

Analyze and designing of allocation models in multi-supplier environments, based on MILP

David Cervera¹, Anna Coves¹

¹ IOC Institute of Industrial and Control Engineering. Dept. of Management. School of Industrial Engineering of Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. Av. Diagonal, 647, p.11. 08028 Barcelona.
anna.maria.coves@upc.edu, david.cervera.lopez@hotmail.com

Palabras clave: Selección de proveedores, Asignación proveedores, Cantidad óptima.

1. Introducción

Hoy en día las empresas utilizan políticas de disminución de costes en todos sus departamentos, entre ellos el departamento de compras adquiere especial relevancia y es el objeto de nuestro estudio. La optimización de los aprovisionamientos adquiere cada vez más importancia, se centralizan las compras, se invierten muchos recursos en la negociación con los proveedores, obteniendo cada vez acuerdos más complejos y con más de un proveedor para no caer en la problemática ocasionada por depender de uno sólo. Ting y Cho (2008) indican que los requisitos del comprador son cada vez más difíciles de satisfacer mediante un único proveedor, ya que las necesidades afectan a la cantidad, variedad, calidad y a las condiciones de entrega (frecuencias y plazos). Aissaoui et al. (2007) también comentan que la flexibilidad que se necesita hoy en día en la cadena de suministro no puede satisfacerse desde un solo proveedor y arguyen que algunos autores destacan que el uso de múltiples proveedores reduce el inventario total y los costes de compra, siendo especialmente relevante en entornos just-in time. Así pues la negociación entre comprador y proveedor, se centra básicamente en los requisitos de: calidad, plazos de entrega, flexibilidad de los pedidos y en las políticas de descuentos y penalizaciones. Todo ello se concreta en diversas cláusulas que se plasman en el contrato. Dickson (1966) ya establecía 23 criterios a considerar en la selección de proveedores, muchos de los cuáles actualmente son objeto de cláusulas en dichos acuerdos. La complejidad generada por los acuerdos es tan grande que debe disponerse de herramientas de soporte a las decisiones, de modo que las sistematizen, que minimicen el tiempo empleado en las acciones que debe llevar a cabo el personal de compras y que aproveche las ventajas que se pueden obtener a partir de los acuerdos establecidos con los proveedores.

El objetivo del trabajo que aquí se presenta* es analizar el caso del aprovisionamiento multi-proveedor y diseñar una herramienta basada en el diseño y validación de modelos que optimicen la planificación de los aprovisionamientos. En este trabajo se considera que los proveedores y sus acuerdos han sido ya establecidos previamente. Se trata pues de considerar las características presentes en la mayoría de acuerdos, seleccionar los criterios de decisión más usuales y diseñar modelos lineales de asignación de las cantidades óptimas que deberá

* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia con referencia DPI2007-61588 (CTT:J-01259) titulado "Planificación Agregada Integrada de la Empresa (PAGINEM)".

aprovisionar cada posible proveedor. Las diferentes casuísticas serán tratadas en diferentes modelos o variantes.

Se ha realizado una revisión bibliográfica de las publicaciones más recientes que abordan la presente problemática. Se han extraído las principales características tratadas por los diferentes autores, con especial atención a los criterios más habituales en las decisiones de asignación a proveedores. Los modelos diseñados a partir del presente trabajo constituirán una herramienta que facilitará al responsable de la planificación de aprovisionamientos que tome las decisiones de forma sistemática, ahorrando tiempo y sobretodo optimizándolas según los criterios de la empresa. La herramienta que se diseñe debe ser suficientemente flexible para incorporar las particularidades de las empresas, por ello se han desarrollado varios modelos. Los modelos diseñados están basados en programación lineal entera y mixta y han sido ejecutados mediante ILOG-CPLEX. Se han obtenido juegos de datos facilitados por una empresa del sector de automoción, lo que ha permitido validar el uso de los modelos diseñados. Se han ampliado los juegos de datos para validar todas las casuísticas incorporadas, algunas de las cuáles no tenían cabida en la empresa en cuestión. Finalmente se presentan las conclusiones y la línea de trabajo futura.

2. Antecedentes

Se ha realizado una revisión de los trabajos más recientes relacionados con la temática que nos ocupa. Algunos artículos seleccionados analizan el proceso de decisión que conduce a la selección de los proveedores. Recordemos que en el presente trabajo los proveedores son ya conocidos y han sido seleccionados previamente. Los autores que más han influido en nuestro trabajo son:

– Aissaoui et al. (2007) presentan una revisión del estado del arte muy exhaustivo y aportan diversos criterios de clasificación. Atendiendo a la clasificación basada en las técnicas utilizadas por los diferentes autores, por un lado consideran los autores que incorporan un único objetivo y sus técnicas asociadas, son las referencias mayoritarias y dentro de ellas la gran mayoría están basadas en programación lineal y programación lineal entera y mixta, aunque algunos autores utilizan programación dinámica, programación no lineal, programación estocástica o teoría de la decisión. Por otro lado están los autores de trabajos que incorporan múltiples objetivos, son minoritarios y en ellos se destaca el uso de la programación multi-objetivo y de la programación por metas, existiendo un trabajo referenciado que utiliza redes neuronales. Hacen énfasis en las tres decisiones más importantes que deben resolverse:

- ¿Qué productos compro? Uno o más proveedores pueden ofrecer un largo listado de descuentos basados en el volumen de negocio total, en la cantidad de producto comprada, a todas las unidades o incrementales, etc.
- ¿En qué cantidades y a qué proveedores? Puede simplificarse la respuesta diciendo que es mono o multi-aprovisionamiento. La decisión es multi-aprovisionamiento, según los autores, cuando ninguno de los proveedores puede suministrar la cantidad total demandada o cuando precisamente se quiere fomentar la competencia entre proveedores.
- ¿Con qué frecuencia? La frecuencia va íntimamente ligada a los lotes de aprovisionamiento y permiten disminuir considerablemente los costes de compra.
- En sus conclusiones destacan la importancia de la función de compras en la consecución de una ventaja competitiva para la empresa y aun más en entornos just-in-time, en donde la gestión de la cadena de suministro adquiere especial relevancia. También destacan la escasez de estudios publicados sobre la compra de servicios, en contraposición con el auge que está teniendo la subcontratación. Además los modelos que

incorporan múltiples productos están obteniendo mejores resultados, así como los que incorporan los inventarios. Finalmente auguran que la investigación en este campo irá en aumento, debido al crecimiento de la subcontratación, al del e-procurement y a la incorporación de módulos de suministros en los ERP, que facilitaran el acceso a los datos de los proveedores.

- Xia y Wu (2007) aportan a nuestros modelos la gran mayoría de las características que incorpora el modelo básico, a excepción de descuentos por cantidad total y costes fijos por pedido que se incorporan en el modelo básico, lo que también conduce a una nueva función objetivo. También presentan un método de cálculo de los pesos asignados a los diferentes proveedores en función de su prioridad;
- Stadtler (2007) trata el caso multi-período y multi-objetivo incorporando el concepto de actualización. Da mucha importancia al proceso de sistematizar la toma de decisiones. Describe las restricciones que deben considerarse y que otros modelos más simplificados no incluyen (múltiples productos, múltiples periodos, capacidad de almacenaje, tipo de interés, etc.). No incluye descuentos por volumen de negocio pero si que incluye descuentos incrementales. Tampoco incluye restricciones de calidad o de plazos de entrega. A diferencia de los modelos de Xia y Wu (2007), éste incluye descuentos sobre la cantidad total de compra. El modelo que propone es multi-proveedor, multi-producto, multi-período, multi-aprovisionamiento y mono-criterio.
- Wagner y Friedl (2007) destacan las ventajas de cambiar de proveedor, total o parcialmente y asignar pedidos a varios proveedores en lugar de a uno. Al decidir si se asigna a un segundo o tercer proveedor por primera vez, indica que el principal problema es la información asimétrica. Por un lado el proveedor nuevo conoce la estructura de precios del proveedor principal y de los requisitos del comprador, pero ninguno de los dos conoce la estructura de costos del proveedor que entra nuevo. Dicen que es preciso diseñar los contratos para que el proveedor que entra facilite su estructura de costes reales.
- Burke, et al. (2008) son los autores que incorporan más tipos de descuentos. Los modelos resultantes son de gran complejidad, no lineales y es un problema NP-hard. Plantean métodos heurísticos para solucionar los modelos, que son multi-proveedor, mono-producto, mono-período, mono-aprovisionamiento y mono-criterio.

3. Factores

En la planificación de los aprovisionamientos debemos asignar la cantidad óptima a cada proveedor de la lista de candidatos en función de los factores estratégicos considerados, entre ellos destacamos: el horizonte de la planificación; los criterios a considerar y los acuerdos con cada proveedor.

3.1. Horizonte

El horizonte de planificación puede incluir uno o más períodos. Los casos mono-período son sensiblemente más sencillos que los multi-período, ya que aparecen elementos que en el mono-período no se consideran, como: inventarios, stock de seguridad, costos de los stocks, actualización del movimiento de fondos, etc.

– Mono-período

El caso mono-período es aquel en el que sólo se suministra dentro del intervalo o período. Suele considerarse que en dicho caso cada proveedor puede hacer un aprovisionamiento, ya que si se hacen más pedidos los costes fijos suelen aumentar. Sin embargo existen casos en donde el aprovisionamiento de un proveedor puede ser múltiple, por capacidad del proveedor o por requerimiento del comprador. En nuestro

modelo consideraremos que en el caso mono-período también es mono-aprovisionamiento.

- Multi-período

Es el caso en el que se planifica dentro de un horizonte determinado, dividido en períodos. La mayoría de autores asumen como constantes los parámetros a lo largo del horizonte y esto se aleja de la realidad, pues la capacidad producción, los precios, la demanda fluctúan a lo largo de los períodos.

3.2. Criterios

Los criterios que se incorporan en la planificación de los aprovisionamientos dependen en gran medida de las propias empresas, de su situación de dominancia ante sus proveedores (si es dominante o no y su poder de negociación), del tipo de productos (en cuanto a si son tipo estándar o son especiales o críticos), al tipo de aprovisionamiento que se desea (en cantidad, calidad y plazos fundamentalmente). Esta diferenciación se verá reflejada en los criterios considerados en la planificación, así tendremos criterios como: costes, calidad, fiabilidad de los plazos, etc.

Los criterios se incorporan en la función objetivo de los modelos matemáticos, aumentando la complejidad al aumentar el número de criterios que quieren considerarse. En el caso de múltiples criterios deben utilizarse técnicas específicas de modelización, por ejemplo entre otras:

- reducir los criterios a una función de costes
- dar pesos a los criterios, normalizarlos en una cierta escala y ponderar una función de utilidad
- establecer una jerarquía de criterios y resolver jerárquicamente cada modelo con la función objetivo de un solo criterio cada vez.
- etc.

3.3. Acuerdos Proveedor / Comprador

Según la situación de dominancia del proveedor o del comprador, los elementos que se citan a continuación vienen determinados por uno o por otro. Por ejemplo, si el proveedor necesita vender, el comprador puede negociar el precio y obtener descuentos. Si el proveedor es el dominante en el mercado, al comprador le será difícil obtener precios especiales.

- Precio. Incluye el precio del producto, los costes fijos de pedido por proveedor, los costes de transporte, los descuentos (los descuentos más habituales son: por cantidad total o por volumen de negocio), las penalizaciones.
- Demanda. Será muy distinto el poder de negociación si la demanda es continua o diferida, determinista o probabilista, homogénea o heterogénea.
- Capacidad. Nos referimos aquí a la capacidad de: producción (cantidad mínima para que sea rentable fabricar, o máxima debido a los recursos disponibles); almacenaje (estoc de seguridad, recursos de almacenaje disponibles); transporte (mínima cantidad a transportar o máxima cantidad en función de los recursos disponibles)
- Fiabilidad de las entregas. Según el tiempo (plazos de entrega), según la cantidad y la calidad
- Localización geográfica del proveedor respecto al comprador. Será importante en la negociación y en los acuerdos, la distancia entre ellos, ya que los períodos a considerar serán

de distinta magnitud y ello afecta a la toma de decisiones. Si la relación proveedor/comprador es de ámbito local, los plazos de entrega serán habitualmente de horas o días, si la relación es del ámbito de la UE el plazo de entrega habitual es de días o de pocas semanas, mientras que si la relación es extracomunitaria el plazo de entrega puede medirse en meses. Todo ello, evidentemente, salvo excepciones.

4. Modelos

Los autores del presente trabajo exponen uno de los modelos que han diseñado, que denominamos modelo básico. Dicho modelo considera un límite máximo para el indicador de no calidad, así como un umbral mínimo del indicador correspondiente a la fiabilidad en los plazos de entrega. Entre todos los proveedores se garantiza la demanda requerida. Los parámetros que limitan la no calidad y la fiabilidad de los plazos de entrega se establecen globalmente, es decir lo que se limita es la proporción de unidades defectuosas que son suministradas y llegan a la empresa (entre todos los proveedores). Del mismo modo lo que se limita es el porcentaje de suministro entregado (entre todos los proveedores) fuera del plazo establecido.

Los proveedores pueden ofrecer uno de los dos tipos de descuento: por volumen de negocio o por cantidad comprada de un producto.

El Modelo Básico que se presenta en este trabajo corresponde al caso: multi-producto / mono-período / mono-aprovisionamiento / mono-objetivo. Al margen del modelo que aquí se detalla los autores han diseñado diversos modelos, entre ellos una variante del Modelo Básico, en la que se ha permitido sobrepasar los límites de calidad y plazos, penalizando económicamente la función objetivo. También se han diseñado otros modelos considerando una función multi-objetivo, que se ha resuelto por dos métodos multi-criterio: mediante ponderación de los criterios (calidad, coste, plazos de entrega) y mediante resolución jerárquica. Todos los modelos y variantes han sido ampliados considerando un horizonte multi-período.

4.1. Modelo Básico

Parámetros

$i = 1, 2, \dots, I$ Productos a comprar

$j = 1, 2, \dots, J$ Proveedores

$r = 1, 2, \dots, R$ Intervalos de descuento

S Conjunto de proveedores que ofrecen productos con descuento por volumen de negocio

$\tilde{S}$ Conjunto de proveedores que ofrecen productos con descuento por cantidad total

K_j Conjunto de productos ofrecidos por el proveedor j

b_{jr} Límite superior del intervalo de descuento r por volumen de negocio del proveedor j ,
siendo los valores $0 \leq b_{j0} < b_{j1} < \dots < b_{jR}$, [unidad monetaria]

$\tilde{b}_{jir}$ Límite superior del intervalo de descuento r por cantidad total de producto i del proveedor
 j , siendo los valores $0 \leq \tilde{b}_{ji0} < \tilde{b}_{ji1} < \dots < \tilde{b}_{jiR}$, [unidad monetaria]

d_{jr} Coeficiente de descuento por volumen de negocio asociado al intervalo r del proveedor j
(en tanto por 1)

$\tilde{d}_{jir}$ Coeficiente de descuento por cantidad total de producto i asociado al intervalo r del proveedor j (en tanto por 1)

p_{ji} Precio unitario del producto i ofrecido por el proveedor j [unidad monetaria / unidad producto]

q_{ji} Proporción correspondiente a la cantidad máxima de producto i que el proveedor j puede entregar fuera de los márgenes de calidad (en tanto por 1)

Q_i Indicador de calidad (límite superior de la proporción de producto i fuera de los márgenes de calidad aceptada por el comprador, en tanto por 1).

t_{ji} Proporción correspondiente a la cantidad mínima de producto i que el proveedor j se compromete a entregar a tiempo (en tanto por 1)

T_i Indicador de fiabilidad de plazo de entrega (límite inferior de la proporción de producto i a entregar en plazo aceptado por el comprador, en tanto por 1)

C_{ji} Capacidad de suministro del producto i por el proveedor j [unidades producto / unidad de tiempo]

C_j Capacidad de suministro del proveedor j ($C_j = \sum_{i \in K_j} C_{ji}$) [unidades producto / unidad de tiempo]

D_i Demanda total del producto i [unidades producto / unidad de tiempo]

c_j Coste fijo del pedido para el proveedor j [unidad monetaria / pedido]

Variables

X_{ji} Unidades del producto i compradas al proveedor j [unidades producto / unidad de tiempo]

V_{jr} Volumen de negocio con el proveedor j dentro del intervalo de descuento r , antes de aplicar descuento [unidad monetaria / unidad de tiempo]

$\tilde{V}_{jir}$ Volumen de negocio con el proveedor j , antes de aplicar descuento, del producto i dentro del intervalo de descuento r [unidad monetaria / unidad de tiempo]

Y_{jr} Variable binaria. Indica si el volumen de negocio (antes de aplicar descuento) con el proveedor j está dentro del intervalo de descuento r o no.

$\tilde{Y}_{jir}$ Variable binaria. Indica si la cantidad comprada a proveedor j del producto i está dentro del intervalo de descuento r (en términos monetarios) o no.

u_j Variable binaria. Indica si existe o no pedido con el proveedor j .

Función Objetivo

$$[\text{MIN}] Z_1 = \sum_{j \in S} \sum_{r=1}^R (1 - d_{jr}) \cdot V_{jr} + \sum_{j \in \tilde{S}} \sum_{i \in K_j} \sum_{r=1}^R (1 - \tilde{d}_{jir}) \cdot \tilde{V}_{jir} + \sum_{j=1}^J c_j \cdot u_j \quad (1)$$

Restricciones

- 1) Volumen de negocio, antes de aplicar descuentos, con el proveedor j

$$\sum_{r=1}^R V_{jr} = \sum_{i \in K_j} p_{ji} \cdot X_{ji}; j \in S \quad (2)$$

- 2) Volumen de negocio antes de aplicar descuento por cantidad del producto i con el proveedor j

$$\sum_{r=1}^R \tilde{V}_{jir} = p_{ji} \cdot X_{ji}; j \in \tilde{S}; \forall i = 1, \dots, I \quad (3)$$

- 3) Restricciones de capacidad $X_{ji} \leq C_{ji}; \forall i = 1, \dots, I; \forall j = 1, \dots, J \quad (4)$

- 4) Restricciones de descuento por volumen de negocio $b_{j,r-1} Y_{jr} \leq V_{jr} < b_{jr} Y_{jr}$

$$j \in S; \forall r = 1, \dots, R \quad (5a) \quad \sum_{r=1}^R Y_{jr} = 1; j \in S \quad (5b)$$

- 5) Restricciones de descuento por cantidad total $\tilde{b}_{j,i,r-1} \tilde{Y}_{jir} \leq \tilde{V}_{jir} < \tilde{b}_{jir} \tilde{Y}_{jir}$ donde

$$j \in \tilde{S}; i \in K_j; \forall r = 1, \dots, R \quad (6a) \quad \sum_{r=1}^R \tilde{Y}_{jir} = 1; j \in \tilde{S}; i \in K_j \quad (6b)$$

- 6) Restricciones de la demanda $\sum_{j=1}^J X_{ji} = D_i; \forall i = 1, \dots, I \quad (7)$

- 7) Restricciones de calidad global (defectos) $Q_i D_i \geq \sum_{j=1}^J q_{ji} X_{ji}; \forall i = 1, \dots, I \quad (8)$

- 8) Restricciones de entregas en plazo (global)

$$(1 - T_i) \cdot D_i \geq \sum_{j=1}^J (1 - t_{ji}) \cdot X_{ji}; \forall i = 1, \dots, I \quad (9)$$

- 9) Si existe compra, existe pedido $\sum_{i \in K_j} X_{ji} \leq C_j \cdot u_j; \forall j = 1, \dots, J \quad (10)$

- 10) No negatividad de las variables $X_{ji}, V_{jr}, \tilde{V}_{jir} \geq 0 \quad (11)$

- 11) Variables binarias $Y_{jr}, \tilde{Y}_{jir}, u_j \in \{0,1\} \quad (12)$

El primer factor de la función objetivo (1) corresponde al volumen de negocio con el proveedor j (proveedores que solo ofrecen descuentos por volumen de negocio) después de aplicar descuentos (no incluye el coste fijo del pedido). El segundo factor representa el volumen de negocio con el proveedor j, de producto i que ofrece descuento por cantidad total (no incluye el coste fijo de pedido). El último factor corresponde al coste fijo de pedido.

El conjunto de restricciones (2) muestra el volumen de negocio con el proveedor j antes de aplicar los descuentos. Este valor es el que se considera para determinar el intervalo de descuento correspondiente (ver el conjunto de restricciones (5)).

El conjunto de restricciones (3) muestra también el volumen de negocio con el proveedor j pero del producto i antes de aplicar descuentos.

El conjunto de restricciones (4) limita la cantidad a asignar de producto i al proveedor j, ésta es menor o igual a la capacidad de suministrar el producto i por parte del proveedor j.

Los conjuntos de restricciones (5a), (5b) y (6a), (6b) garantizan que el volumen de negocio correspondiente solo pertenezca a un único intervalo de descuento (del mismo modo para la cantidad asignada, en términos monetarios, en referencia al descuento por cantidad).

El conjunto de restricciones (7) expresa que el total de la cantidad asignada del producto i es igual a la demanda del producto i .

Los conjuntos restricciones (8) y (9) limitan el total de unidades defectuosas y las entregadas fuera de plazo, respectivamente, del producto i .

El conjunto de restricciones (10) indica la existencia de pedido con el proveedor j siempre que el comprador le asigne alguna cantidad de producto.

Por último, los conjuntos de restricciones (11) restringen las variables a ser no negativas y el (12) definen las variables binarias.

5. Resultados

Se han utilizado datos de una empresa del sector del automóvil para verificar el correcto funcionamiento del modelo. Para validar los distintos modelos se han creado juegos de datos específicos. Hay cinco proveedores para un mismo producto. Dos de los cuáles aplican descuentos por volumen de negocio y los otros tres que lo aplican por cantidad total. Se han considerado tres productos que pueden ser suministrados por los cinco proveedores. El número máximo de intervalos de descuento para todos los proveedores ha sido de tres.

En el sector de automoción, los márgenes de calidad son muy estrechos, puesto que entregar un componente defectuoso supone importantes penalizaciones económicas por parte de la empresa. También se debe cumplir escrupulosamente con los plazos de entrega, ya que el sector suele producir bajo just in time, donde el parámetro tiempo adquiere un papel relevante. Por este motivo las proporciones de producto que deben entregarse en plazo y en calidad es del 100%.

El modelo básico que se ha detallado en este trabajo se ha ejecutado con los datos obtenidos en un tiempo de 0,25s, generando 87 variables, 117 restricciones. Como se ha comentado anteriormente, los autores han ampliado al caso multi-período dicho modelo básico así como los otros relacionados en el apartado 4. Se ha considerado un horizonte de 4 períodos, lo que ha generado entre 400 y 500 variables según el modelo y alrededor de 600 restricciones, el tiempo de ejecución ha sido en todos los casos inferior a 0,50s.

6. Conclusiones

Las recientes referencias bibliográficas relacionadas con la problemática planteada corroboran el interés actual del tema y la necesidad de incorporar herramientas de ayuda a la decisión en este campo. Nosotros hemos propuesto un Modelo Básico que contempla alguna de las características más habituales, que han sido planteadas por distintos autores y hemos podido comprobar que la problemática es real, al poder utilizar datos de una empresa del sector de la automoción.

Se ha demostrado la viabilidad del modelo ya que obtiene las soluciones en un tiempo despreciable inferior a 0,50s, lo que permite plantear su factibilidad a un nivel más global de la empresa, con más componentes y proveedores. Será objeto de estudios futuros.

En un futuro es previsto presentar otros modelos complementarios al Modelo Básico que permitirán más flexibilidad, de modo que se deje a elección del comprador, en función de sus intereses y del tipo de producto que utilice uno u otro modelo. También deberá incorporarse en un futuro este modelo en un modelo más amplio de planificación agregada que incorpore

aspectos productivos, financieros, de personal y los que hemos tratado en este trabajo de aprovisionamiento con múltiples proveedores.

Referencias

- Aissaoui, N.; Haouari, M.; Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling. *Computers & Operations Research*. Vol. 34, p. 3516-3540
- Burke, G.J.; Carrillo, J.; Vakharia, A.J. (2008). Heuristics for sourcing from multiple suppliers with alternative quantity discounts. *European Journal of Operational Research*. Vol. 186, p. 317-329
- Dickson, G.W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*. Vol. 2 (1), p. 5-17
- Wagner, S.M.; Friedl, G. (2007). Supplier switching decisions. *European Journal of Operational Research*. Vol. 183, p. 700-717
- Gencer, C.; Gürpinar, D. (2007) Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied Mathematical Modelling*. Vol. 31, p. 2475-2486
- Stadtler, H. (2007). A general quantity discount and supplier selection mixed integer programming model. *OR Spectrum*. Vol. 29, p. 723-744
- Ting, S.C; Cho, D.I. (2008) An integrated approach for supplier selection and purchasing decisions. *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 13 (2), p. 116-127
- Xia, W.; Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*. Vol. 36, p. 494-504