

4<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management  
XIV Congreso de Ingeniería de Organización  
Donostia- San Sebastián , September 8<sup>th</sup> -10<sup>th</sup> 2010

### **Modelo de optimización estocástica para la planificación de cadenas de suministro para productos con ciclo de vida cortos**

**Jairo R. Coronado-Hernández<sup>1,2</sup>, José P. Garcia-Sabater<sup>2</sup> Julien Maheut<sup>2</sup> Julio J. Garcia-Sabater<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> GIPC. Universidad Tecnológica de Bolívar. Parque Tecnológico Carlos Vélez Pombo. Cartagena de indias-Colombia.<sup>2</sup> ROGLE Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022. Valencia-España. [jcoronado@unitecnologica.edu.co](mailto:jcoronado@unitecnologica.edu.co) [jpgarcia@doe.upv.es](mailto:jpgarcia@doe.upv.es) [juma2@etsii.upv.es](mailto:juma2@etsii.upv.es), [jugarsa@doctor.upv.es](mailto:jugarsa@doctor.upv.es).

#### **Resumen**

*En este trabajo se presenta un modelo de optimización estocástica para planificar cadenas de suministros para productos con ciclo de vida corto, determinando la capacidad a reservar en los recursos de los proveedores antes de tener certeza del comportamiento de la demanda. Se consideran recursos alternativos, múltiples productos con lista de materiales complejas, demanda distribuida a lo largo de periodos consecutivos, ciclos de vida cortos, lead time largos y altos niveles de incertidumbre representados en forma de escenarios generados con modelos de difusión. El modelo fue implementado sobre Java utilizando el lenguaje de programación matemática AMPL con el optimizador LpSolve.*

**Palabras clave:** Cadena de suministro, reserva de capacidad, programación estocástica en dos etapas, Stroke.

#### **1. Introducción**

Desde la década de 1990 se ha incrementado la competitividad de los mercados caracterizada por productos con ciclos de vida cortos, demanda incierta, proliferación del producto, incremento en la personalización y respuesta rápida al cliente (Chen et al., 2002). Las características de los productos de ciclo de vida cortos, también llamados productos de innovación, son las siguientes: estacionalidad, demanda impredecible, altos costes de obsolescencia, alto margen de contribución y valor residual escaso (Fisher, 1997; Wong et al., 2006), ejemplo son los juguetes y las prendas de vestir. Según (Lee, 2002), no se debe planificar la cadena de suministro para productos de innovación de la misma manera que para productos funcionales. Por otro lado, la globalización ha llevado a la deslocalización de las instalaciones de manera global, plantas en Europa con proveedores en China o América para minimizar costes pero con lead time largos. Bajo esta óptica, la capacidad de los proveedores es un bien que se debe reservar con suficiente antelación para garantizar los flujos de suministro durante la temporada de ventas, con el fin de minimizar el coste y el riesgo, buscando un beneficio mutuo (Serel, 2007).

Como antecedentes a este trabajo se encuentra el trabajo desarrollado por (Patil et al., 2010) donde se considera la planeación de productos con ciclo de vida corto modelado con

programación estocástica bi-etapa no lineal, considerando descuentos por cantidad en grandes compras y transporte a granel de un único producto. En el trabajo de (Li y Liu, 2008) se presenta una extensión del modelo de vendedor de periódicos para coordinar la cadena de suministro a través de la compra de capacidad en dos etapas; en (Serel, 2007) se presenta un modelo basado en el vendedor de periódicos que busca maximizar el beneficio esperado a través de la reserva de capacidad considerando un beneficio mutuo con el proveedor. En (Calderon-Lama et al., 2009) se presenta la formulación de un modelo para productos de innovación en dos etapas utilizando el concepto de “Stroke” introducido en (Garcia-Sabater et al., 2006).

En este trabajo se presenta un modelo de optimización estocástica para la planificación de cadenas de suministros para productos con ciclo de vida corto, a través de la decisión de reservar la capacidad a contratar en los recursos de los proveedores antes de tener certeza del comportamiento de la demanda. Se consideran recursos alternativos, múltiples productos con lista de materiales complejas, demanda distribuida a lo largo de periodos consecutivos, ciclos de vida cortos, lead time largos y altos niveles de incertidumbre representados en forma de escenarios.

## 2. Programación estocástica bi-etapa

La programación estocástica consiste en optimizar un problema con parámetros inciertos que tienen o no una distribución de probabilidad conocida. Entre las técnicas más utilizadas y de más estudio se encuentra la programación estocástica bi-etapa (Two-stage stochastic problema) la cual fue propuesta por (Dantzig, 1955). El objetivo es minimizar la suma de los costes de la primera etapa los cuales son conocidos y minimizar el valor esperado de los costes de la segunda etapa (Gupta y Maranas, 2003). Un problema de programación estocástica se formula como se muestra en el modelo que se presenta en (2.1).

$$\begin{aligned}
 & \min \quad c^T x + p^w q^{wT} y^w \\
 & \text{s.t.} \\
 & \quad Ax = b \\
 & \quad -T^w x + W^w y^w = d^w, \quad w \in \Omega \\
 & \quad x, \quad y^w \geq 0
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

En donde primera etapa,  $c^T$  es un vector con los coeficientes de la función objetivo,  $A$  es la matriz de coeficientes y  $b$  es el vector lado derecho para el conjunto de restricciones de la primera etapa asumiendo que hay certidumbre de ellos y el vector  $x$  son las variables de decisión para la primera etapa. En la segunda etapa se encuentra  $y^w$  como las variables de decisión en función de los escenarios, la matriz tecnológica  $T^w$ , la matriz de recursos  $W^w$ , los coeficientes de la función objetivo  $q^{wT}$  y el vector lado derecho  $d^w$  para el conjunto de restricciones para cada escenario  $w$ , para  $w \in \Omega$ , donde  $\Omega$  es conjunto de escenarios, donde para cada  $w$  existe una probabilidad de ocurrencia  $p^w$ . La utilización de escenarios como una aproximación discreta a funciones de probabilidad, como se muestra en (2.2) es equivalente a la discretización del vector aleatorio continuo como se demuestra en (Bakir y Byrne, 1998) (Dantzig, 1955).

$$\begin{aligned}
& \min z = cx + \theta \\
& \text{s.t.} \\
& \quad -\theta + p^1 q^1 y^1 + \dots + p^w q^w y^w + \dots + p^w q^w y^w = 0 \\
& \quad Ax = b \\
& \quad -T^1 x + W^1 y^1 = d^1 \\
& \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\
& \quad -T^w x + W^w y^w = d^w \\
& \quad \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\
& \quad -T^w x + W^w y^w = d^w \\
& \quad x, y^1, y^w, y^w \geq 0
\end{aligned} \tag{2.2}$$

En programación estocástica hay dos tipos diferentes de modelos, los “Espera y observa” (W-S) y los “Aquí y ahora” (H-N). Los modelos (W-S) corresponden a tomar decisiones donde se ha resuelto la incertidumbre y es equivalente a resolver cada escenario independientemente mientras que los modelos (H-N) corresponden a decisiones que se toman sin conocimiento de la variable aleatoria (Bakir y Byrne, 1998). Un modelo de programación estocástica de dos etapas es una combinación de los modelos (W-S) y (H-N), de esta manera se toman decisiones que solo tienen acciones sobre la primera etapa y sobre lo que se esperaría que ocurriera en la segunda etapa. Las decisiones de manufactura son modeladas como (H-N) mientras que las decisiones logísticas como (W-S) (Gupta y Maranas, 2003).

### 3. Formulación matemática del problema

Se presenta un programa matemático para determinar el plan que maximiza el beneficio esperado de la cadena de suministro al reservar la capacidad a contratar en los recursos de los proveedores antes de tener certeza del comportamiento de la demanda, teniendo en cuenta recursos alternativos, demanda distribuida a lo largo de periodos consecutivos, ciclos de vida cortos, lead time largos, altos niveles de incertidumbre los cuales se representarán en forma de escenarios y múltiples productos con lista de materiales complejas representadas por medio del concepto de Stroke.

El Stroke es la representación básica de una actividad a ejecutar, que puede ser de fabricación, ensamble y/o transporte. El stroke se puede entender como el golpe que supone la transformación de un grupo X en un grupo X' (García-Sabater et al., 2006). De esta manera, la lista de materiales para la fabricación de un SKU (Stock Keeping Unit) se modela con el uso del stroke, en donde se encuentran SKU componentes como entradas, que al ejecutar un stroke se generan como salidas uno o más SKU, que pueden ser productos finales o componentes. Por lo tanto, es el stroke quien consume recursos tecnológicos y no el SKU; con este concepto se planifican las operaciones y no los materiales.

Por otro lado, en este problema se consideran dos momentos en la toma de decisiones. El primero en el que no se tiene información suficiente sobre la demanda, y el segundo, en el instante en que comienza la venta del producto, momento en el cual se puede determinar con mayor seguridad la demanda esperada. El objetivo es determinar el plan que maximice el beneficio de la cadena de suministro basado en dos momentos de decisión a lo largo del horizonte de planificación. En la primera decisión, se determina cuanto contratar de capacidad

de los recursos a través de los que se esperaría que ocurriera mediante de un modelo de programación estocástica bi-etapa cuyos escenarios de demanda son construidos a través de un modelo de difusión, considerando un error en el pronóstico del 40% (Fisher, 1997) .

En el segundo momento de decisión, cuando se conoce con más certeza la demanda para lo que resta del periodo, el objetivo es compensar los efectos de las decisiones de la primera etapa que por eventos aleatorios modificaron lo establecido minimizando la discrepancia entre lo estimado en la primera decisión y lo que ha de ocurrir. La lógica general del programa consiste en ejecutar de manera consecutiva las dos fases. Se lanza el modelo de fase I, luego a partir del periodo  $\tau$  (segundo momento de decisión) sobre el horizonte de planeación se lanza la fase II. Los índices, parámetros y variables del problema se presentan en la Tabla 10 14.

**Tabla 10.** Índices, parámetros y variables del modelo determinista

<i>Índices</i>			
$I$	Conjunto de los SKU -Productos y componentes - ( $i = 1 \dots I$ )		
$T$	Conjunto de los periodos durante el horizonte de planificación ( $t = 1 \dots T$ )		
$K$	Conjunto de los strokes -operaciones y transportes- ( $k = 1 \dots K$ )		
$R$	Conjunto de los recursos –plantas, almacenes, medios de trasporte, ect- ( $r = 1 \dots R$ )		
$E$	Conjuntos de escenarios ( $e = 1 \dots E$ )		
<i>Parámetros</i>			
$PV_i$	Precio de venta del SKU $i$	$M_{i,k}$	Matriz de consumos del SKU $i$ para generar un stroke $k$ .
$VR_i$	Valor residual del inventario del SKU $i$	$N_{i,k}$	Matriz de generación del SKU $i$ a partir de un stroke $k$ .
$CB_{i,t}$	Coste de faltante del SKU $i$ en el periodo $t$ ,	$LT_k$	Lead time del stroke $k$ .
$CH_{i,t}$	Coste de almacenamiento del SKU $i$ en el periodo $t$ .	$RE_{r,k}$	Consumo del stroke $k$ del recurso $r$ .
$PC_{i,t}$	Precio de compra del SKU $i$ en el periodo $t$ .	$Q$	Big M
$CO_{k,t}$	Costo de operación del stroke $k$ en el periodo $t$ .	$AC_{i,t}$	Matriz de incidencia (Bottomley, 1990) para autorizar compra del SKU $i$ en el periodo $t$ .
$CCAP_{r,t}$	Coste unitario de contratar capacidad del recurso $r$ en el periodo $t$	$KAP_{r,t}$	Cota superior de capacidad a contratar de un recurso $r$ en el periodo $t$
$D_{i,t}^e$	Demanda del SKU $i$ en el periodo $t$ .	$P_e$	Probabilidad de ocurrencia del escenario $e$
<i>Variables</i>			
$kap_{r,t}$	Capacidad a contratar del recurso $r$ en el periodo $t$	$y_{i,t}^e$	Unidades almacenadas del SKU $i$ en el periodo $t$ .
$z_{k,t}^e$	Stroke a ejecutar de tipo $k$ en el periodo $t$ en el periodo $e$ .	$\beta_{i,t}^e$	Faltantes de unidades del SKU $i$ en el periodo $t$ .
$v_{i,t}^e$	Ventas del SKU $i$ en el periodo $t$ en $e$ .	$w_{i,t}^e$	Compras del SKU $i$ en el periodo $t$ .

### 3.1. Modelo Fase I

El problema se puede formular como un problema de programación estocástica en dos etapas como se plantea en (Bakir y Byrne, 1998) a través de un conjunto de  $\Omega$  escenarios asociados al comportamiento incierto de la demanda, donde la ocurrencia de cada escenario tiene probabilidad  $P_e$  . La primera etapa corresponde a las decisiones estratégicas de reservar la capacidad a contratar de los recursos con estructura alternativa (Plantas, almacenes, medios de transportes)  $kap_{k,t}$  . La segunda es operativa y esta focalizada a decisiones que dependen del

comportamiento de la demanda y las variables asociadas a esta etapa son  $z_{i,t}^e, v_{i,t}^e, y_{i,t}^e$  y  $\beta_{i,t}^e$ , las cuales están sujetas al comportamiento de la demanda en cada escenario. De esta manera el problema se puede escribir como se presenta en las ecuaciones (3.1) a (3.8).

El objetivo del problema, mostrado en la ecuación (3.1) es maximizar el beneficio esperado asociado a los escenarios de la segunda etapa (las ventas más el valor residual del inventario menos los costes de almacenamiento, faltantes, compra de materia prima y operaciones internas) menos los costes de la primera etapa asociados los costes de capacidad contratada. El coste de reserva de capacidad tiene el efecto más importante sobre el beneficio deseado (Li y Liu, 2008), por ello es importante su planificación. El modelo se presenta a continuación.

$$\max_e \sum_e P_e \left( \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I PV_i v_{i,t}^e + VR_i y_{i,t}^e - CB_{i,t} \beta_{i,t}^e - CH_{i,t} y_{i,t}^e - PC_{i,t} w_{i,t}^e - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K CO_{i,t} z_{k,t}^e \right) - \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K CCAP_{r,t} kap_{k,t} \quad (3.1)$$

s.a.

$$y_{i,t}^e = y_{i,t-1}^e - v_{i,t}^e - \sum_{k=1}^K M_{i,k} z_{k,t}^e + w_{i,t} + \sum_{k=1}^K N_{i,k} z_{k,t-LT(k)}^e \quad \forall_i \forall_t \forall_e \quad (3.2)$$

$$\beta_{i,t}^e = \beta_{i,t-1}^e - v_{i,t}^e + D_{i,t}^e \quad \forall_i \forall_t \forall_e \quad (3.3)$$

$$z_{k,t}^e = z_{k,t} \quad \forall_k \forall_{t < \tau} \forall_e \quad (3.4)$$

$$\sum_k RE_{r,k} z_{k,t} \leq kap_{r,t} \quad \forall_r \forall_t \quad (3.5)$$

$$w_{i,t} \leq AC_{i,t} Q \quad \forall_i \forall_t \quad (3.6)$$

$$kap_{r,t} \leq KAP_{r,t} \quad \forall_r \forall_t \quad (3.7)$$

$$kap_{r,t} \geq 0 \quad \forall_r \forall_{t \geq \tau}, z_{k,t \geq \tau} \geq 0 \quad \forall_k \forall_{t \geq \tau}, v_{i,t \geq \tau}^e, y_{i,t}^e, \beta_{i,t \geq \tau}^e, w_{i,t \geq \tau} \geq 0 \quad \forall_i \forall_{t \geq \tau} \forall_e \quad (3.8)$$

Con este modelo se determina en la primera fase de cuanta capacidad se debe contratar antes de tener certeza del comportamiento de la demanda para maximizar el beneficio esperado. La restricción (3.5) es la que determina la capacidad a contratar del recurso  $r$  en el periodo  $t$  a partir del consumo del stroke  $k$  dado por el parámetro  $RE_{r,k}$ ; la cual está relacionada con la ecuación (3.2) que determina la estructura de la cadena y la estructura del producto, con los tiempos de transito de cada stroke. Estos recursos a reservar están determinados por la cantidad de horas que se requiere de la instalación de un proveedor, la cantidad de espacio requerida de una naviera u otro medio de transporte, el número de huecos requeridos en una bodega, la superficie demandada en los puntos de cross-docking, las plataformas, etc.

### 3.2. Modelo Fase II

El modelo presentado en esta fase tiene como base la capacidad que fue contratada previamente en la fase I y entra a formar parte de los parámetros del modelo que se ejecuta en esta fase. El objetivo es maximizar el beneficio de lo que resta del periodo a través de minimizar la discrepancia de lo planificado en la primera etapa y lo que ha de ocurrir. La discrepancia en la capacidad contratada estará representada en la optimización de las variables

$F_{r,t}^+$  como la capacidad que requiere ser contratada del recurso  $r$  en el periodo  $t \geq \tau$  y  $F_{r,t}^-$  la capacidad no utilizada del recurso  $r$  en el periodo  $t \geq \tau$ .

Para la ejecución del modelo se requieren de parámetros y variables adicionales. La capacidad  $CAP_{r,t}$  contratada previamente del recurso  $r$  para el periodo  $t$ , las recepciones planificadas que pasan de un eslabón de la cadena a otro  $RPL_{i,t}$ , por ultimo un coste de penalidad por la capacidad que se requiere contratar para responder a la demanda a un mayor coste mayor de  $PN_{r,t}^+$  y otro asociado a la capacidad contratada no utilizada  $PN_{r,t}^-$ . El modelo se presenta de las ecuaciones (3.9) a la (3.14).

$$\max \quad \sum_{t=\tau}^T \left( \sum_{i=1}^I PV_i v_{i,t} + VR_i y_{i,t} - CB_{i,t} \beta_{i,t} - CH_{i,t} y_{i,t} - PC_{i,t} w_{i,t} - \sum_{k=1}^K CO_{i,t} z_{k,t} \right) - \sum_{t=\tau}^T \sum_{r=1}^r PN_{r,t}^+ F_{r,t}^+ + PN_{r,t}^- F_{r,t}^- \quad (3.9)$$

s.a.

$$y_{i,t} = y_{i,t-1} - v_{i,t} + RPL_{i,t} - \sum_{k=1}^K M_{i,k} z_{k,t} + w_{i,t} + \sum_{k=1}^K N_{i,k} z_{k,t-LT(k)} \quad \forall_i \forall_t \quad (3.10)$$

$$\beta_{i,t} = \beta_{i,t-1} - v_{i,t} + D_{i,t} \quad \forall_i \forall_t \quad (3.11)$$

$$\sum_k RE_{r,k} z_{k,t} + F_{r,t}^- - F_{r,t}^+ = CAP_{r,t} \quad \forall_r \forall_t \quad (3.12)$$

$$w_{i,t} \leq AC_{i,t} Q \quad \forall_i \forall_t \quad (3.13)$$

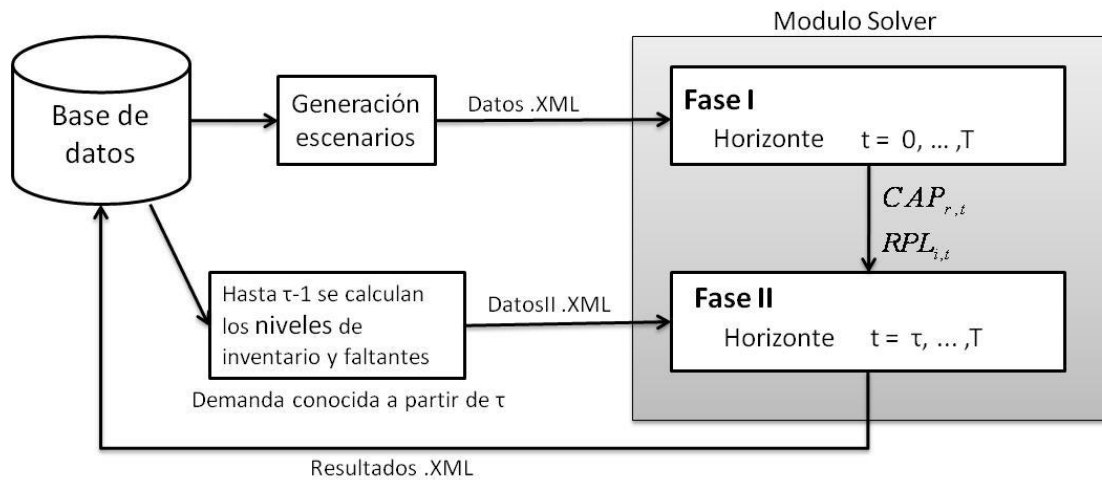
$$F_{r,t}^+, F_{r,t}^- \geq 0 \quad \forall_r \forall_t, z_{k,t} \geq 0 \quad \forall_k \forall_t, v_{i,t}, y_{i,t}, \beta_{i,t}, w_{i,t} \geq 0 \quad \forall_i \forall_t \quad (3.14)$$

Con la restricción (3.12) se busca la utilización exacta de la capacidad contratada en el primer momento de decisión, puesto que muchas veces en algunos periodos se subutiliza o se requiere más capacidad que influyen en el aumento de los costes por penalización. Con los valores obtenidos en las variables asociadas a la capacidad es útil realizar una negociación con los proveedores. Según (Li y Liu, 2008) cuando hay coordinación con los proveedores y se ha reservado la capacidad con antelación, el sistema funciona de mejor manera que cuando no se está coordinado.

### 3.3. Implementación y resolución del problema

El modelo fue implementado en AMPL sobre en Java utilizando como optimizador LpSolve 5.5.015 (Berkelaar et al., 2005). La lógica general se muestra en la Figura 19 14. El proceso inicia al extraer de la base de datos la información de los parámetros que alimentan los modelos que junto con los escenarios de demanda se genera un archivo XML (Extensible Markup Language) que contiene toda la información como entrada al modulo Solver, para comenzar la ejecución de la primera fase. Al solucionar el modelo de la fase I, se pasa información de las capacidades contratadas y recepciones planificadas las cuales provienen de los Strokes de la fase I a la Fase II junto con el cálculo de los inventarios dada la ocurrencia de la demanda. En  $t=\tau$  se lanza el modelo de la fase II y se genera un archivo XML con los resultados obtenidos del modelo de la fase II, en donde el decisor puede determinar cómo debe renegociar las capacidades previamente contratadas con sus proveedores para no incurrir

en costes por las penalidades por el sobre uso o sub uso de la capacidad previamente contratada y responder rápido al mercado.



**Figura 19.** Lógica general para la resolución de problemas

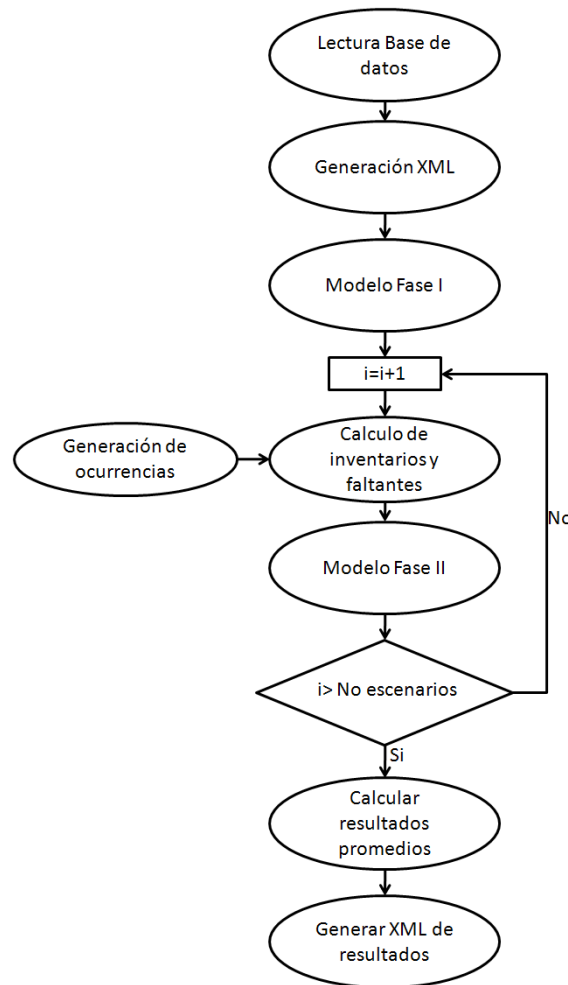
Para tener una mayor aproximación del modelo en  $t=0$ , se realizara una simulación teniendo presente que en  $t=0$  no hay certeza de la demanda a partir de  $t=\tau$ , se generarán diferentes ocurrencias de demanda utilizando simulación de Monte Carlo por medio de un modelo de difusión para describir el potencial de realización de la demanda (Chen et al., 2002). Se utilizan los modelos de difusión porque los modelos clásicos de previsión se basan en la extrapolación de los datos de las ventas históricas del producto, pero cuando no existen datos históricos, las técnicas de previsión tradicional no son aplicables (Morrison, 1995). Los modelos de difusión, los cuales son ampliamente utilizando en marketing (Meade y Islam, 2006), tienen el propósito de estimar las ventas de nuevos productos antes de lanzamiento real de los mismos (Scitovski y Meler, 2002) cuando no existe información histórica de los mismos. El modelo de difusión utilizado es el introducido por Bass en 1969, donde se asume que las adopciones de los agentes no solo dependen de la influencia interna generada por la presión social del sistema sino también por influencias externas, como lo es la publicidad. El modelo se plantea a través de la ecuación diferencial (4.1), cuya solución (4.2) muestra el número acumulado de agentes que han adoptado la innovación hasta el instante  $t$ .

$$\frac{dN_t}{dt} = p + qN_t - m - N_t \quad (4.1)$$

$$N_t = m \frac{1 - e^{-p+q t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-p+q t}} \quad (4.2)$$

La lógica de la implementación con simulación en  $t=0$ , se muestra en la Figura 20 15. Como se puede observar, en la fase I se lanzará el modelo estocástico, luego se entra en un bucle en donde se generan las diferentes ocurrencias de demanda y se calculan los inventarios y faltantes desde  $t=0$  hasta  $t=\tau-1$ , para evaluar el plan generado en la fase I. La información de la Fase I con el cálculo de los inventarios y faltantes pasa a la fase II y se lanza el modelo de la Fase II tantas veces como escenarios de ocurrencias se deseen evaluar. Cuando se han

evaluado todos los escenarios, se genera un XML con los resultados de la fase I y los resultados promedio de las ocurrencias de demanda generadas en la fase II.



**Figura 20.** Implementación con simulación

#### 4. Conclusiones

Se presenta un modelo lineal de programación matemática para la planificación de cadenas de suministro con productos de ciclo de vida corto, con incertidumbre en la demanda determinando con tiempo suficiente de antelación la capacidad a contratar al proveedor de cada recurso. Con el modelo se determina la estrategia más conveniente dependiendo de la configuración de la cadena de suministro para responder rápidamente al mercado dependiendo del tiempo de tránsito de cada uno de los productos y componentes, y costes asociados a la compra de capacidad.

La estructura general de resolución del problema consiste en dos fases. La primera fase ejecuta un modelo estocástico bi-etapa cuyo objetivo es maximizar el beneficio esperado asociado a la reserva de la capacidad contratada. En la segunda fase se lanza un modelo determinista suponiendo que es conocida la demanda a partir del segundo momento de decisión para reducir la discrepancia entre la capacidad contratada en la primera etapa y la requerida. El modelo fue programado en AMPL sobre Java y utilizando como optimizador la librería Open Source LpSolve 5.5.

Con el modelo es posible planificar las operaciones y transportes en una cadena de suministro rápida para productos de ciclo de vida cortos con lista de materiales complejas a través del concepto de Stroke, como lo son los juguetes y las prendas de vestir. De esta manera es



posible determinar con mayor precisión la capacidad productiva a contratar de proveedores ubicados globalmente en ambientes de alta incertidumbre y experimentar cuanto se debe fabricar en una instalación del proveedor o en las instalaciones propias, evaluando los diferentes costes asociados a la producción y a la logística dentro de la cadena de suministro.

Como futuras líneas de investigación está en aplicar el modelo a un caso real; y, en evaluar el impacto de las diferentes estrategias de la cadenas suministro sobre el desempeño y los costes, como lo son: base y surge (Christopher y Towill, 2001), *postponement* (Ng y Leung, 2007) , Assemble to Order (ATO) o Make to Stock (MTS). (Wong et al., 2006); y experimentar diferentes diseños internos de cadenas de suministros como son *MRP*, *Kanban*, *Packing centre* y *Design and Build* (Aitken et al., 2003).

## Referencias

- Aitken, J.; Childerhouse, P.; Towill, D. (2003). The impact of product life cycle on supply chain strategy. *International Journal of Production Economics*, Vol. 85, nº. 2, pp. 127-140.
- Bakir, A. M.; Byrne, M. D. (1998). Stochastic linear optimisation of an MPMP production planning model. *International Journal of Production Economics*, Vol. 55, nº. 1, pp. 87-96.
- Berkelaar, M., Eikland, K., & Notebaert, P. (2005). Ipsolve: Open source (mixed-integer) linear programming system, version 5.5.0.15.
- Bottomley, P. (1990). A meta-analysis of applications of diffusion models : F. Sultan, J.U. Farley and D.R. Lehmann, *Journal of marketing research* 27 (1990) 70-77. *International Journal of Forecasting*, Vol. 6, nº. 4, pp. 584-585.
- Calderon-Lama, J.; Garcia-Sabater, J. P.; Lario, F. (2009). Modelo para la planificación de operaciones en cadena de suministro de productos de innovación. *Dyna Ingeniería e Industria*, Vol. 84, nº. 6, pp. 517-526.
- Chen, Z. L.; Li, S.; Tirupati, D. (2002). A scenario-based stochastic programming approach for technology and capacity planning. *Computers & Operations Research*, Vol. 29, nº. 7, pp. 781-806.
- Christopher, M.; Towill, D. (2001). An integrated model for the design of agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 31, nº. 4, pp. 235-246.
- Dantzig, G. B. (1955). Linear programming under uncertainty. *Management Science*, Vol. 1, nº. 3, pp. 197-206.
- Fisher, M. L. (1997). What Is the Right Supply Chain for Your Product? *Harvard Business Review*, Vol. 75, nº. 2, pp. 105-116.
- Garcia-Sabater, J. J., Cardos, M., & Garcia-Sabater, J. P. (2006). Un algoritmo para la Planificación de Producción en un Sistema en Red de Fabricación basada en Sistemas Multiagente, in X Congreso de Ingeniería de Organización.
- Gupta, A.; Maranas, C. D. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 27, nº. 8-9, pp. 1219-1227.
- Lee, H. (2002). Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties. *California Management Review*, Vol. 44, nº. 3, pp. 105-119.

- Li, J.; Liu, L. (2008). Supply chain coordination with manufacturer's limited reserve capacity: An extended newsboy problem. *International Journal of Production Economics*, Vol. 112, n° 2, pp. 860-868.
- Meade, N.; Islam, T. (2006). Modelling and forecasting the diffusion of innovation - A 25-year review. *International Journal of Forecasting*, Vol. 22, n° 3, pp. 519-545.
- Morrison, J. (1995). Lyfe-Cycle Approach to new Product Forecasting. *The Journal of Business Forecasting Methods and Systems*, Vol. 14, n° 2, pp. 3-5.
- Ng, S. C. H. L.; Leung, S. (2007). A goal programming model for production planning of perishable products with postponement. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 53, n° 3.
- Patil, R.; Avittathur, B.; Shah, J. (2010). Supply chain strategies based on recourse model for very short life cycle products. *International Journal of Production Economics*, Vol. In Press, Accepted Manuscript.
- Scitovski, R.; Meler, M. (2002). Solving parameter estimation problem in new product diffusion models. *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 127, n° 1, pp. 45-63.
- Serel, D. (2007). Capacity reservation under supply uncertainty. *Computers & Operations Research*, Vol. 34, n° 4, pp. 1192-1220.
- Wong, C. Y.; Stentoft A, J.; Hvolby, H. H.; Johansen, J. (2006). Assessing responsiveness of a volatile and seasonal supply chain: A case study. *International Journal of Production Economics*, Vol. 104, n° 2, pp. 709-721.