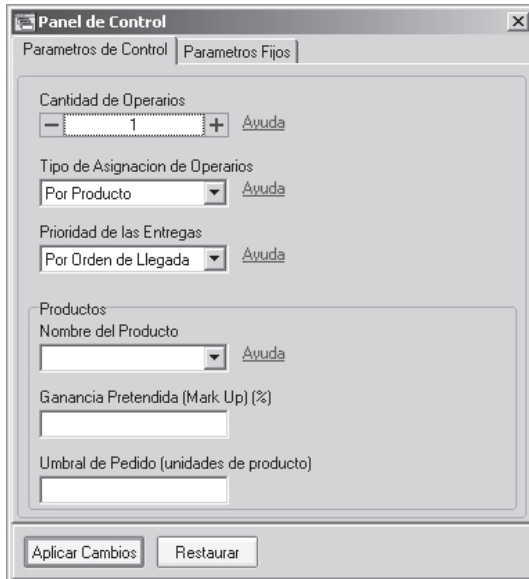


Figura 3. Ventana de control de una estación de Operario Logístico.

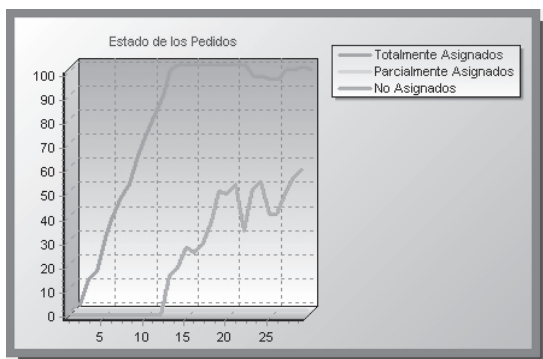


Figura 4. Ventana de monitoreo del estado de los pedidos de un OL.

dos productos. En el curso *in-company* se simuló un escenario de dos equipos A-OL en serie.

### 5.1. Curso universitario: cadenas de abastecimiento en paralelo

La figura 5 muestra el escenario del curso universitario, que está formado por dos fábricas que proveen los productos A y B, los cuales son distribuidos por dos cadenas de abastecimiento. Cada cadena es independiente y tiene la estructura elemental de un almacén y su correspondiente OL. Este escenario es útil para entrenamiento de operaciones logísticas en un ambiente de competencia, y mostró tener un gran poder de motivación en los estudiantes, los cuales aprendían conceptos claves del negocio divirtiéndose.

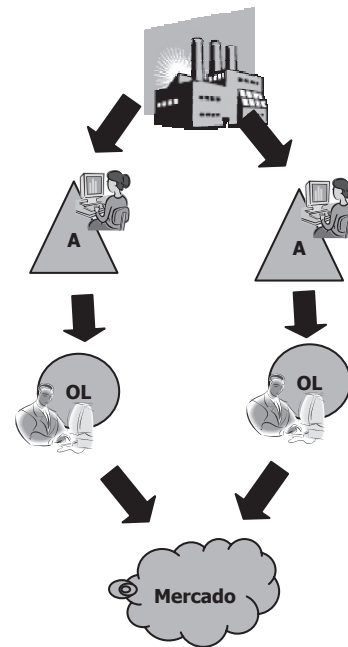


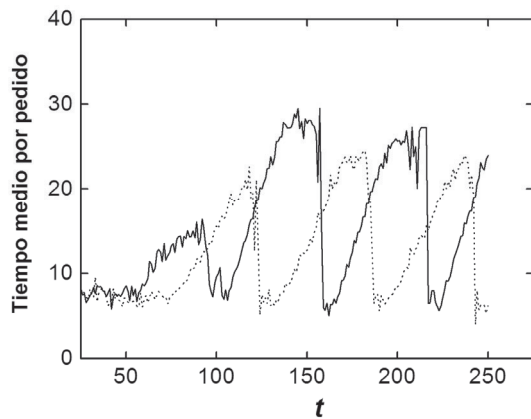
Figura 5. Escenario de dos cadenas simples compitiendo en paralelo.

## 5. APLICACIONES DE DLS EN CURSOS

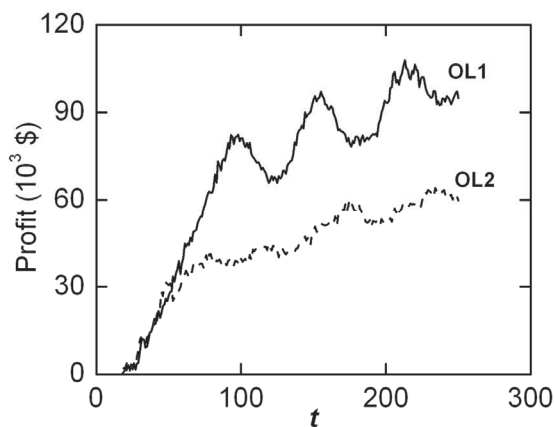
DLS fue aplicado en dos cursos de logística: un curso de operaciones logísticas de la carrera de Administración de Empresas, y un curso *in-company* para entrenamiento de un equipo de operación de una cadena de abastecimiento real. En el curso universitario grupos de a dos estudiantes formando dos cadenas elementales A-OL competían entre sí para la distribución de

En las figuras 6; 7 y 8 se muestra la evolución del sistema en uno los juegos de simulación con las cadenas en paralelo, obtenido con dos equipos de dos estudiantes cada uno (A y OL) compitiendo entre sí. Inicialmente ambas cadenas se configuraron idénticas. En cierto momento el instructor reduce la capacidad de servicio de una de las cadenas, y deja que los cursantes reaccionen por sí solos a este cambio.

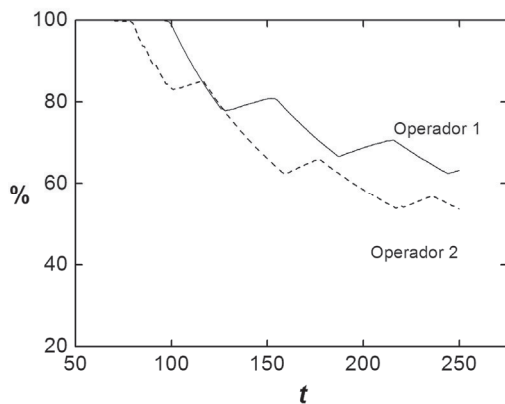




**Figura 6.** Tiempo promedio por pedido de cada OL en el escenario en paralelo (1-línea punteada, 2 línea llena).



**Figura 7.** Evolución de la ganancia de cada OL en el escenario en paralelo.



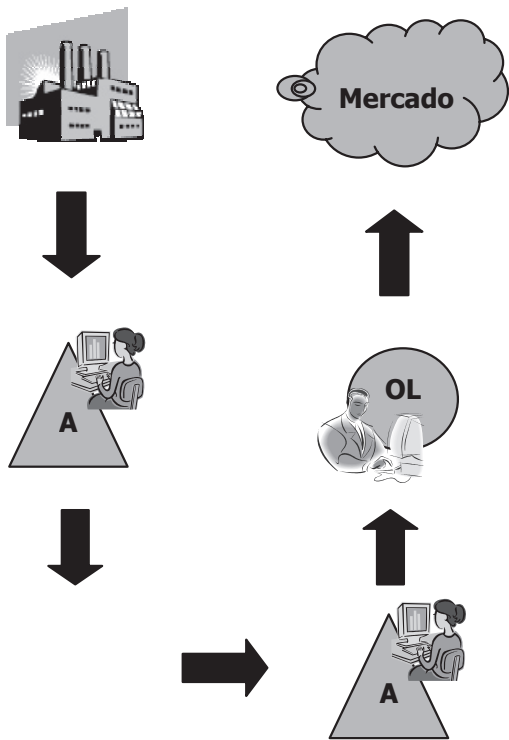
**Figura 8.** Evolución del nivel de servicio de cada OL en el escenario en paralelo.

En la figura 6 se puede observar que la caída de la capacidad de servicio de la cadena 2 causa un aumento del tiempo de servicio correspondiente, lo cual a su vez reduce la confiabilidad del mercado en OL2 (figura 7). Como consecuencia de esto, OL1 comienza a recibir más pedidos del mercado. Sin embargo, como su capacidad de servicio no estaba preparada para responder al incremento de la demanda, un tiempo después su nivel de servicio cae (ver figura 8 después del tiempo 100). A partir de allí, ambas cadenas entran en un patrón oscilatorio alternándose las preferencias del mercado entre las dos cadenas. El periodo de oscilación es de alrededor de 60 unidades de tiempo, con picos de tiempo de servicio que exceden los *deadlines*. La figura 7 muestra la performance económica de los OL, mostrando que aunque OL1 obtiene mayores ganancias, aunque su performance experimenta oscilaciones de gran amplitud.

## 5.2. Curso *in-company*: cadenas de abastecimiento en serie

La figura 9 muestra el escenario del curso *in-company* configurado por una fábrica mono-producto que es distribuido por una cadena de abastecimiento conformada por dos cuplas A-OL en serie. Este escenario es útil para entrenamiento de operaciones logísticas coordinadas entre dos niveles de provisión (*e.g.*, mayorista y minorista).

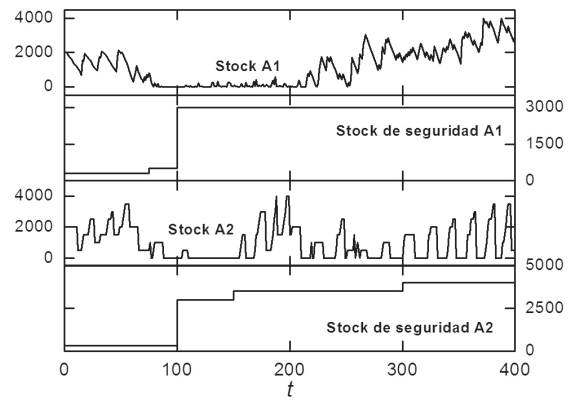
En las figuras 10; 11; 12 y 13 se muestra la evolución del sistema en uno los juegos de simulación en el escenario en serie, obtenido con dos unidades de dos participantes cada una (A y OL) pertenecientes a la misma empresa. Inicialmente se observa que ambas unidades funcionan normalmente respondiendo a una demanda estacionaria del mercado. En cierto momento, el instructor aumenta al doble la demanda del mercado, produciendo una onda de pedidos que se propaga hacia la fábrica. El proceso que sigue es similar a los escenarios del juego de la cerveza.



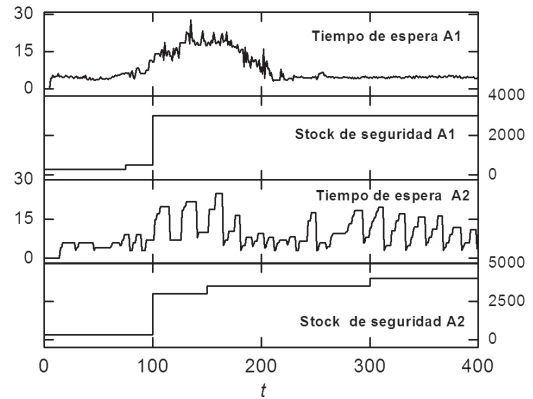
**Figura 9.** Escenario de dos unidades de abastecimiento A-OL en serie.

Es interesante observar que las acciones de los entrenandos provocan cambios en el factor de desconfianza del mercado varias unidades de tiempo después de realizadas. La onda se produce porque los cambios son uno a uno en respuesta a los cambios que perciben en su vecino. Recién en el tiempo 190 se observa que se ha alcanzado una configuración adecuada para satisfacer la demanda.

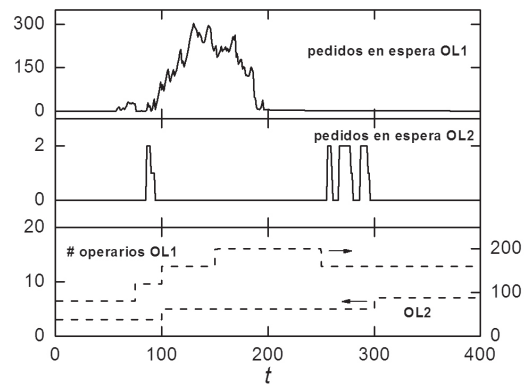
También se pudo observar que algunas acciones de los participantes, que parecían correctas de acuerdo a los indicadores, no lo eran de acuerdo a los requerimientos de la cadena de abastecimiento. Esta percepción errónea se debe a efectos producidos por cambios en los componentes vecinos. La propagación de cambios en cada estación intermedia produce grandes variaciones en las variables de sus vecinos, como por ejemplo en el gráfico de stock del Almacén 2 (figura 10) o el tiempo promedio por pedido de los OL (figura 11).



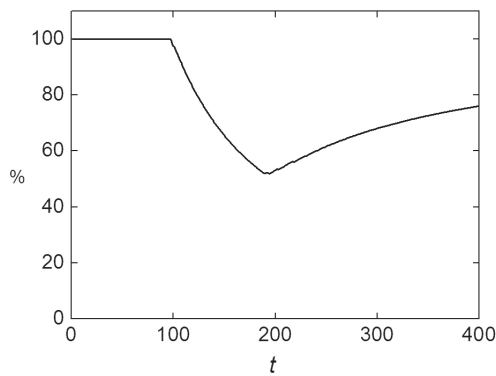
**Figura 10.** Evolución de los inventarios de los almacenes y los stocks de seguridad impuestos por los participantes en el escenario en serie.



**Figura 11.** Evolución de los tiempos de espera promedio de los pedidos a los almacenes y los stocks de seguridad impuestos por los participantes en el escenario en serie.



**Figura 12.** Evolución de la cantidad de pedidos en espera y del número de operarios activos en cada OL en el escenario en serie.



**Figura 13.** Evolución de la performance operativa del OL que abastece al mercado en el escenario en serie.

## CONCLUSIONES

Se presentó el concepto y las aplicaciones de un simulador para entrenamiento en operaciones logísticas, que provee un ambiente lúdico para la implementación de una diversidad de casos de cadenas de abastecimiento. La herramienta incluye un modelo de respuesta del mercado de consumidores finales al nivel de servicio de los proveedores finales, lo cual se traslada naturalmente hacia el interior de la cadena logística.

Además, el simulador provee indicadores económicos y de calidad de servicio de cada participante, lo cual sirve de base al instructor para evaluar el nivel de aprendizaje.

La herramienta fue aplicada en cursos universitarios y cursos "in company", con buena aceptación por parte de los participantes, los cuales mostraron un progreso paulatino de sus habilidades con el número de horas de juego. Principalmente, el uso de la herramienta permite a los alumnos conectar fácilmente los contenidos de las clases teóricas, especialmente en las áreas de gestión de inventarios, cooperación y competición entre entidades de las cadenas de abastecimiento.

Como trabajo futuro, se prevé la incorporación de una herramienta de gestión de demanda que permita conocer a lo largo de la cadena el pronóstico del mercado sobre un horizonte, al menos tan largo como el *lead time* total de abastecimiento. Esto permitirá demostrar cómo un sistema integrado puede ser gestionado sin demoras ni amplificación de errores aguas arriba.

## REFERENCIAS

- Alessi S.M. & Trollip S. (1985), *Computer-based Instruction: Methods and Development*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Caillois R. (2001), *Men Play and Games*, University of Illinois Press, Urbana, USA.
- Chen, F. (1999). Decentralized supply chains subject to information delays, *Management Science* 45, 1076-1090.
- Deshpande, A. & Huang, S. (2009), Simulation games in engineering education: A state-of-the-art review, *Comp. Appl. Eng. Educ.* (en prensa).
- Holweg, M., & Bicheno, J. (2002). Supply chain simulation: a tool for education, enhancement and endeavour, *Int. J. Prod. Econ.*, 21, 163-175.
- Kumar, S., Chandra, C., Seppanen, M. (2007), Demonstrating supply chain parameter optimization through beer game simulation Source, *Information Knowledge Systems Management*, 6, 291-322.

- Lainema, T.; Nurmi, S. (2006). Applying an authentic, dynamic learning environment in real world business, *Computers and Education* 47, 94-115.
- Malone T. (1981). Toward a theory in intrinsically motivating instruction, *Cognitive Science* 4, 333-369.
- Martocchio, J. & Webster, J. (1992). Effect of feedback and cognitive playfulness on performance in microcomputer software training, *Personnel Psychology* 45, 553-578.
- Mayer, R., Mautone, P., Prothero, W (2002). Pictorial aids for learning by doing in a multimedia geology simulation game, *J. Educational Psychology*, 94, 171-185.
- Quinn C.N. (1996). Designing an instructional game: reflections on quest for independence, *Education and Information Technologies* 1, 251-269.
- Siddiqui, A., Khan, M., Akhtar, S. (2007). Supply chain simulator: A scenario-based educational tool to enhance student learning, *Compu. Educ.*, 51, 252-261.
- Sodhi, M. (2005), Managing Demand Risk in Tactical Supply Chain Planning for a Global Consumer Electronics Company, *Production Operations Management*, 14, 69-79 ([www.sics.se/tac](http://www.sics.se/tac)).
- Sterman, J. (1989), Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment, *Management Science*, 35, 321-339 (<http://beergame.mit.edu>).
- Thorteinson, U. (1995), *The LOGI-Game: a dynamic modelling logistic game*. En Riis, J. (Ed.). *Simulation Games and Learning in Production Management* (pp. 176-183). Chapman & Hall, Londres, UK.