

## MODELO DE DEMANDA PARA SIMULADORES INTERACTIVOS DE CADENAS DE SUMINISTRO

Lourdes Perea Muñoz<sup>1</sup>

Víctor Herrero<sup>2</sup>

Alejandro Clause<sup>3</sup>

**RESUMEN:** Se ha desarrollado un modelo de simulación de demanda en el mercado con preferencia de proveedor según la performance de servicio. En las últimas décadas, luego de la aparición del juego de la cerveza en el MIT, se construyeron muchos simuladores de cadenas de suministro con fines educativos y de investigación. Sin embargo pocos de ellos proponen un modelo de competencia entre cadenas, centrándose sólo en la performance de la misma. El resultado presentado es una mejora aplicable a los juegos ya existentes, en particular para DLS (*Distributed Logistic Simulator*). El modelo sigue el comportamiento del mercado tanto en la preferencia de proveedores como en la cantidad solicitada, habiendo definido el nivel de servicio proporcional a la inversa del tiempo de satisfacción de los pedidos y asumiendo que todos los pedidos se satisfacen en algún momento. El modelo tiene especialmente en cuenta el tiempo máximo que un cliente está dispuesto esperar, no importa lo barato que cueste el producto y el precio máximo que pagaría aunque la entrega sea inmediata.

**Palabras claves:** Modelo de demanda. Cadenas de suministro. Simulación.

### 1 INTRODUCCIÓN

La tendencia en el mercado actual es que los negocios no compiten en forma aislada sino que están integrados en cadenas complejas. La gestión de las relaciones a través de los componentes de estas cadenas es a lo que se llama, de manera ya extendida, “Gestión de la Cadena de Suministro” (GCS). Lambert et al. (1998) lo define como la “integración de los procesos clave de negocio desde el usuario final hasta los proveedores iniciales, que provee productos, servicios e información, que agrega valor a los clientes y a otras personas influidas. El entendimiento de esta interacción dinámica y de los mecanismos de integración son elementos clave en la creación de valor.

---

<sup>1</sup>Doctorado en Matemática Computacional e Industrial – UNCPBA, Universidad Austral – CONICET, Buenos Aires/Argentina. E-mail: [lperea@austral.edu.ar](mailto:lperea@austral.edu.ar).

<sup>2</sup>Dr., Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Austral, Universidad Austral – CONICET, Buenos Aires/Argentina. E-mail: [yherreo@austral.edu.ar](mailto:yherreo@austral.edu.ar).

<sup>3</sup> PhD, Nuclear Engineering, CNEA-CONICET y Universidad Nacional del Centro, Tandil/Argentina. E-mail: [alejandrocousse@yahoo.com](mailto:alejandrocousse@yahoo.com).

Esta realidad del mundo de los negocios, supone un importante desafío para las universidades, ya que la naturaleza dinámica de las cadenas hace que los métodos tradicionales de enseñanza no sean suficientes a la hora de transmitir los conceptos de la GCS. Según Sterman (1992) sería equivalente a exponer a un piloto a volar un jumbo jet sin haber pasado antes por largos períodos de entrenamiento en un simulador. Así, con la incorporación de las TICs (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones), los simuladores surgen como complemento para cursos de Gestión Logística y Cadena de Suministro (CS) aportando entre otros los siguientes beneficios:

- Ayudan a conectar la teoría y la práctica para fomentar la comprensión de los alumnos (LEGER, 2006).
- Abren la participación dinámica, lo que debería reducir la resistencia a aceptar ideas y conceptos innovadores (PETRANEK, 1994).
- Dan retroalimentación inmediata al estudiante, haciendo que la interacción con el juego sea un proceso de aprendizaje más que un proceso de evaluación (CROWN, 2001).
- Dan al estudiante la posibilidad de hacer frente a las consecuencias de los resultados de las decisiones tomadas y no ser solo un mero observador (TORRE; MACEDO, 2000).
- Estas herramientas de aprendizaje a través de la experiencia multi-sensorial permite al jugador experimentar la cooperación y el trabajo en equipo sin el riesgo de incurrir en errores a veces costosos (DESHPANDE; HUANG, 2009).

Los juegos de simulación suelen tener un objetivo muy concreto de enseñanza, lo que lleva a realizar simplificaciones de la realidad en orden a focalizarse en ese punto. “No existe ningún juego que pueda aplicarse con éxito a todas las situaciones de enseñanza. Por el contrario, la situación práctica y las necesidades de educación varían tanto que hacen necesarios diferentes juegos” (RIIS; JOHANSEN; MIKKELSEN, 1995). Sin embargo, hay que tener cuidado para que estas simplificaciones no introduzcan distorsiones de la realidad que puedan llevar a los alumnos a conclusiones desacertadas. “Cuanto más realista sea “el mundo del juego”, más efectiva será la simulación (RAVID; RAFAELI, 2000).”

En la sección 2 nos centraremos en la descripción de los juegos de simulación desarrollados que consideramos más relevantes, por sus contribuciones y el interés despertado por otros autores, sin embargo nos interesa subrayar de manera adelantada que la mayoría de

ellos no plantea una competencia real entre cadenas por el mercado. El mercado en estos casos está dado por una demanda (con diferentes características de acuerdo al juego) no influenciada por el comportamiento de la cadena y de su competencia. Así centran su objetivo en maximizar ganancias o minimizar costos logísticos olvidando que toda cadena es en última instancia manejada por el mercado.

Zhang (2006) advierte que ciertos problemas de competencia internos de la cadena son investigados a través de modelos teóricos de juegos, pero hay muy pocos casos que estudien la interacción de múltiples cadenas y en particular la competencia de Cadena de Suministro versus Cadena de Suministro “CS vs CS”, a pesar de un reconocimiento generalizado de que la competencia actual no es ya empresa versus empresa sino entre cadenas. Plantea también las siguientes preguntas: ¿De qué manera compiten las CS?; ¿Qué CS ganará la competencia?; ¿Que porción del mercado (*Market Share*) podrá obtener una CS ganadora?

Por otro lado, hemos encontrado, algunos modelos de demanda aplicados a juegos de simulación de negocios (GOLD; PRAY, 1990). El planteo en estos es la asignación de recursos al “*Marketing Mix*” de modo de lograr la mayor cuota de mercado, pero sin tener en cuenta los costos logísticos asociados a la puesta en el mercado del producto. Encontramos en estos modelos ideas interesantes para plantear nuestro modelo de competencia entre cadenas de suministro.

En la sección 3 describimos el DLS (*Distributed Logistic Simulator*), simulador para el cual desarrollamos el modelo de demanda que se presenta en este trabajo. DLS fue desarrollado con fines de entrenamiento de operadores de cadena, aunque presenta un alto potencial para optimizar decisiones en una cadena, la que deberá ser validada con datos reales.

## **2 JUEGOS DE SIMULACIÓN DE LA CS Y MODELOS DE DEMANDA**

Una rápida selección entre los simuladores existentes nos permitió quedarnos con los más conocidos y representativos. En la Tabla 1 sintetizamos el objetivo de cada uno de estos juegos y una breve descripción de su alcance y tipo de decisiones representadas.

Tabla 1 – Lista de los juegos de Logística y Cadena de Suministro

Nombre del Juego	Descripción	Decisiones/ Alcance	Desarrollado por
MIT Beer Game (www.beergame.mit.edu)	Cadena de suministro de cerveza de 4 eslabones que atiende los pedidos del mercado	Asumir los roles de: Fábrica, Mayorista, Distribuidor o Minorista y determinar las cantidades a pedir. Objetivo: minimizar el costo logístico total, teniendo en cuenta costo de inventario y penalización por ordenes pendientes	Massachusetts Institute of technology, USA (1988)
Columbia Beer Game	Producción y Distribución de Cerveza en una cadena de múltiples eslabones	Asumir los roles de: Fábrica, Mayorista, Distribuidor o Minorista. Objetivo: Similar al Beer Game pero con demanda estocástica	Columbia University (1999)
HuliaGame (www.hulia.haifa.ac.il/Eng/hulia.html)	Producción y Distribución de Cerveza en una cadena de múltiples eslabones	Determinar las estrategias en cadenas de múltiples niveles. Actuar como Minoristas, Mayoristas, etc para determinar las cantidades de pedido. Objetivo: idem Beer Game	The University of Haifa, Israel. (2000)
Trading Agent Competition <a href="http://www.sics.se/tac">http://www.sics.se/tac</a>	Agentes de Comercio que responden a las licitaciones de PCs de los clientes	Ganar las licitaciones de los clientes y ser capaces de coordinar eficazmente el aprovisionamiento, compras, producción, y decisiones sobre plazos y precios. Objetivo: obtener la máxima posición de ganancia.	Swedish Institute of Computer Science (2003)
The Supply Chain Game <a href="http://www.responsive.net">http://www.responsive.net</a>	Red de Suministro de un producto químico	Controlar una empresa virtual, que provee un producto a fabricantes de aires acondicionados, gestionando y ampliando la red de suministros a través de un continente ficticio. Objetivo: Obtener la máxima posición de ganancia	Kellogg School of Management at Northwestern University. (2005)
The Logi-Game <a href="http://www.moltho.dk">http://www.moltho.dk</a>	Gestión de materiales a través de un Canal de Distribución de bicicletas	Actuar como fabricantes, mayorista o minorista tomando decisiones de manufactura y de inventario. Objetivo: lograr el mayor nivel de servicio al menor costo posible.	Technical University of Denmark (2009)
SIMPLE <a href="http://scmlab.nctu.edu.tw:8084/Esimplex/">http://scmlab.nctu.edu.tw:8084/Esimplex/</a>	Producción y Distribución, dentro de una cadena permitiendo la configuración flexible de la misma	Asumir los diferentes roles dentro de la cadena llevando a cabo la gestión de Inventario, gestión de capacidad, determinación de precio y negociación. Permite compartir información entre los distintos eslabones. Objetivo: lograr el mayor nivel de servicio al menor costo posible.	National Chiao Tung University (2009)

Fuente: Autores

De todos los juegos, el más extendido y conocido es el Juego de la Cerveza (STERMAN, 1989), cuyo objetivo es mostrar las ventajas de una visión integral en la GCS. En particular, el valor de compartir información entre los componentes que integran la cadena. Luego de la aparición del juego de la cerveza, diversos y numerosos juegos fueron apareciendo y fueron adoptados no sólo en las aulas para facilitar el aprendizaje sino también en otras circunstancias para estimular la investigación o para introducir la competencia internacional y la colaboración entre estudiantes, profesores e investigadores.

Así, por ejemplo, el *Columbia BeerGame*, se utilizó para modelar una cadena computarizada manejada por agentes artificiales e investigar si estos agentes pueden lograr mejores resultados que los humanos jugando al Juego de la Cerveza (KIMBROUGH; WU; ZHONG, 2002). Y el caso de *Trading Agent Competition* con el que se organizan competencias internacionales con fines de investigación.

Respecto a la simulación del Mercado, en la mayoría de los casos se toma una situación de demanda como dada e igual para todas las cadenas. La falta de disponibilidad es percibida como fundamental en la performance de la cadena y por ende se penaliza con mayor énfasis, por ejemplo, que el inventario mantenido.

Sin embargo la demanda de la cadena no se ve afectada a futuro por la falta de entrega, como tampoco por las estrategias o el buen desempeño de la competencia. Es decir, el problema se centra en la minimización de los costos logísticos dada una demanda inalterada por las decisiones de la cadena.

Si bien son diferentes en cuanto a la diversidad de decisiones y complejidades de los sistemas, podemos citar en esta línea al *BeerGame del MIT*, el *HuliaGame* (RAVID; RAFAELI, 2000), el *Columbia BeerGame*, *TheLogiGame* (THORSTEINSSON, 1995) y *SIMPLE* (CHANG; CHEN, 2009).

*TheSupplyChainGame* (FENG; MA, 2008) y *Trading Agent Competition* (ARUNACHALAM; SADEH, 2005), presentan un enfoque diferente. En el caso del primero el problema es de red de distribución, con pérdida de pedidos por incumplimiento en la entrega, aunque esto no afectará la demanda futura.

En el caso de “*Trading Agent Competition*”, se plantean problemas de competencia entre cadenas tanto aguas arriba, por el aprovisionamiento de componentes, como hacia abajo, por las licitaciones de los clientes finales. Sin embargo, en lo que respecta a demanda, a pesar de plantear la competencia por un pedido en particular, la performance histórica del agente no es tenida en cuenta por el cliente a la hora de asignar un nuevo pedido.

### **3 DLS (*DISTRIBUTED LOGISTIC SIMULATOR*)**

DLS (*Distributed Logistic Simulator*), fue desarrollado en la UNCPBA, bajo la dirección de los Dres. Herrero y Clause. Diseñado para promover el entrenamiento y desarrollo de operadores de CS capaces de coordinar eficientemente las actividades relacionadas con la gestión de materiales, permitiendo medir el impacto de sus decisiones.. Los jugadores pueden aplicar y testear diferentes estrategias en orden a adquirir el mayor nivel de servicio al menor costo posible.

Si bien, el *BeerGame* resulta muy útil para resaltar los efectos de fallas sistémica y amplificación de los errores por retroalimentación. El DLS, agrega: mayor detalle y realismo en las variables de decisión del entrenando; flexibilidad en la construcción de las cadenas; y posibilidad de competencia real por la participación en el mercado, a través del Modelo de Demanda que introduciremos en la sección 4.

El sistema permite configurar diferentes tipos de cadenas de manera muy flexible, mediante la composición de 4 elementos o componentes básicos:

- Almacenes (A) y Operadores de Zona de *Picking* (OZP): Constituyen las estaciones interactivas simulando el escenario logístico. Hacen las veces de Mayoristas, Minoristas, Distribuidores, etc. Son manejadas por los entrenandos.
- Fábricas (F) y Mercado (M): Simulan el mundo exterior. El Administrador o Instructor establece las condiciones contorno de manera externa y dinámica.

### 3.1 Descripción de los diferentes componentes

**Componente Fábrica:** interactúa con los almacenes de los primeros proveedores de la cadena simulando, estadísticamente, demoras en las entregas e imponiendo el precio de fábrica.

**Componente Cliente:** Interactúa con los operadores de zona de *picking* correspondientes a los diferentes *retailers* (último eslabón) de las distintas cadenas. Genera aleatoriamente pedidos de productos y simula preferencias por precio y performance de entrega, de acuerdo al “Modelo de Demanda” establecido.

**Componente Almacén:** de acuerdo al rol desempeñado dentro de la cadena, interactúa con OZP aguas abajo, para el armado de los pedidos solicitados por los clientes; o recibe productos para almacenar de sus proveedores. Entre otras cosas el entrenando deberá definir la estrategia de almacenamiento y asignación a las diferentes zonas, teniendo en cuenta los costos asociados. A su vez, deberá establecer la estrategia de reposición y el valor de los parámetros de planificación (tamaño de lote, SS, etc.) El entrenando cuenta con un panel de control en el que puede monitorear las diferentes variables del sistema (stock, costos, tiempos de servicio, productos en espera, etc.)

**Componente OZP:** deberá atender a los pedidos de sus clientes (cliente final o almacén aguas abajo) a través de diferentes estrategias, cómo la asignación de prioridades de entrega de las ordenes (FIFO, FDFO) y controlando también la cantidad de mano de obra (con sus costos asociados) y el tipo de asignación de pedidos a los operarios. En su panel de control el operario monitorea las diferentes variables (pedidos, nivel de ocupación de operarios, performance operativa y económica, etc.).

### 3.2 Configuración de escenarios

Mediante la combinación de estos 4 componentes, se pueden establecer diferentes escenarios. Hay dos que interesan en particular a los fines de enseñanza del juego:

Escenario en Serie: permite al entrenando testear las diferentes estrategias aplicables y ver cómo impactan en una situación de mercado determinada. Sería el caso similar al planteado por el *BeerGame*, *LogiGame*, *SIMPLE*.

Escenario en Paralelo: en este escenario dos cadenas compiten por el mismo mercado. Aquí no sólo deberán tener en cuenta sus propias estrategias sino también las de sus competidores y las fluctuaciones en la demanda. Permite ver cómo opera el Modelo de Preferencia.

La Figura 1 muestra ambos escenarios, en el primer caso un escenario en serie, con dos eslabones de A- PZO (uno mayorista y otro minorista) y en el segundo la competencia de dos minoristas.

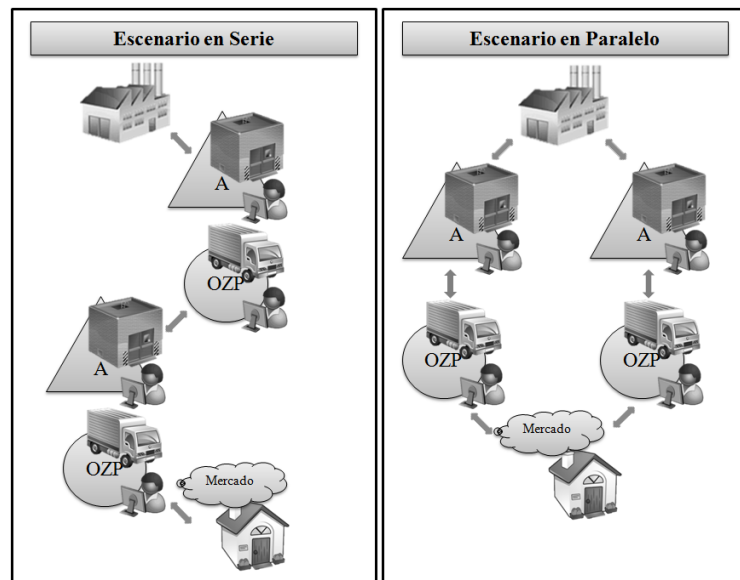


Figura 1 – Escenario en serie y en paralelo  
Fuente: Autores

El procedimiento de configuración de un escenario consiste en dos pasos: configurar el mercado y las fábricas, y configurar las estaciones OZP y A.

### 3.2.1 Configuración de 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.).

- Precio máximo de mercado (\$): Valor máximo que el cliente está dispuesto a pagar por el producto.
- Tiempo de entrega máximo: límite de tiempo que el cliente está dispuesto a esperar por la mercadería.

**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.

### 3.2.2 Componentes básicos

Definidos los parámetros generales, en el panel de control de administración se 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 se 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 la estación.



- Margen inicial de ganancia de los almacenes (%): se provee un valor inicial para todos los almacenes, el cual podrá ser cambiado por cada estación A en cualquier momento de la simulación.
- *Stock* de seguridad inicial (unidades): el valor inicial es igual para todos los almacenes. Cada nodo 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 estación Almacén durante la simulación.
- 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.

Operadores de Zona de *Picking*: por cada estación OZP se dispone de los siguientes parámetros de configuración:

- Productos: Lista de productos que maneja la estación OZP.
- Costo de despido: Costo de despido de un operario.
- Costo operativo: Sueldo de un operario por unidad de tiempo.
- Tiempo de viaje al almacén: Tiempo que tarda un operario en ir al almacén y volver.

#### 4 MODELO DE DEMANDA PROPUESTO

El modelo de mercado propuesto tiene en cuenta la teoría económica respecto al comportamiento de la demanda, así como también la teoría respecto de la gestión de inventarios.

Sabemos que la cantidad demandada por el mercado es función tanto del precio como de otros factores como la calidad del producto, *marketing*, investigación, etc. Es decir:  $Mercedo Total = f(P, otros factores)$

Dado que en este caso no se tomarán decisiones sobre este tipo de variables “no relacionadas con el precio”, hablaremos de un nivel de mercado total ya dado, pero influido por la variación del precio.

A su vez, la demanda percibida por cada cadena dependerá de su precio y de su nivel de servicio, definiendo al mismo como la inversa del lead time resultante de la cadena.

A continuación exponemos las ecuaciones que componen el modelo para luego ir explicando cada una de ellas.

##### 4.1 Modelo de Comportamiento del Mercado

El modelo desarrollado queda definido por las siguientes Ecuaciones (1, 2, 3 y 4).

Precio del mercado como la Media Armónica del precio de todos los proveedores (Ecuación 1). Donde,  $\#ret$ , es la cantidad de *retailers* totales y  $P_i$  es el precio del *retailer*  $i$ .

$$\bar{p} = \frac{\#ret}{\sum_{i=1}^{\#ret} (1/P_i)} \quad (1)$$

Demanda media del mercado corregida por variación de precios (Ecuación 2).

$$\mu_n = \mu_{n-1} - K\Delta\bar{P} \quad (2)$$

Preferencia de los clientes en función de precio y performance histórica de servicio de cada *retailer* (Ecuación 3).

$$w_i = Pref_i \begin{cases} \left(1 - \frac{P_i}{P_{max}}\right) * \left(\frac{1-\bar{\tau}_i}{\tau_{max}}\right); & si Pref_i > 0 \\ 0; & si Pref_i \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Participación del mercado de cada proveedor (*Market Share* (MS)) (Ecuación 4).

$$MS_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{\#ret} w_i} \quad (4)$$

Explicaremos a continuación, el desarrollo de cada una de ellas.

#### 4.2 Desarrollo del Modelo

Media armónica para el precio promedio: Para obtener el precio promedio del mercado ( $\bar{P}$ ), utilizamos la media armónica, coincidiendo con Gold y Pray (1990), en que ésta asigna un peso relativo mayor a los precios más bajos que a los altos, y por tanto es más coherente con la teoría económica, ya que, las empresas con precios más bajos generarán mayores cantidades demandadas que aquellas de mayor precio. La Ecuación 1 (presentado previamente) utilizada es:

$$\bar{P} = \# \text{ret} / \sum_{i=1}^{\# \text{ret}} 1/P_i \quad (1)$$

Media del mercado corregida por variación de precios: El mercado será simulado de acuerdo a una distribución de probabilidad cuyos parámetros estadísticos ( $\mu$ ;  $\sigma$ ), son fijados inicialmente por el instructor, respondiendo a la forma que más se adapte al mercado simulado (en general, Poisson ( $\mu_0$ ) y Normal ( $\mu_0$ ;  $\sigma$ )). Sin embargo, esta demanda media se verá afectada al variar los precios de los *retailers*. Si el precio promedio del mercado se incrementa, la cantidad demandada sufrirá un decremento y viceversa. Por tanto (Ecuación 5):

$$\mu_n = \mu_{n-1} + \Delta\mu \quad (5)$$

donde  $n$  es el paso temporal actual y  $n - 1$  el paso temporal anterior.

Si suponemos una función de demanda en función del precio rectilínea, es decir (Ecuación 2) (presentado previamente):

$$\mu = \mu_{max} - k\bar{P} \quad (2)$$

con  $\mu_{max}$  igual al valor máximo que puede tomar la demanda en  $P$  tendiendo a 0. Luego  $k$ , estará dado por:

$$k = (\mu_{max} - \mu_0)/P_0 \quad (6)$$

El valor máximo de demanda ( $\mu_{max}$ ) en  $P$  tendiendo a cero, así como las condiciones iniciales e iguales para todos los *retailers* ( $P_0$  y  $\mu_0$ ) son fijadas por el instructor.

Así, en cada paso temporal, la media será actualizada según Ecuación 7.

$$\mu_n = \mu_{n-1} - k\Delta\bar{P}; \text{ (con } \Delta\bar{P} = \bar{P}_n - \bar{P}_{n-1} \text{ )} \quad (7)$$

La demanda efectiva  $Q_n$  de ese paso temporal será, por tanto (Ecuación 8):

$$Q_n = f(\mu_n; \sigma) \quad (8)$$

Pesos de los diferentes *retailers* en función de precio y nivel de servicio histórico: Coincidimos con Tsay y Agrawal (2000) en que la percepción de valor del cliente y por ende su decisión de compra no estará dada sólo por el precio del producto sino también, por la cantidad de servicio que lo acompaña, de modo que un *retailer* que reduzca su precio o aumente su servicio gozará de un incremento en sus ventas. Definimos el nivel de servicio como la inversa del tiempo de entrega (Ecuación 9):

$$NS_i = 1/\tau_i \quad (9)$$

De este modo, el modelo de preferencia asigna los órdenes a las diferentes cadenas basado en el precio y el nivel de servicio histórico de cada una. De acuerdo a la ecuación de preferencia del cliente y pesos relativos de los diferentes *retailers* (Ecuación 3) (presentado previamente).

$$w_i = Pref_i \begin{cases} \left(1 - \frac{P_i}{P_{max}}\right) * \left(1 - \frac{\bar{\tau}_i}{\tau_{max}}\right); & si Pref_i > 0 \\ 0; & si Pref_i \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

El peso relativo de cada *retailer* y por ende su probabilidad de recibir órdenes estará dada por el precio ofrecido por el mismo ( $P_i$ ) para el pedido en particular y por su desempeño de entrega histórico ( $\bar{\tau}_i$ ). Teniendo en cuenta el tiempo máximo ( $\tau_{max}$ ) que un cliente está dispuesto esperar, no importa lo barato que cueste el producto y el precio máximo ( $P_{max}$ ) que pagaría aunque la entrega sea inmediata.

*Market Share* (Ms): Por último la cantidad demandada a cada *retailer* en un paso temporal será (Ecuación 10):

$$Q_i = Q \cdot MS_i \text{ con } Q = f(\mu_n; \text{parámetros estadísticos}) \quad (10)$$

Donde el *Market Share* del *retailer*  $i$  ( $MS_i$ ) será su peso relativo normalizado mediante la Ecuación 4.

$$MS_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{\#ret} w_i} \quad (4)$$

De este modo en cada paso temporal se genera un nivel de demanda general que será asignado a las diferentes cadenas por el modelo de preferencia del cliente en función de su precio y su desempeño histórico.

## 5 COMPORTAMIENTO DEL MODELO

En esta sección se analiza el comportamiento del modelo propuesto y su capacidad de representación de la realidad.

### 5.1 Respuesta a diferentes cambios en Precio y Nivel de Servicio

Analizamos diferentes situaciones para mostrar el comportamiento del sistema. La Figura 2 muestra la respuesta del sistema ante diferentes cambios en el Precio y el tiempo de entrega LT ( $\tau$ ) de un *retailer* (R1) en competencia con otro.

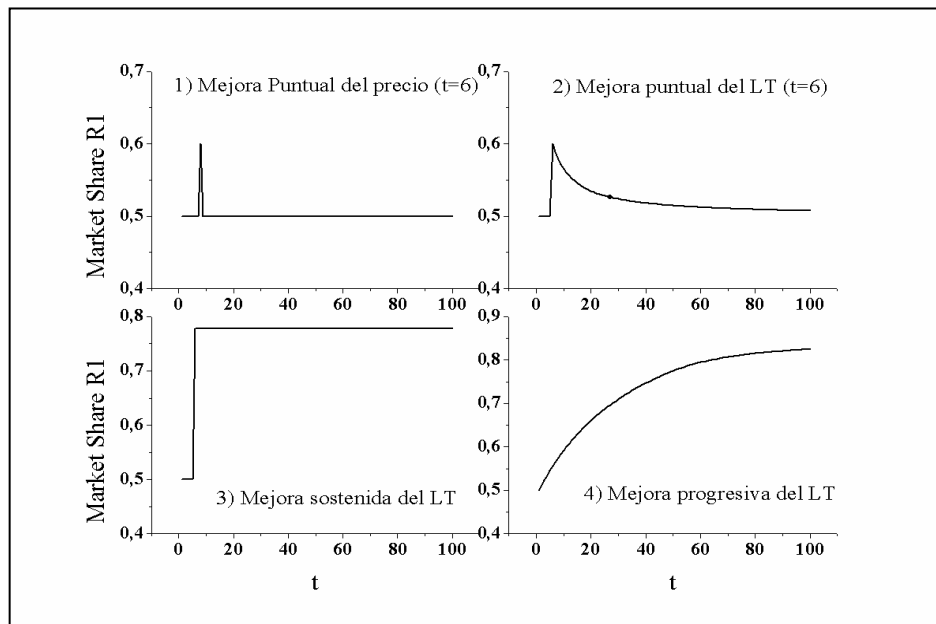


Figura 2 – Evolución del MS de un *retailer* ante cambios en precio y LT

Fuente: Autores

Ambos parten con las mismas condiciones iniciales, manteniéndolas uno de ellos (R2) durante toda la simulación. Podemos ver como el MS del R1 se incrementa, tanto al reducir su precio en un paso temporal (1), como al reducir su LT (2), aunque en el primer caso sólo se beneficiará un instante mientras que en el segundo mantendrá cierto beneficio en el tiempo, hasta que pasado un lapso considerable recuperará la posición de mercado inicial.

Esto responde al hecho de que el cliente considera el precio para la compra en particular, mientras que tiende a tener una mayor confianza en aquel *retailer* que le brinda un mejor servicio. Para mantener la posición ganada por una mejora del LT, el *retailer* deberá ser

persistente en esta mejora en el tiempo (3). Por último, se ve cómo se va incrementando el MS (o ventas) de un *retailer* a medida que mejora su NS respecto de sus competidores (4), hasta llegado un punto en que el cliente ya no saque beneficio de esta mejora y por ende su nivel de ventas permanecerá constante.

## 5.2 Comportamiento del modelo: Media armónica de precios vs. Media aritmética

La media armónica asigna un mayor peso relativo a los precios más bajos. En la Figura 3 se puede apreciar la variación que producen en la media armónica los precios bajos de uno u otro *retailer*, para una media aritmética constante.

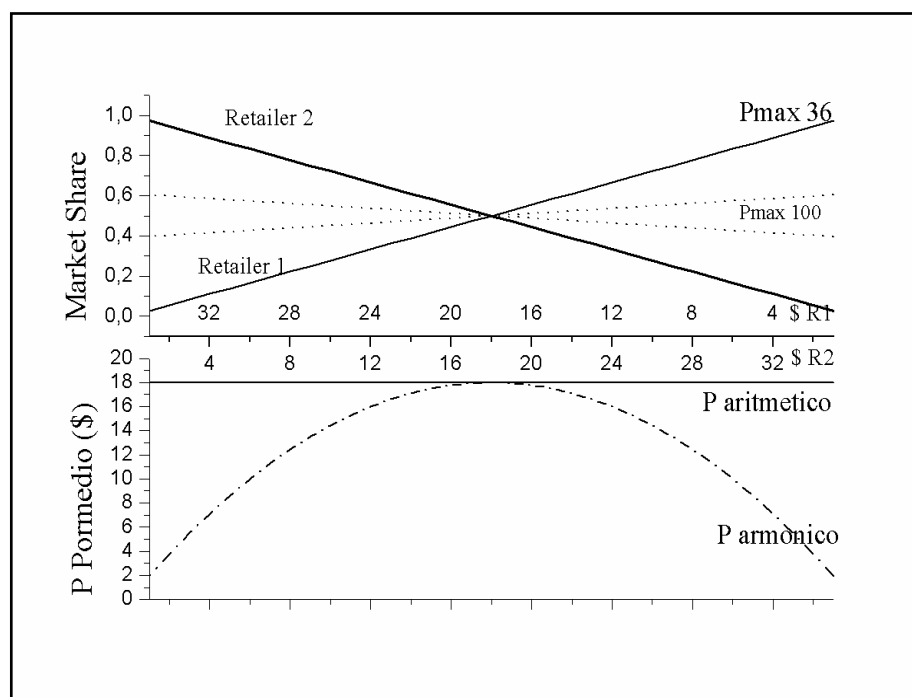


Figura 3 – Variación del MS de los *retailers* y la media armónica en función de la variación de precios, para un promedio aritmético constante

Fuente: Autores

Y cómo el sistema responde asignando un mayor MS a aquel *retailer* que ofrece realmente el precio más bajo. Para el caso expuesto, una media aritmética hubiera hecho permanecer el precio constante de modo que no se produciría ninguna variación en la cantidad demandada a pesar de que algún *retailer* ofreciera un precio realmente atractivo.

## 6 CONCLUSIONES

El Comportamiento del Modelo de Demanda para juegos de Simulación de Cadenas de Suministro, demuestra que tiene la capacidad de modelar la generación de la Demanda Total

del mercado, teniendo en cuenta la ley de demanda, cómo también la de simular la Demanda Particular de cada cadena de acuerdo a las preferencias de los clientes.

Esta última, basada en que la percepción de valor por parte de los clientes no estará dada sólo por el precio, sino que también es influenciada por el nivel de servicio que lo acompaña. El tener en cuenta el tiempo máximo que un cliente está dispuesto esperar, no importa lo barato que cueste el producto y el precio máximo que pagaría aunque la entrega sea inmediata, permite al entrenador decidir la mejor estrategia comercial teniendo en cuenta su impacto no sólo en el mercado que gana sino también en sus costos y performance logística.

Este modelo permite la retroalimentación de las cadenas en competencia, que tienen por objetivo, al igual que en otros juegos, atender a los pedidos de los clientes con el mejor Nivel de Servicio y el Costo Logístico Total más bajo, pero que les permita ganar una porción de mercado adecuada. El Modelo de Demanda trae un cambio de foco en el objetivo del juego, siendo más representativo de la realidad.

## **DEMAND MODEL FOR INTERACTIVE SUPPLY CHAIN SIMULATORS**

**ABSTRACT:** A model of final market demand simulation, guided by an algorithm of customer preferences, has been developed. In recent decades, after the appearance of Beer Game at MIT, many supply chain simulators for education and research purpose were built. However, few of them propose a model of competition between chains, focusing instead in the performance of each chain. The result presented is an improvement for existing games, particularly for DLS (Distributed Logistic Simulator). The model follows the behavior of the market both in the customer preference of suppliers and the amount requested. Service level has been defined as proportional to the inverse of the lead-time, assuming that all orders are finally fulfilled. The model takes into account the maximum time that a customer is willing to wait for the product, regardless of how cheap it is and the maximum price that would pay if the delivery is immediate.

**Keywords:** Demand Modeling. Supply Chain. Simulation.

### **REFERENCIAS**

ARUNACHALAM R.; SADEH N.M. The supply chain trading agent competition. **Electronic Commerce Research and Applications**, v. 4, n. 1, p. 66-84, 2005.

CHANG Y.C.; CHEN W.C. A flexible web-based simulation game for production and logistics management courses. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 17, n. 7, p. 1241-1253, 2009.

CROWN, S.W. Improving visualization skills of engineering graphics students using simple JavaScript web based games. **Journal of Engineering Education**, v. 90, n. 3, p. 347-355, 2001.

DESHPANDE, A.; HUANG, S. Simulation games in engineering education: a state-of-the-art review. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 19, n. 3, p. 399-410, 2009.

FENG, K.; MA, G. Learning supply chain management with fun: an online simulation game approach. **California Journal of Op. Management**, v. 6, n. 1, p. 41-48, 2008.

GOLD, S.; PRAY, T. Modeling Demand in Computerized business simulations. **In: Guide to business gaming and experiential learning**. J. Gentry, ABSEL, p. 117-138, 1990.

KIMBROUGH, S.O.; WU, D.J., ZHONG, F. Computers play the beer game: can artificial agents manage supply chains? **Decision Support Systems**, v. 33, n. 3, p. 323-333, 2002.

LAMBERT, D.M.; COOPER, M.C.; PAGH, J.D. Supply Chain Management: implementation Issues and Research Opportunities. **International Journal of Logistics Management, The**, v. 9 n. 2, p. 1-20 1998.

LEGER, P.M. **Using a simulation game approach to teach ERP concepts**. HEC Montréal, Groupe de recherche en systèmes d'information, Montréal, 2006.

PETRANEK, C. A maturation in experiential learning: principles of simulation and gaming. **Simulation & Gaming**, v. 25, p. 513-522, 1994.

RAVID, G.; RAFAELI, S. **Multi Player, Internet and Java-Based simulation Games: learning and research in implementing a computerized version of the "Beer-distribution supply chain game"**, 2000.

RIIS, J.O.; JOHANSEN, J.; MIKKELSEN, H. **Simulation games and learning in production management**. Chapman & Hall, London, UK, 1-12, 1995.

STERMAN, J. Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. **Management Science**, v. 35, p. 321-339, 1989.

STERMAN, J.D. **Teaching takes off: flight simulators for management education**. OR/MS Today, p. 40-44, 1992.

THORSTEINSSON, U. **The LOGI-Game: a dynamic modular logistic game**. In: RIIS, J.O. **Simulation Games and Learning in Production Management**. Chapman & Hall, London, UK, p. 176-183, 1995.

TORRES, M.; MACEDO, J. Learning sustainable development with a new simulation game. **Simulation & Gaming**, v. 31, n. 1, p. 119-126, 2000.

TSAY, A.; AGRAWAL, N. Channel dynamics under price and service competition. **Manufacturing and Service Operations Management**, v. 2, n. 4, p. 372-391, 2000.



ZHANG, D.A network economic model for supply chain versus supply chain competition. **Omega**, v. 34, n. 3, p. 283-295, 2006.

Originals recebidos em: 17/09/2012

Aceito para publicação em: 24/07/2013