MODELO ESTOCÁSTICO PARA PLANIFICAR CADENAS DE SUMINISTRO CON PRODUCTOS DE CICLOS DE VIDA CORTOS

Jairo R. Coronado-Hernández [1,2], José P. Garcia-Sabater[2]

[1] GIPC. Universidad Tecnológica de Bolívar. Parque Tecnológico Carlos Vélez Pombo. Cartagena de indias-Colombia.[2] ROGLE Dpto. de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022. Valencia-España. jcoronado@unitecnologica.edu.co, jpgarcia@doe.upv.es.

Abstract: En este trabajo se presenta un modelo de optimización estocástica de dos etapas para planificar 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.
Keywords: nuevos productos, predicción, modelos de difusión, escenarios de demanda.

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 proveedor 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 J, 2009) se presenta la formulación de un modelo para productos de innovación en dos etapas utilizando el concepto de "Stroke".

2. Formulación matemática del problema

En este problema se consideran dos momentos en la toma de decisiones. El primero aquel en 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 (*"two stage stochastic problem"*) 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 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 τ (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 1.

Tabla 1. Índices, parámetros y variables del modelo determinista

	Índices		
I	Conjunto de los SKU -Productos y componentes - ($i=1\ldots I$)		
T	Conjunto de los periodos durante el horizonte de planificación ($t=1\ldots T$)		
K	Conjunto de los strokes -operaciones y transportes- ($k=1\ldots K$)		
R	Conjunto de los recursos –plantas, almacenes, medios de trasporte, ect- ($r=1\ldots R$)		
E	Conjuntos de escenarios ($e=1\ldots E$)		
	Parámetros		
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 .
$CH_{i,t}$	Costo 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 .
$CCAP_{r,}$	Costo 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
	Variables		
$kap_{r,t}$	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 .	$\beta_{i,t}^{e}$	Retrasos 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 .

2.1. 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 Ω 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 $z^e_{i,t}, v^e_{i,t}, y^e_{i,t}$ y $\beta^e_{i,t}$, 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 (1.1) a (1.8).

El objetivo del problema, mostrado en la ecuación (1.1) 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, retrasos, 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.

$$\begin{aligned}\max \sum_e P_e \left(\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\left(PV_i v^e_{i,t} + VR_i y^e_{i,t} - CB_{i,t}\beta^e_{i,t} - CH_{i,t} y^e_{i,t} - PC_{i,t} w^e{}_{i,t} \right) - \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\left(CO_{i,t} z^e_{k,t} \right) \right) \\ - \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\left(CCAP_{r,t} kap_{k,t} \right)\end{aligned} \tag{1.1}$$

s.a.

$$y^e_{i,t} = y^e_{i,t-1} - v^e_{i,t} - \sum_{k=1}^{K} M_{i,k} z^e_{k,t} + w_{i,t} + \sum_{k=1}^{K} N_{i,k} z^e{}_{k,t-LT(k)} \qquad \forall_i \forall_t \forall_e \tag{1.2}$$

$$\beta^e_{i,t} = \beta^e_{i,t-1} - v^e_{i,t} + D^e_{i,t} \qquad \forall_i \forall_t \forall_e \tag{1.3}$$

$$z^e_{k,t} = z_{k,t} \qquad \forall_k \forall_{t<\tau} \forall_e \tag{1.4}$$

$$\sum_k RE_{r,k} z_{k,t} \le kap_{r,t} \qquad \forall_r \forall_t \tag{1.5}$$

$$w_{i,t} \le AC_{i,t} Q \qquad \forall_i \forall_t \tag{1.6}$$

$$kap_{r,t} \le KAP_{r,t} \qquad \forall_r \forall_t \tag{1.7}$$

$$kap_{r,t} \ge 0 \;\; \forall_r \forall_{t\ge\tau}, \;\; z_{k,t\ge\tau} \ge 0 \;\; \forall_k \forall_{t\ge\tau}, \;\; v^e_{i,t\ge\tau}, y^e_{i,t}, \beta^e_{i,t\ge\tau}, w_{i,t\ge\tau} \ge 0 \;\; \forall_i \forall_{t\ge\tau} \forall_e \tag{1.8}$$

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 (1.5) 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 (1.2) 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 facilidad 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.

2.2. 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^{+} y otro asociado a la capacidad contratada no utilizada PN^{-}. El modelo se presenta de las ecuaciones (2.1) a la (2.6).

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{t=\tau}^{T}\left(\sum_{i=1}^{I}\left(PV_i v_{i,t} + VR_i y_{i,t} - CB_{i,t}\beta_{i,t} - CH_{i,t} y_{i,t} - PC_{i,t} w_{i,t}\right) - \sum_{k=1}^{K} CO_{i,t} z_{k,t}\right) \\ & - \sum_{t=\tau}^{T}\sum_{r=1}^{r}\left(PN^{+}F_{r,t}^{+} + PN^{-}F_{r,t}^{-}\right) \end{aligned} \tag{2.1}$$

s.a.

$$y_{i,t} = y_{i,t-1} - v_{i,t} + RPL_{i,t} - \sum_{k=1}^{K} M_{i,k} z_{k,t} + w_{i,t} + \sum_{k=1}^{K} N_{i,k} z_{k,t-LT(k)} \qquad \forall_i \forall_t \tag{2.2}$$

$$\beta_{i,t} = \beta_{i,t-1} - v_{i,t} + D_{i,t} \qquad \forall_i \forall_t \tag{2.3}$$

$$\sum_{k} RE_{r,k} z_{k,t} + F_{r,t}^{-} - F_{r,t}^{+} = CAP_{r,t} \qquad \forall_r \forall_t \tag{2.4}$$

$$w_{i,t} \leq AC_{i,t} Q \qquad \forall_i \forall_t \tag{2.5}$$

$$F_{r,t}^{+}, F_{r,t}^{-} \geq 0 \quad \forall_r \forall_t, \; z_{k,t} \geq 0 \quad \forall_k \forall_t, \; v_{i,t}, y_{i,t}, \beta_{i,t}, w_{i,t} \geq 0 \qquad \forall_i \forall_t \tag{2.6}$$

Con la restricción (2.4) 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. 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 conviene para responder rápidamente al mercado dependiendo del tiempo de transito 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.

4. Referencias

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.

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, G.-S. J. C.-L. 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.

Fisher, M. L. (1997). What Is the Right Supply Chain for Your Product? Harvard Business Review, Vol. 75, nº. 2, pp. 105-116.

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, nº. 2, pp. 860-868.

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.

Serel, D. (2007). Capacity reservation under supply uncertainty. Computers & Operations Research, Vol. 34, nº. 4, pp. 1192-1220.

Wong, C. Y.; Stentoft Arlbj°rn, 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, nº. 2, pp. 709-721.