



Estudios Gerenciales

ISSN: 0123-5923

estgerencial@icesi.edu.co

Universidad ICESI

Colombia

RUIZ TORRES, ALEX JESÚS; ABLANEDO ROSAS, JOSÉ HUMBERTO; AYALA CRUZ, JORGE

Modelo de asignación de compras a proveedores considerando su flexibilidad y probabilidad de incumplimiento en la entrega

Estudios Gerenciales, vol. 28, núm. 122, enero-marzo, 2012, pp. 29-48

Universidad ICESI

Cali, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21223179002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Modelo de asignación de compras a proveedores considerando su flexibilidad y probabilidad de incumplimiento en la entrega<sup>1</sup>

**ALEX JESÚS RUIZ TORRES, Ph.D.\***

Miembro de la Escuela Graduada de Administración de Empresas,  
Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico  
alex.ruiztorres@upr.edu

**JOSÉ HUMBERTO ABLANEDO ROSAS, Ph.D.**

Miembro de la Facultad del College of Business Administration,  
University of Texas at El Paso, Estados Unidos  
jablanedorosas2@utep.edu

**JORGE AYALA CRUZ, Ph.D.**

Miembro de la Escuela Graduada de Administración de Empresas,  
Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico  
jayala@operdynamics.com

## RESUMEN

La selección de proveedores es un proceso trascendental en la gestión de la cadena de suministro y en la competitividad empresarial. Este trabajo presenta un modelo de decisión que optimiza la asignación de la demanda a un grupo de proveedores, considerando las pérdidas esperadas debido a incumplimientos, costos de compra, costos imprevistos por faltas en las entregas de suministros y el costo de gestión de un conjunto de proveedores. Un análisis de experimentos y de sensibilidad es implementado para estudiar el comportamiento del modelo con respecto a parámetros clave. Los resultados comprueban que el modelo es sensible a estos parámetros y demuestra la utilidad del modelo para los responsables de la toma de decisiones en esta área.

**Palabras clave.** Cadenas de abastecimiento; gerencia de la cadena de suministro; selección de proveedores; modelos de decisión

recibido: 08-mar-11, corregido: 15-jul-11 y aceptado: 10-ene-12

Clasificación JEL: C44



.....  
1 Los autores expresan su gratitud a todas las fuentes de financiamiento que apoyaron esta investigación. Éstas son el College of Business Administration of the University of Texas at El Paso, el Decanato de Estudios Graduados e Investigación de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras y la Facultad de Administración de Empresas de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.

\* Autor para correspondencia. Dirigir a: Facultad de Administración de Empresas, Universidad de Puerto Rico, PO Box 23332, San Juan, PR 00931-3332.

*A supplier allocation model considering flexibility and likelihood of delivery failures*

**ABSTRACT**

Supplier selection is a critical process in supply chain management and business competitiveness. This article presents a decision-making model that optimizes allocation of demand across a set of suppliers considering expected losses associated with delivery defaults, purchasing costs, unforeseen costs of non-delivered supplies, and supplier management costs. An experimental and sensitivity analysis was carried out to study the behavior of the model with regard to key parameters. The results reveal that the proposed model is sensitive to these parameters and demonstrate the usefulness of the model to decision makers in this field.

**Keywords.** Supply chain; supply chain management; supplier selection; decision models



*Modelo de designação de compras a fornecedores considerando sua flexibilidade e probabilidade de descumprimento na entrega*

**RESUMO**

A seleção de fornecedores é um processo transcendental na gestão da cadeia de abastecimento e competitividade empresarial. Este trabalho apresenta um modelo de decisão que otimiza a designação da demanda a um grupo de fornecedores, considerando as perdas esperadas devido a descumprimentos, custos de compra, custos imprevistos por falhas nas entregas de provisões e o custo de gestão de um conjunto de fornecedores. Uma análise de experimentos e de sensibilidade é implementada para estudar o comportamento do modelo em relação a parâmetros-chave. Os resultados comprovam que o modelo é sensível a estes parâmetros e demonstra a utilidade do modelo para os responsáveis pela tomada de decisões nesta área.

**Palavras-chave.** Cadeias de abastecimento; gerenciamento da cadeia de abastecimento; seleção de fornecedores; modelos de decisão

## Introducción

La selección de proveedores es un proceso crítico en la gestión de la cadena de suministro y a la competitividad de las empresas. Acontecimientos como la transformación del comunismo en China, el abandono de las políticas proteccionistas en Latinoamérica, la expansión de las normas de comercio internacional y la propagación de acuerdos regionales, han fomentado cambios irrevocables en los canales de distribución e intercambio, comercio mundial y sistemas de producción. Estos cambios han requerido una mayor atención a los vínculos externos de las empresas, en especial al manejo de sus proveedores (Wang, Tian y Hu, 2005).

Empresas globales, regionales y nacionales dependen cada día más de sus proveedores, quienes juegan un rol determinante en actividades claves, como la administración de inventarios y las funciones logísticas (Herrera y Osorio, 2006). Wal-Mart, Procter & Gamble y McDonald's son una muestra de empresas reconocidas que gestionan excepcionalmente la selección y relación con sus proveedores como parte integral y medular del éxito de sus estrategias operacionales (Liu y Wu, 2010).

Investigaciones recientes sugieren que las empresas latinoamericanas no se encuentran exentas de los efectos de estos acontecimientos. El centro de gravedad de importantes actividades de producción de bienes y servicios de alto valor se está trasladando a países de la región, lo que hace imperativo desarrollar o mejorar prácticas eficientes para gestionar la cadena de valor de las empresas (Brenes, Metzger y Requena, 2011; Rajshekhar, Gross, Joseph y Granot, 2011).

La evidencia confirma que, en la región, muchas pequeñas y medianas empresas han demostrado el rol crítico del buen manejo de los proveedores en sus cadenas de valor y en las posturas competitivas (Beltrán y Burbano, 2002; Gutiérrez y Jaramillo, 2009; Scavar-

da, Reichhart, Hamacher y Holweg, 2010). Rosales y Kuwayama (2007) afirman que el crecimiento de China e India mantendrá a estos países como el polo de desarrollo más importante de la economía mundial, ofreciendo a América Latina un mercado de gran potencial para sus productos de exportación. Esta oportunidad ha sido poco explotada por las empresas latinoamericanas y requiere una selección de proveedores adecuada, como uno de los factores críticos para acceder a esos mercados y propiciar una incorporación a las cadenas asiáticas de producción y exportación.

La utilización y dependencia en proveedores es simplemente una necesidad de las organizaciones productivas ya que ninguna empresa posee la tecnología y capacidad de producirlo todo (Kannan y Tan, 2002). Aún cuando una empresa tuviera la capacidad y tecnología necesarias para producir un componente o proveer una función, el utilizar un proveedor permite a las organizaciones centrarse en sus competencias y convertirlas en una ventaja competitiva. Sin embargo, el depender de proveedores para abastecer componentes o funciones críticas también tiene sus riesgos, los cuales pueden resultar en pérdidas significativas (Constantino y Pellegrino, 2010). Por ejemplo, el incumplimiento de proveedores puede interrumpir operaciones, retrasar la terminación o la cancelación de pedidos, e incluso, propiciar la pérdida de clientes.

Esta investigación es una extensión del modelo presentado por Ruiz-Torres y Mahmoodi (2006), que analiza la toma de decisiones asociadas a la asignación de compras a proveedores, considerando el riesgo de incumplimiento en la entrega y los costos asociados con esta decisión.

En la realidad industrial el incumplimiento en la entrega se debe a factores como la ausencia laboral, retrasos en envíos, problemas

contractuales, fallas tecnológicas, falta de energía, sobre-demanda, problemas sindicales, escasez de materia prima, entre otros.

La formulación del problema considera tres costos principales: los costos de gestión de proveedores (que crece a medida que aumenta el número de proveedores), los costos totales de compra sin ningún descuento por volumen (que favorece la selección de la fuente de menor costo) y los costos de las pérdidas esperadas (que favorece la selección de múltiples proveedores para reducir el costo total esperado por pérdidas, si todos los proveedores tienen probabilidades similares en el incumplimiento de la entrega). Además, el modelo toma en cuenta la flexibilidad de producción de los proveedores.

El modelo desarrollado en este artículo es de utilidad práctica para las organizaciones productivas ya que presenta un proceso cuantitativo para la toma de decisiones relacionadas a la selección de proveedores, las cuales frecuentemente son tomadas solo con base en el precio de compra (Beltrán y Burbano, 2002). La extensión presentada aquí amplía los modelos existentes en la literatura y provee una nueva manera de tomar la decisión de cómo asignar órdenes a proveedores.

Este documento está organizado de la siguiente forma. En la primera sección se hace una revisión reciente de la literatura en el área de selección de proveedores. La segunda sección describe el modelo propuesto en esta investigación, incluyendo los diversos costos considerados en el análisis. La tercera sección presenta un análisis del comportamiento del modelo y la cuarta sección contiene las conclusiones y futuras áreas de investigación.

## 1 Modelos de selección de proveedores

La literatura científica en el área de selección de proveedores y distribución de compras ha crecido exponencialmente en los últimos cinco años. Esta revisión se centra en tra-

bajos recientes en el área que incluyen los temas abordados, las características de los problemas y los modelos desarrollados. Las encuestas recientes por Aissaoui, Haouari y Hassini (2007) y Ho, Xu y Dey (2010) describen la literatura previa relacionada con la selección de proveedores y la asignación de la demanda a éstos. Aissaoui et al. hacen una revisión de la literatura que emplea la investigación operativa y otros tipos de modelos matemáticos/computacionales, se describen las características principales de los modelos de decisión y se proponen diferentes formas para clasificar los modelos investigados. Por su parte, Ho et al. revisan varios criterios de decisión sobre la evaluación y selección de proveedores.

Los trabajos recientes sobre la selección de proveedores y asignación de compras se enfocan en el desarrollo de modelos que capturan diversas variables del proceso de decisión. Por ejemplo, en un artículo reciente de Amin, Razmi y Zhang (2011) se utilizan variables relacionadas en un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) por cada proveedor. Los resultados del análisis FODA son implementados en un programa matemático disperso (fuzzy) para definir cuánto se debe comprar a cada proveedor.

Por su parte, un artículo publicado por Zhou, Wang y Yan (2011) plantea un modelo que utiliza simulación discreta para la subcontratación de dos proveedores, uno de ellos localizado en Brasil. El objetivo del estudio fue proporcionar información respecto a la variación en la demanda y algunos parámetros de costos claves en la decisión de selección de proveedores, así como los diferentes requisitos de nivel de servicio de la empresa.

En contraste, en el artículo de Mendoza y Ventura (2008) se consideran factores más tradicionales, como los costos de ordenar, los costos por unidad y los costos asociados con mantener el inventario.

Finalmente, Hasan, Shankar y Sarkis (2008) abordan el diseño y la implementación de un procedimiento para evaluar a los proveedores de las organizaciones que trabajan bajo la filosofía de *manufactura ágil*. La investigación se centra en determinar los factores apropiados, tanto cuantitativos como cualitativos, que se pueden utilizar para evaluar y seleccionar los proveedores adecuados que se ajusten a las prácticas de manufactura ágil de la organización.

Varios autores han propuesto modelos basados en lo que se conoce como Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) para la decisión sobre la selección de proveedores y el proceso de asignar volúmenes de compra a cada uno de ellos. Al respecto Moynihan, Saxena y Fonseca (2006) presentan un sistema de apoyo para asistir en las funciones de adquisición, incluyendo la selección de proveedores basándose en PAJ. El modelo evalúa los proveedores en función de factores tales como costo, tiempo de entrega, distancia y categoría del proveedor.

Levary (2008) describe cómo un enfoque basado en PAJ se utilizó para evaluar a proveedores extranjeros en un caso real de la industria. Ting y Cho (2008) combinan PAJ con un modelo de programación matemática lineal y multi-objetivo que se usó para asignar cantidades de compra a los proveedores. Özgen, Önut, Gülsün, Tuzkaya y Tuzkaya (2008) combinaron múltiples objetivos en un modelo probabilístico para resolver el mismo problema. Yu y Tsai (2008) proponen un modelo que integra los principios de PAJ y programación matemática entera para modelar el desempeño de los proveedores, los resultados se utilizan para asignar las cantidades de compra a los proveedores. Finalmente, Mendoza y Ventura (2008) proponen un método de dos fases, en la primera etapa PAJ se emplea para reducir la lista de proveedores y en la

segunda la programación matemática se usa para definir las cantidades de compra a cada proveedor.

El Proceso Analítico de Redes (PAR) es otro método utilizado recientemente por varios investigadores. Lin (2009) combina PAR con programación matemática difusa para generar los pesos de una función multi-objetivo que luego se usa en un programa lineal multi-objetivo que genera las asignaciones óptimas. Razmi y Rafiei (2010) combinan un sub-modelo PAR para calificar los proveedores y luego se utiliza un programa matemático no lineal mixto y entero para asignar las cantidades a los proveedores elegidos. En el modelo desarrollado, un tipo novedoso de costo es introducido, el llamado *costo de cambio* que permite el enfoque del modelo en insumos estratégicos.

Una variedad de otros enfoques se han propuesto para abordar el problema y dar prioridad a la toma de decisiones de la organización en el área de compras. Por ejemplo Razmi, Songhori y Khakbaz (2009) presentan una herramienta mixta, la cual combina una técnica dispersa de toma de decisiones en grupo con programación matemática dispersa para seleccionar los proveedores apropiados y las cantidades de compra adecuadas que minimizan costos y satisfacen los requerimientos del comprador. Otro enfoque es el de Sanayei, Mousavi, Abdi y Mohaghar (2008), quienes combinan la teoría multi-atributo de una función de utilidad y programación lineal para primero calificar a proveedores y después seleccionar y asignar cantidades a cada proveedor. En el documento se incluye un ejemplo numérico para ilustrar el método propuesto. Por su parte, Rezaei y Davoodi (2008) desarrollaron un algoritmo genético para resolver el caso de la calidad imperfecta, donde los productos con defectos se venden a precio de descuento. Finalmente, Azadeh, Khakbaz

y Songhori (2010) combinan análisis envolvente de datos disperso con programación matemática entera multi-objetivo para seleccionar proveedores y asignar una cantidad óptima de pedidos.

Por su parte, Che y Wang (2008) consideran el caso de componentes comunes que se utilizan en múltiples productos finales. Su artículo presenta la formulación matemática para este problema que se resuelve con un algoritmo genético. Los autores utilizan un caso como ejemplo para demostrar la aplicabilidad y el rendimiento del algoritmo propuesto. De otro lado, Wu, Zhang, Wu y Olson (2010) consideran el problema de asignación de proveedores desde una perspectiva multi-criterio, teniendo en cuenta el costo total, la calidad medida en términos de una tasa de defectos o proporción rechazada, el valor y el servicio al cliente (medido en términos del número de trabajos entregados tarde por cada período). Los autores proponen un modelo de programación multi-objetivo disperso y un método para convertirlo en un modelo determinista estándar. Estos investigadores proponen un caso experimental para demostrar su enfoque y la susceptibilidad de la solución en función de la sensibilidad al riesgo por parte de la entidad compradora.

Varios autores han estudiado casos relacionados con decisiones en las que se consideran diferentes precios por parte de los proveedores. Entre los más recientes, se pueden citar a Burke, Carrillo y Vakharia (2008), Wang y Yang (2009) y Sawik (2010). Burke et al. consideran tres regímenes de descuento ofrecidos por los proveedores (unidades lineales, incrementales y todas las unidades) y proponen una heurística para resolver cada caso. Los resultados de sus experimentos demuestran que la solución heurística encuentra valores cercanos a las soluciones óptimas. Wang y Yang combinan proceso de análisis jerárquico con programación dispersa comprometida

para hacer frente a la naturaleza heterogénea de la decisión. Finalmente, Sawik considera descuentos por volumen para la asignación de pedidos en el caso de fabricación hecha a la orden. El problema también considera la tasa de defectos y la cantidad de retrasos en las entregas, medidas que luego se incluyen en las formulaciones de uno o varios objetivos.

## 2 El modelo

El modelo presentado en esta investigación es una extensión del modelo presentado en Ruiz-Torres y Mahmoodi (2006), aunque supone varios cambios respecto al mismo. Hay cuatro cambios principales: i) cómo se modela la flexibilidad de los proveedores y por lo tanto el número esperado de la unidades recibidas en un ciclo; ii) la estimación separada de unidades regulares y de emergencia entregadas, iii) cómo se modelan los costos de compra, que ahora incluyen costos asociados con envíos de emergencia, y iv) se modelan costos independientes de administración de los proveedores.

La variable de decisión de este problema se define como  $a_j$ , que representa el porcentaje de la demanda total asignada al proveedor  $j$ . La demanda total es  $Q$  y es constante. Existen  $n$  proveedores y  $N$  representa el conjunto de proveedores:  $N=\{1,2,\dots,n\}$ . Es claro que la suma de todas las asignaciones debe ser igual a 1;  $\sum_{j \in N} a_j = 1$ . Además es evidente que si  $a_j = 0$  dicho proveedor no fue seleccionado y si  $a_j = 1$  para cualquier  $j$  de  $N$ , entonces la decisión fue la de utilizar un sólo proveedor. La probabilidad de que el proveedor  $j$  no entregue su asignación (incumplimiento) es representada por  $p_j$ . Como consideración de la diferencia en las características estratégicas y administrativas en la relación cliente-proveedor, el costo asociado con la gerencia de cada proveedor es modelado independientemente y se considera a  $b_j$  como el costo asociado al



proveedor  $j$ . Si  $a_j > 0$  entonces el proveedor  $j$  está activo y el costo  $b_j$  es parte del costo total, y si  $a_j = 0$ , este proveedor no está activo y por consiguiente  $b_j$  no es parte del costo total. Cada proveedor  $j$  vende su producto a un precio independiente y se define  $c_j$  como el sobre costo del proveedor  $j$  en relación al costo mínimo ofrecido de entre todos los proveedores, considerando el caso de entrega regular. Por ejemplo, si  $n = 3$  y los costos de venta regular son \$5,2/unidad, \$5,5/unidad y \$4,9/unidad para los proveedores  $g$ ,  $h$  y  $k$ , respectivamente; entonces  $c_g = 0,3$ ;  $c_h = 0,6$  y  $c_k = 0$ . El sobre costo por unidad cuando la compra es de emergencia es constante para todos los proveedores y definido por  $c^*$ .

### 2.1 Incumplimiento en la entrega

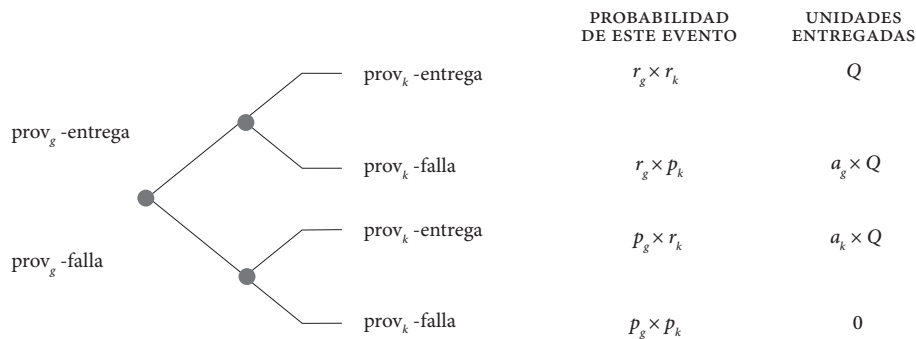
El impacto de la pérdida esperada sobre la decisión de selección de proveedores fue propuesto por Berger, Gerstenfeld y Zeng (2004). Se define  $p_j$  como la probabilidad de que el proveedor  $j$  no entregue durante un ciclo. Se define  $r_j$  como la probabilidad de entrega,  $r_j = 1 - p_j$ . Berger et al. también consideraron la probabilidad de que todos los proveedores incumplieran en la entrega por causa de algún mega evento, tal como un desastre natural de gran magnitud que afecte el comercio global y por ende todos los proveedores. La probabilidad de un mega evento es  $P^*$ , sin

embargo, teniendo en cuenta sus resultados y los de Ruiz-Torres y Mahmoodi (2006), se demostró que  $P^*$  no tiene ningún efecto sobre las decisiones del proveedor a niveles razonables de la variable y no se considera en este estudio. Se mencionó que el objetivo del modelo de Berger et al. fue solamente determinar el número óptimo de proveedores, no el porcentaje de compras asignado a cada uno. En el caso de un solo proveedor activo, cuando éste no entrega (incumplimiento), el número de unidades no entregadas es evidentemente  $Q$  y el valor esperado del número de unidades no recibidas por el comprador, dada la selección de un solo proveedor  $j$ , es simplemente  $p_j \times Q$ . El Gráfico 1 ilustra los posibles eventos cuando hay dos proveedores activos:  $g$  y  $k$ . Para cada evento (rama del árbol) se incluye su probabilidad y el número de unidades que serían entregadas si no se asumieran entregas de emergencia. El valor esperado de unidades entregadas es entonces  $[a_g \times r_g \times p_k + a_k \times p_g \times r_k + r_g \times r_k] \times Q$ .

### 2.2 Flexibilidad

Como se mencionó anteriormente, este modelo presenta una versión alterna a la de Ruiz-Torres y Mahmoodi (2006) en la forma en que se considera la flexibilidad de los proveedores. El parámetro  $z_j$  representa el nivel multiplicador del proveedor  $j$  para entregar

Gráfico 1. Posibles eventos cuando se consideran dos proveedores dentro el modelo





el producto en caso de incumplimiento de otros proveedores, es decir, el parámetro de flexibilidad de entrega. Se establece que  $z_j \geq 1$  y la cantidad máxima que un proveedor puede abastecer se modela como  $\min[1, a_j \times z_j] \times Q$ . Un valor de  $z_j = 1$  indica que el proveedor  $j$  no puede suministrar más de su asignación original. Esto, por ejemplo, representa a los proveedores que han asignado toda su capacidad a otros clientes, por lo que no pueden suministrar unidades adicionales para satisfacer las nuevas necesidades en situaciones de emergencia. Un valor de  $z_j > 1$  indica que el proveedor  $j$  puede suministrar unidades adicionales como un porcentaje de su asignación original, en la que  $(z_j - 1)$  es este valor. Por ejemplo, si  $Q = 1.000$  y un proveedor tiene  $a_j = 20\%$  y  $z_j = 1,4$ ; entonces en una emergencia (donde otros proveedores fallan en la entrega) este proveedor podría entregar un máximo de 280 unidades. Un valor grande de  $z_j$  representa proveedores que planifican mantener altos niveles de inventario de seguridad y/o mantienen capacidad adicional para emergencias.

### 2.3 Estimando el número de unidades entregadas y no entregadas

Se define el conjunto  $E$  como el grupo de proveedores que entregan (en un evento) y el conjunto  $F$  como el grupo de proveedores que no entregan ( $F = N - E$ ). El número total de unidades que el comprador recibe en un evento considerando el conjunto  $E$  es definido por la Ecuación 1, la Ecuación 2 define cuántas unidades son entregadas de manera regular y la Ecuación 3 define cuántas son entregadas por la flexibilidad de los proveedores en el conjunto  $E$ . La Ecuación 4 define el número de unidades no recibidas.

Unidades recibidas

$$U_E = \min[1, \sum_{w \in E} z_w \times a_w] \times Q \quad (1)$$

Unidades recibidas – Entrega regular

$$UR_E = \sum_{w \in E} a_w \times Q \quad (2)$$

Unidades recibidas – Flexibilidad

$$UF_E = U_E - UR_E \quad (3)$$

Unidades no recibidas

$$Y_E = Q - U_E \quad (4)$$

### 2.4 Costos considerados

Cada evento tiene dos costos relacionados con las unidades entregadas y no entregadas por los proveedores; el costo de compra y el costo de pérdida (costo de incumplimiento). La variable  $v$  representa la pérdida financiera por unidad, las Ecuaciones 5, 6 y 7 representan los costos de compra por unidades entregadas bajo un patrón regular, costos por órdenes de reemplazo (emergencia) y costos de pérdida por evento respectivamente.

Costo compra regular (conjunto  $E$ )

$$CCR_E = \sum_{w \in E} c_w \times a_w \times Q \quad (5)$$

Costo compra emergencia (conjunto  $E$ )

$$CCX_E = c^* \times UF_E \quad (6)$$

Costo pérdida (conjunto  $E$ )

$$CDP_E = v \times Y_E \quad (7)$$

Basados en que cada elemento en  $N$  tiene sólo dos posibilidades, entregar o no entregar, se comporta como una variable binaria. El total de posibles conjuntos  $E$ , al igual que el número de posibles conjuntos alternos  $F$ , en un problema con  $n$  proveedores es  $2^n$ . Se define el conjunto  $X$  como un conjunto de todos los posibles conjuntos  $E$  de  $N$ . Por ejemplo, si  $n = 2$ ;  $N = [g, h]$ , entonces los posibles conjuntos  $E$  son  $[g, h]$ ,  $[g]$ ,  $[h]$ ,  $[]$ ; por lo cual  $X = [[g, h], [g], [h], []]$ . Debe de ser claro que si  $E = [g, h]$ , entonces  $F = []$ , si

$E = [g], F = [h]$  etc. Si  $n = 3, N = [g, h, k], X = [[g, h, k], [g, h], [g, k], [h, k], [g], [h], [k], []]$ . El Gráfico 2 presenta los conjuntos  $E$  alineados con el árbol de decisión y el número de unidades entregadas en un caso con tres proveedores. Las Ecuaciones 8, 9 y 10 presentan los valores esperados (VE) de compras y pérdidas para un problema con  $N$  proveedores.

VE (Compras - Regular)

$$VECR = \sum_{ECX} [\prod_{weE} \prod_{zeF} r_w \times p_z \times CCR_E] \quad (8)$$

VE (Compras - Emergencia)

$$VECX = \sum_{ECX} [\prod_{weE} \prod_{zeF} r_w \times p_z \times CCX_E] \quad (9)$$

VE (Pérdidas)

$$VECP = \sum_{ECX} [\prod_{weE} \prod_{zeF} r_w \times p_z \times CCP_E] \quad (10)$$

El último costo relevante considerado en este modelo es el costo de administrar los proveedores. Se define  $s_j$  como una variable binaria que indica si el proveedor  $j$  está activo, o sea se define  $s_j = [a_j]$  (se nota que  $[a_j]$  es igual a 1 si  $a_j > 0$  e igual a 0 si  $a_j = 0$ ). El costo de administrar los proveedores es representado por la Ecuación 11 y la suma de los cuatro costos (Ecuaciones 8, 9, 10 y 11) representa el costo total del modelo y su minimización es el objetivo del problema.

Costo de administrar los proveedores

$$CAP = \sum_{j \in N} b_j \times s_j \quad (11)$$

## 2.5 Ejemplos

Para demostrar el funcionamiento del modelo se presentan dos ejemplos, notando que el parámetro  $c^*$  es uno que no ha sido considerado en estudios anteriores, incluyendo Ruiz-Torres y Mahmoodi (2006).

En el primer ejemplo se considera el caso donde seis posibles proveedores tienen características similares en cuanto a la probabilidad de incumplimiento, flexibilidad y costo de compra. Los seis proveedores tienen  $p_j = 0,03; z_j = 1,5; b_j = \$150$  y dado que la oferta es igual,  $c_j = \$0/\text{unidad}$ . Cuando los proveedores son iguales, la decisión se simplifica a cuántos proveedores usar, ya que la asignación óptima es una división pareja entre los proveedores.

El Gráfico 3 presenta los costos relevantes, si se usan de uno a seis proveedores considerando que  $Q = 1.000$  unidades,  $c^* = \$10/\text{unidad}$  y  $v = \$50/\text{unidad}$ . El costo  $VECR$  no se incluyó en el gráfico pues este valor es 0 (es un costo no relevante) porque todos los proveedores tienen el mismo costo por unidad. Como es de esperarse, a medida que el número de proveedores aumenta los costos de pérdida

Gráfico 2. Árbol de decisión con tres proveedores

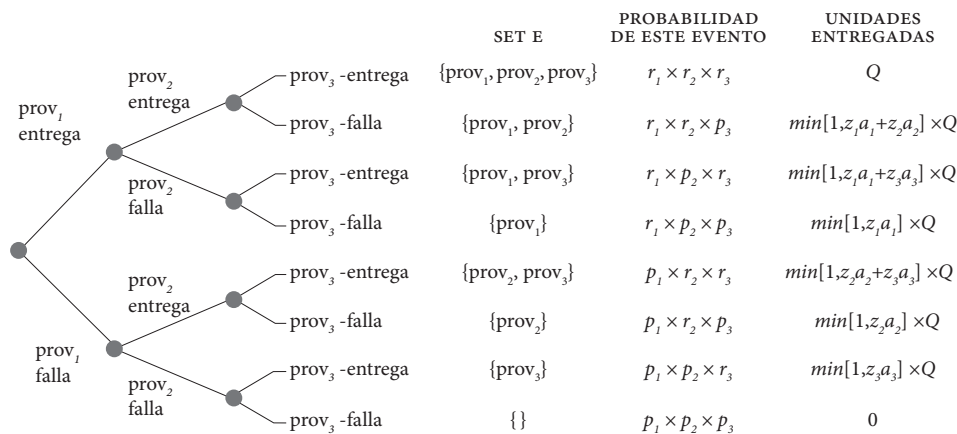


Gráfico 3. Costos del ejemplo de proveedores con características iguales

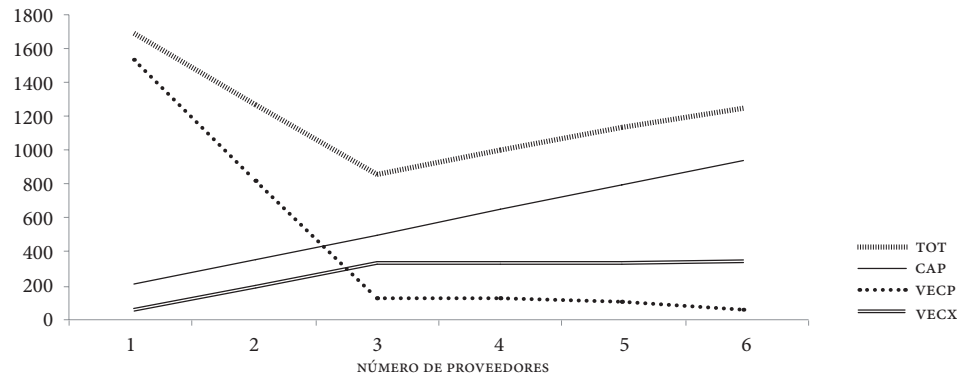


Tabla 1. Características para el ejemplo de proveedores diferentes

$j$	1	2	3	4	5	6
$p_j$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
$c_j$	0,80	1,10	-	0,50	-	0,20
$b_j$	360,00	70,00	200,00	100,00	390,00	150,00
$z_j$	1,25	1,75	1,10	1,60	1,50	1,20

disminuyen y los costos de administrar los proveedores aumenta. El costo asociado con la flexibilidad de los proveedores es representado por VECX, que aumenta a medida que se incrementa el número de proveedores, reflejando así la habilidad del sistema para comprar unidades en el caso de emergencia. Al mismo tiempo, a medida que el número de proveedores aumenta, disminuye el valor esperado de unidades no entregadas y, por lo tanto, la curva de VECX no cambia de tres proveedores en adelante. Si se compara el efecto de seleccionar múltiples proveedores (en este ejemplo, tres proveedores) contra la selección de un solo proveedor, como también es sugerido en la literatura,<sup>2</sup> se determina una reducción en costo total de un 51%.

En el segundo ejemplo se considera que existen seis proveedores con características

diferentes. La información de los proveedores se presenta en la Tabla 1. Como es el caso en la realidad industrial, los proveedores tienen caracterizaciones que intercambian costos de compra más altos/bajos por mayor/menor confiabilidad de entrega o por mayor/menor flexibilidad. Las otras variables mantienen los mismos valores ( $c^*=\$10/\text{unidad}$ ,  $Q=1.000$  unidades,  $v=\$50/\text{unidad}$ ).

Para determinar los costos en el caso de proveedores diferentes se desarrolló un programa en *Visual Basic for Applications* (VBA) que resuelve todos los modelos de decisión y determina la asignación óptima a los proveedores pero considerando asignaciones de 0%, 5%, 10%, ..., 90%, 95% y 100% para cada proveedor. Se utiliza un incremento del 5% en el análisis para mantener los tiempos de cómputo aceptables (menos de una hora por cada caso). La metodología usada en la aplicación de VBA para conseguir la solución óptima es una de enumeración total, por lo

<sup>2</sup> Para referencias sobre este caso véase Aissaoui et al. (2007).

cual todas las posibles soluciones son investigadas iterativamente.

En el Gráfico 4 se muestran los resultados, presentando la mejor asignación de las compras cuando se usa un solo proveedor (# Prov = 1), cuando se usan dos proveedores (# Prov = 2) y así sucesivamente. En el Gráfico 5 se presentan los costos para cada una de las soluciones.

Cuando se considera un solo proveedor, el proveedor 1 resulta en el costo total más bajo, dado que es el más confiable y resulta en el VECP más bajo (el cual en este caso es el costo

más considerable). Si se considera asignación a dos proveedores, la mejor asignación será un 55%Q al proveedor 2 y 45%Q al proveedor 4, lo cual es interesante, debido a que esta solución ya no incluye al proveedor 1. Es importante mencionar que los proveedores 2 y 4 son los de mayor flexibilidad, aunque el proveedor 2 es el de mayor costo adicional por unidad ( $c_j=1,1$ ). La mejor solución global para este ejemplo es la asignación de los requisitos a tres proveedores.

Al observar el Gráfico 5, se nota que al tener tres o más proveedores (y dos de estos

Gráfico 4. Distribución de costos dado un número particular de proveedores en el caso de proveedores con características diferentes

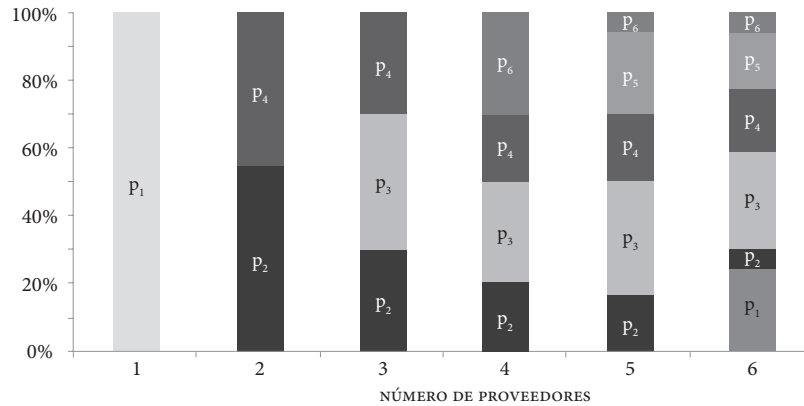
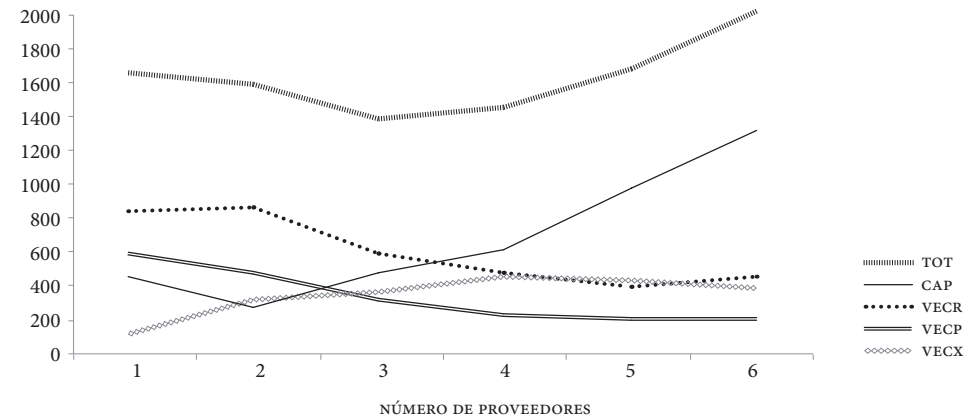


Gráfico 5. Distribución de costos dado un número particular de proveedores en el caso de proveedores con características diferentes



con altos niveles de flexibilidad) los costos asociados con falta de entregas (VECP) se aproximan a 0. El ahorro al asignar diferentes cantidades de compra a múltiples proveedores contra la selección de un solo proveedor es de un 18%.

### 3 Análisis del modelo

Esta sección presenta un análisis del modelo enfocado en su comportamiento general, en particular a la relación entre  $c^*$  y  $v$ . El objetivo es mostrar el tipo de recomendaciones que el modelo propuesto proporciona a los responsables de decisiones en este campo. Primero se hace un análisis para el caso de proveedores con características similares y luego para el caso de proveedores con características diferentes; se sigue la estructura de los ejemplos provistos en la sección previa.

#### 3.1 Análisis del modelo con proveedores similares

Este modelo presume que los proveedores tienen características similares, un requerimiento total igual a 1.000 unidades ( $Q = 1.000$ ) y un costo de administración por proveedor de \$150. Se consideran como factores experimentales las variables  $p$ ,  $z_j$ ,  $c^*$  y  $v$ . Los niveles considerados son  $p_j(0,005; 0,01; 0,05)$ ,  $z_j(1,1; 1,25; 1,5; 1,75)$ ,  $c^*(1, 10)$  y  $v(25, 50, 100)$ . Los resultados del número de proveedores son presentados en la Tabla 2. Es importante destacar que en los casos donde el valor presentado es 6, es posible que ésta no sea la solución óptima (dado los límites del programa desarrollado) y sea óptimo dividir la asignación entre más de seis proveedores.

El Gráfico 6 presenta el efecto independiente de cada una de las variables experimentales. Las cuatro variables pueden considerarse como significativas, con la confiabilidad de los proveedores como la de mayor importancia. El costo por unidad de emergencia ( $c^*$ ) es el que menos efecto tiene en la decisión. La

variable  $z_j$  es posiblemente la más interesante debido a su patrón no tradicional (incrementando y luego descendiendo).

Cuando  $z_j = 1,1$  solo se observan dos resultados: un proveedor o seis proveedores. En esta condición los proveedores tienen poca flexibilidad y, cuando el costo esperado por falta de entrega es alto, la única manera de reducir el costo de pérdidas es asignar las compras a un alto número de proveedores.

Los resultados presentados en la Tabla 2 demuestran que, bajo los parámetros investigados, el abastecimiento con un proveedor único es la estrategia dominante, superando a todos los demás en el 54% de las condiciones experimentales. El abastecimiento con dos o tres proveedores dominó en un 32% de los casos. Es claro que el abastecimiento de más de tres proveedores era la solución óptima sólo en el 14% de los casos, ocurriendo cuando las pérdidas fueron altas (por ejemplo,  $v = \$50$  y  $\$100$ ) y la confiabilidad del proveedor baja (por ejemplo,  $p_j = 0,05$ ). Este comportamiento se explica por varias relaciones de costo. En los valores bajos de  $p$ , los costos de pérdida esperados son una pequeña fracción de los costos totales, en comparación con los niveles más altos de  $p$ , por lo que aumentar el número de proveedores para reducir esta pérdida no compensa los costos adicionales de gestión de proveedores.

En niveles más altos de  $p$  los costos de las pérdidas esperadas son una parte más significativa de los costos totales y, por lo tanto, aumentar el número de proveedores para reducir esta pérdida resulta en el costo total más bajo. La tendencia inicial de aumento en el número de proveedores, observado en varios casos, se debe a la disminución de la pérdida por falta de entrega debido a la flexibilidad que representan los proveedores múltiples. Por ejemplo, con  $z_j = 1,1$ , la flexibilidad del proveedor es baja y para  $p_j = 0,05$  y  $v = 25$ , el ahorro en las pérdidas

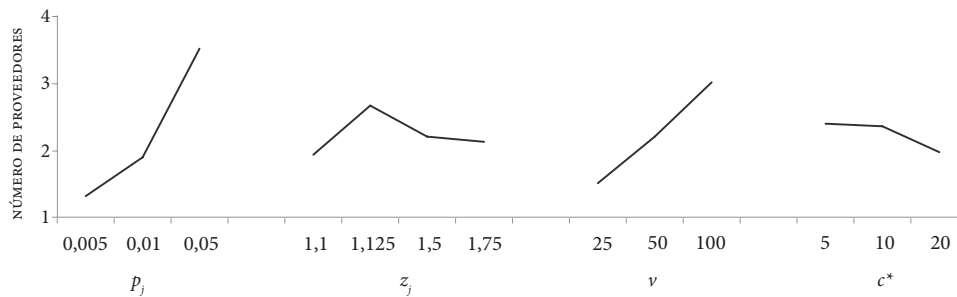
Tabla 2. Resultados para el análisis de proveedores con características similares

$P_j$	$\nu$	$c^*$	$z_j$			
			1,10	1,25	1,50	1,75
0,005	25	5	1	1	1	1
		10	1	1	1	1
		20	1	1	1	1
	50	5	1	1	1	2
		10	1	1	1	1
		20	1	1	1	1
	100	5	1	1	3	2
		10	1	1	3	2
		20	1	1	3	2
0,01	25	5	1	1	1	1
		10	1	1	1	1
		20	1	1	1	1
	50	5	1	1	3	2
		10	1	1	3	2
		20	1	1	1	2
	100	5	1	5	3	3
		10	1	5	3	3
		20	1	5	3	3
0,05	25	5	1	5	3	3
		10	1	5	3	3
		20	1	1	1	2
	50	5	6	5	3	3
		10	6	5	3	3
		20	1	5	3	3
	100	5	6	5	3	3
		10	6	5	3	3
		20	6	5	3	3

cuando aumenta el número de proveedores no compensa los costos adicionales de mantenimiento de proveedores, resultando en un modelo de abastecimiento único como la solución óptima. Sin embargo, a medida que  $z_j$  aumenta (por ejemplo,  $z_j=1,25$ ), estos ahorros compensan el aumento de los costos de mantenimiento.

La tendencia a bajar el número de proveedores a medida que aumenta la flexibilidad de producción ( $z_j = 1,5$  y  $1,75$ ), puede atribuirse a los bajos ahorros marginales en pérdidas asociados con el aumento del número de proveedores durante altos niveles de flexibilidad de producción. Por ejemplo, si un proveedor falla en los niveles bajos de

Gráfico 6. Efecto de la variables experimentales en el caso de proveedores con características similares



flexibilidad de producción, se podrán requerir cuatro o más proveedores para producir el 100% de los requerimientos, mientras que en un nivel de flexibilidad de producción más alto, sólo un proveedor adicional es necesario para producir el 100% de los requerimientos.

Algunos de los efectos observados son intuitivos: proveedores confiables y bajos costos de pérdida debido a falta de entrega del proveedor conducen a abastecimiento único, proveedores no confiables y altos costos de incumplimiento a abastecimiento por múltiples proveedores. Sin embargo, otros resultados son de interés ya que capturan relaciones más intrincadas. Por ejemplo, una mayor flexibilidad de producción favorece múltiples pero limitadas fuentes de abastecimiento (por ejemplo, tres proveedores), mientras que ninguna flexibilidad de salida favorece el usar un solo proveedor o el usar muchos proveedores, es decir, ya sea un proveedor o seis proveedores, como se observa en el caso más bajo de la flexibilidad de producción.

### 3.2 Análisis del modelo con proveedores diferentes

En el segundo análisis de sensibilidad se examinó cómo las asignaciones a los proveedores cambian a medida que las flexibilidad y confiabilidad de los proveedores varían. Se estudia este efecto en relación con las variables  $v$ ,  $b_j$  y  $c^*$ . Se considera el conjunto de seis proveedores con las características de costo

por unidad ( $c_j$ ) presentadas en la Tabla 1. Las variables experimentales  $v$  y  $c^*$  se consideran a los siguientes niveles:  $v = 25, 50$  y  $100$ ;  $c^* = 10$  y  $20$ . Las variables relacionadas con la probabilidad de incumplimiento ( $p_j$ ), los costos ( $b_j$ ) y la flexibilidad ( $z_j$ ), se presentan en la Tabla 3.

Para la variable *confiabilidad* existen dos niveles: bajo riesgo ( $Br$ ) en la que la probabilidad de incumplimiento tiene un rango de 0,03 a 0,005 y promedia 0,0175, y alto riesgo ( $Ar$ ) en la que la probabilidad de incumplimiento tiene un rango de 0,06 a 0,01 y promedia 0,035.

Para la variable *costo de administración* existen dos niveles: bajo costo ( $Bc$ ) donde el costo tiene un rango de 35 a 180 y promedia 107,5 y alto costo ( $Ac$ ) donde tiene un rango de 70 a 180 y promedia 215.

Finalmente, para la variable *flexibilidad* se consideran tres niveles: baja flexibilidad ( $Bf$ ), mediana flexibilidad ( $Mf$ ), y alta flexibilidad ( $Af$ ); en la que la baja flexibilidad tiene un rango de 1,05 a 1,375 con un promedio de 1,2; la mediana flexibilidad tiene un rango de 1,1 a 1,75 con un promedio de 1,4, y la alta flexibilidad tiene un rango de 1,2 a 2,5 con un promedio de 1,8.

La Tabla 4 presenta los resultados de las 72 combinaciones experimentales. Esta tabla presenta el número de proveedores óptimo y la asignación por proveedor. El abastecimiento por un solo proveedor es la estrategia dominante con el 50% de los casos, mientras



Tabla 3. Características para el ejemplo de proveedores diferentes

Variable	Código	1	2	3	4	5	6
Confiabilidad	<i>Br</i>	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030
	<i>Ar</i>	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060
Costo de administración	<i>Bc</i>	180	35	110	50	195	75
	<i>Ac</i>	360	70	200	100	390	150
Flexibilidad	<i>Bf</i>	1,125	1,375	1,050	1,300	1,250	1,100
	<i>Mf</i>	1,250	1,750	1,100	1,600	1,500	1,200
	<i>Af</i>	1,500	2,500	1,200	2,200	2,000	1,400

Tabla 4. Resultados para el análisis de proveedores con características diferentes

$b_j$	$p_j$	$v$	$c^*$	$Af$	$Mf$	$Bf$	$z_j$		
							$Af$	$Mf$	$Bf$
<i>Bc</i>	<i>Br</i>	25	10	1	1	1	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
			20	1	1	1	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
		50	10	3	4	1	[0, 0, 50, 20, 30, 0]	[0, 20, 30, 20, 0, 30]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
			20	3	1	1	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
		100	10	3	4	5	[0, 0, 50, 20, 30, 0]	[0, 20, 30, 20, 0, 30]	[0, 25, 20, 15, 20, 20]
			20	3	4	4	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 15, 35, 25, 25, 0]	[0, 35, 25, 20, 20, 0]
	<i>Ar</i>	25	10	3	1	1	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
			20	1	1	1	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
		50	10	3	4	2	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 15, 35, 25, 25, 0]	[90, 0, 0, 10, 0, 0]
			20	3	3	1	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 30, 40, 30, 0, 0]	[100, 0, 0, 0, 0, 0]
		100	10	3	4	5	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 15, 35, 25, 25, 0]	[40, 15, 15, 15, 15, 0]
			20	3	4	4	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[30, 20, 30, 20, 0, 0]	[65, 10, 15, 10, 0, 0]
<i>Ac</i>	<i>Br</i>	25	10	1	1	1	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
			20	1	1	1	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
		50	10	3	1	1	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
			20	1	1	1	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
		100	10	3	3	4	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 30, 0, 30, 0, 40]	[0, 35, 25, 20, 0, 20]
			20	3	3	1	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 30, 40, 30, 0, 0]	[100, 0, 0, 0, 0, 0]
	<i>Ar</i>	25	10	1	1	1	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
			20	1	1	1	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]	[0, 0, 100, 0, 0, 0]
		50	10	3	3	1	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 30, 40, 30, 0, 0]	[100, 0, 0, 0, 0, 0]
			20	3	3	1	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 30, 40, 30, 0, 0]	[100, 0, 0, 0, 0, 0]
		100	10	3	3	3	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 30, 0, 30, 0, 40]	[70, 15, 0, 15, 0, 0]
			20	3	3	1	[0, 15, 55, 30, 0, 0]	[0, 30, 40, 30, 0, 0]	[100, 0, 0, 0, 0, 0]

que el abastecimiento con dos proveedores domina en solo una condición (1,4%) y el abastecimiento con tres proveedores domina en el 33,6% de los casos. La selección de cuatro o cinco proveedores es óptima en el restante de las combinaciones (15%). En ninguna condición fue óptimo usar todos los proveedores del conjunto  $N$ . En cuanto al número de proveedores, los efectos son consistentes con el caso de proveedores con características similares; aumenta el número de proveedores a medida que disminuye la confiabilidad de los proveedores y la pérdida por unidad aumenta, aunque el efecto es menos marcado dada la variedad entre los proveedores por nivel experimental. Los efectos están ilustrados en el Gráfico 7. La relación entre la flexibilidad de la producción y el número de proveedores es consistente con el caso de proveedores con características similares.

Como se puede observar en la Tabla 4, cuando los proveedores son diferentes y se asigna a más de un proveedor, la asignación a estos será desigual. Además, cada uno de los proveedores fue seleccionado en alguna combinación experimental, con los proveedores 5 y 6 como los menos seleccionados. En la mayoría de las condiciones, la asignación mayor la recibió el proveedor 3, lo que se explica porque éste es el que tiene el costo por unidad más bajo ( $c_3 = 0$ ). Este proveedor

fue seleccionado como proveedor único en el 43% de los experimentos y fue parte del conjunto seleccionado en el 87,5% de los casos, promediando una asignación del 71%. El proveedor 1 fue seleccionado como único (en cinco casos o el 7% del total), lo cual se explica porque es el de menor riesgo ( $p_1 = 0,01$  en  $Ar$  y  $0,005$  en  $Br$ ). Cuando la asignación fue a tres proveedores (que es el segundo patrón más frecuente luego del abastecimiento único), la combinación más frecuente incluyó a los proveedores 2, 3 y 4; en 19 de los 24 casos donde se asigna a tres proveedores, éstos son los escogidos.

El Gráfico 8 relaciona la asignación a los proveedores 1, 3 y 4 (los tres de mayor asignación general) con las variables experimentales. Se observa que hay relaciones significativas entre las variables experimentales y las cantidades asignadas a los proveedores. Se nota especialmente cómo la asignación al proveedor 1 aumenta cuando la confiabilidad disminuye (en el nivel  $Ar$ ), cuando la flexibilidad baja (en particular en el nivel  $Bf$ ) y el valor de  $v$  aumenta. Se observan relaciones opuestas para el proveedor 3, el cual recibe asignaciones más altas cuando la confiabilidad aumenta, la flexibilidad aumenta y cuando  $v$  disminuye. Se puede afirmar que hay relaciones con los factores  $b_j$  y  $c^*$ , pero de menor envergadura.

Gráfico 7. Efecto de la variables experimentales en el caso de proveedores con características diferentes

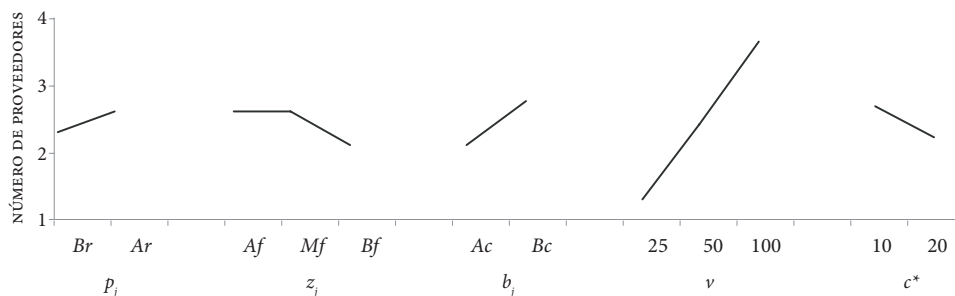
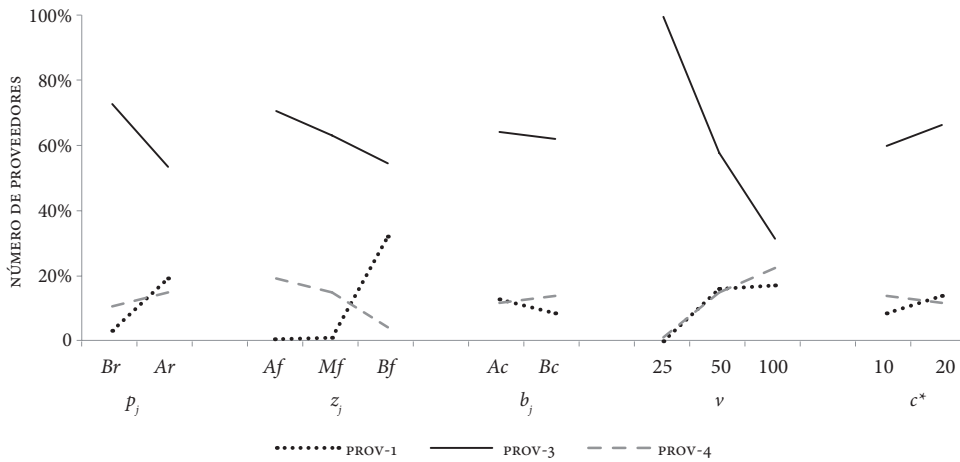


Gráfico 8. Efecto de la variables experimentales en la asignación a los proveedores 1, 3 y 4



#### 4 Conclusiones

En este artículo se ha propuesto un modelo matemático para apoyar el proceso de toma de decisiones relacionado con la selección de proveedores y la asignación de compras a cada uno de ellos. Diversas características de los proveedores se consideran en el modelo, incluyendo la probabilidad de incumplimiento en la entrega por parte del proveedor y la flexibilidad del proveedor que mide su habilidad para abastecer unidades adicionales en caso de incumplimiento de otros proveedores.

El objetivo del modelo es minimizar el costo total considerando los costos de compra por unidades entregadas bajo un patrón regular, los costos por órdenes de reemplazo generadas para cubrir el incumplimiento en la entrega por parte de algunos proveedores, los costos por pérdidas debido al incumplimiento de algunos proveedores y los costos de gestión de proveedores. Se realiza un análisis de sensibilidad para examinar el comportamiento del modelo. Los resultados comprueban que el modelo matemático propuesto es sensible a los valores de los parámetros que definen las

características de los proveedores, lo cual demuestra la utilidad del modelo para los responsables de decisiones en este campo.

El modelo desarrollado constituye una aportación importante para la realidad industrial que se vive en países latinoamericanos, día a día empresas y organizaciones deben enfrentar retrasos e incumplimientos por parte de sus proveedores. Es claro que deben incorporarse técnicas de toma de decisiones para mitigar esta adversidad. El modelo propuesto puede ser fácilmente implementado por cualquier organización, no requiere herramientas sofisticadas de programación y, una vez implementado, puede ser gestionado por personas que posean conocimientos limitados sobre el desarrollo de modelos de toma de decisiones y sistemas de información.

Los proponentes entienden que investigaciones de aplicaciones prácticas y de expedita implementación, como la presentada en este artículo, son las que se requieren para apoyar el desarrollo y crecimiento de la industria latinoamericana. La información requerida en el modelo puede ser fácilmente desprendida de la contabilidad de costos

de las empresas, incluyendo la evaluación del riesgo de incumplimiento basado en el historial de entregas de cada proveedor. De esta forma, el modelo no sólo constituye un avance a los modelos de selección de proveedores, sino que también es una aportación práctica orientada a mejorar la realidad industrial de los países de Latinoamérica.

Si bien el modelo propuesto ha ampliado modelos anteriores reportados en la literatura, también es cierto que tiene ciertas limitaciones en los parámetros considerados que constituyen coyunturas para el desarrollo de futuras investigaciones. Por ejemplo, parámetros adicionales podrían ser los costos de transporte basados en la cantidad asignada a un proveedor, los costos de producción y el nivel de servicio al cliente. Además, sería de utilidad desarrollar nuevos modelos que consideren diversos niveles de tardanza en las entregas.

## Referencias bibliográficas

- Aissaoui, N., Haouari, M. y Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers & Operations Research*, 34(12), 3516–3540.
- Amin, S.H., Razmi, J. y Zhang, G. (2011). Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 334–342.
- Azadeh, A., Khakbaz, M.H. y Songhori, M.J. (2010). An Integrated framework for supplier evaluation and order allocation in a non-crisp environment. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 6(1), 76–98.
- Beltrán, A. y Burbano, A. (2002). Modelo de benchmarking de la cadena de abastecimiento para pymes manufactureras. *Estudios Gerenciales*, 18(84), 13–30. Recuperado de [http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios\\_gerenciales/article/view/92/html](http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/92/html)
- Berger, P.D., Gerstenfeld, A. y Zeng, A.Z. (2004). How many suppliers are best? A decision-analysis approach. *Omega: The International Journal of Management Science*, 32(1), 9–15.
- Brenes, E.R., Metzger, M. y Requena, B. (2011). Strategic Management in Latin America: Issues and Assessment. *Journal of Business Research*, 64(3), 231–235.
- Burke, G.J., Carrillo, J. y Vakharia, A.J. (2008). Heuristics for sourcing from multiple suppliers with alternative quantity discounts. *European Journal of Operational Research*, 186(1), 317–329.
- Che, Z.H. y Wang, H.S. (2008). Supplier selection and supply quantity allocation of common and non-common parts with multiple criteria under multiple products. *Computers & Industrial Engineering*, 55(1), 110–133.
- Constantino, N. y Pellegrino, R. (2010). Choosing between single and multiple sourcing based on supplier default risk: A real options approach. *Journal of Purchasing & Supply Management*, 16(1), 27–40.
- Gutiérrez, V. y Jaramillo, D.P. (2009). Reseña de software disponible en Colombia para la gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento. *Estudios Gerenciales*, 25(110), 125–153. Recuperado de [http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios\\_gerenciales/article/view/300/298](http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/300/298)
- Hasan, M.A., Shankar, R. y Sarkis, J. (2008). Supplier selection in an agile manufacturing environment using data envelopment analysis and analytical network process. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 4(5), 523 – 550.
- Herrera, M.F. y Osorio, J.C. (2006). Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP difuso. *Estudios Gerenciales*, 99, 69–88.

- Recuperado de [http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios\\_gerenciales/article/view/190/188](http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/190/188)
- Ho, W., Xu, X. y Dey, P.K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16–24.
- Kannan, V.R. y Tan, K.C. (2002). Supplier selection and assessment: Their impact on business performance. *Journal of Supply Chain Management*, 38(4), 11–21.
- Levary, R.R. (2008). Using the analytic hierarchy process to rank foreign suppliers based on supply risks. *Computers & Industrial Engineering*, 55(2), 535–542.
- Lin, R.H. (2009). An integrated FANP-MOLP for supplier evaluation and order allocation. *Applied Mathematical Modeling*, 33(6), 2730–2736.
- Liu, S. y Wu, B. (2010). Study on the Supply Chain Management of Global Companies. *International Conference on E-Business and E-Government 2010*, 3297–3301.
- Mendoza, A. y Ventura, J.A. (2008). An effective method to supplier selection and order quantity allocation. *International Journal of Business and Systems Research*, 2(1), 1–15.
- Moynihan, G.P., Saxena, P. y Fonseca, D.J. (2006). Development of a decision support system for procurement operations. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 2(1), 1–18.
- Özgen, D., Önut, S., Gülsün, B., Tuzkaya, U.R. y Tuzkaya, G. (2008). A two-phase possibilistic linear programming methodology for multi-objective supplier evaluation and order allocation problems. *Information Sciences*, 178(2), 485–500.
- Rajshekhkar, G. J, Gross, A.C., Joseph, W.B. y Granot, E. (2011). Assessing competitive advantage of emerging markets in knowledge intensive business services. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 26(3), 171–180.
- Razmi, J. y Rafiei, H. (2010). An integrated analytic network process with mixed-integer non-linear programming to supplier selection and order allocation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9–12), 1195–1208.
- Razmi, J., Songhori, M.J. y Khakbaz, M.H. (2009). An integrated fuzzy group decision making/fuzzy linear programming (FGD-MLP) framework for supplier evaluation and order allocation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(5–6), 590–607.
- Rezaei, J. y Davoodi, M. (2008). A deterministic, multi-item inventory model with supplier selection and imperfect quality. *Applied Mathematical Modelling*, 32(10), 2106–2116.
- Rosales, O. y Kuwayama, M. (2007). América Latina al encuentro de China e India: perspectivas y desafíos en comercio e inversión. *Revista de la CEPAL*, 93, 85–108.
- Ruiz-Torres, A.J. y Mahmoodi, F. (2006). A supplier allocation model considering delivery failure, maintenance and supplier cycle costs. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 755–766.
- Sanayei, A., Mousavi, S.F., Abdi, M.R. y Mohaghar, A. (2008). An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming. *Journal of the Franklin Institute*, 345(7), 731–747.
- Sawik, T. (2010). Single vs. multiple objective supplier selection in a make to order environment. *Omega: The International Journal of Management Science*, 38(3–4), 203–212.
- Scavarda, L.F., Reichhart, A., Hamacher, S. y Holweg, M. (2010). Managing product variety in emerging markets. *International*

- Journal of Operations & Production Management*, 30(2), 205–224.
- Ting, S.C. y Cho, D.I. (2008). An integrated approach for supplier selection and purchasing decisions. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(2), 116–127.
- Wang, D., Tian, Y. y Hu, Y. (2005). Empirical study of supplier selection practices in supply chain management in manufacturing companies. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 2(4), 391–409.
- Wang, T.Y. y Yang, Y.H. (2009). A fuzzy model for supplier selection in quantity discount environments. *Expert Systems with Applications*, 36(10), 12179–12187.
- Wu, D.D., Zhang, Y., Wu, D. y Olson, D.L. (2010). Fuzzy multi-objective programming for supplier selection and risk modeling: A possibility approach. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 774–787.
- Yu, J.R. y Tsai, C.C. (2008). A decision framework for supplier rating and purchase allocation: A case in the semiconductor industry. *Computers & Industrial Engineering*, 55(3), 634–646.
- Zhou, B., Wang, J. y Yan, R. (2011). Analysis of a dual-source production-inventory problem with quantity constraints. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 4(1), 1–15.