

Selección de proveedores basada en análisis dimensional

Fecha de recepción: 23.11.2011

Fecha de aceptación: 01.02.2012

Jorge Luis

García Alcaraz

Instituto de Ingeniería y
Tecnología, Universidad
Autónoma de Ciudad Juárez
jorge.garcia@uacj.mx

Alejandro

Alvarado Iniesta

Instituto de Ingeniería y
Tecnología, Universidad
Autónoma de Ciudad Juárez
alejandro.alvarado@uacj.mx

Aidé Araceli

Maldonado Macías

Instituto de Ingeniería y
Tecnología, Universidad
Autónoma de Ciudad Juárez
amaldona@uacj.mx

Resumen

En este artículo se presenta la evaluación de un conjunto de seis proveedores de un empaque empleado en bombas hidráulicas. La comparación se realiza mediante la técnica de análisis dimensional; los atributos evaluados son los costos del componente, calidad del producto, servicio por parte del proveedor, confiabilidad del producto, administración y organización por parte del proveedor y tecnología de fabricación usada. Además, con la finalidad de integrar las opiniones de varias personas en la decisión, el análisis de la información se realizó con la ayuda de un grupo de decisión integrado por cinco responsables del área de compras. La técnica es fácil de aplicar y ha sido ampliamente aceptada por los usuarios de la misma, quienes la usan para la selección de proveedores de otros componentes.

Palabras clave: selección de proveedores, evaluación de proveedores, análisis dimensional, cadena de suministro.

Selection of suppliers based on dimensional analysis

Abstract

This article presents the evaluation of a group of six suppliers for an electromechanical component of hydraulic bombs. The comparison is made by using the dimensional analysis technique and the attributes evaluated were the component's costs, product quality, post sale service from supplier, product reliability, supplier's administration and organization and production technology in their production system. In addition, in order to integrate the opinion of several persons in the selection and decision process, the information analysis was done with the aid of a decision group integrated by five persons with responsibilities in the purchase area. The technique is easy to apply and has been widely accepted by its users, who are making its use extensive to other components supplier's selection process.

Keywords: supplier selection, evaluation of suppliers, dimensional analysis, supply chain.

Introducción

En la mayoría de las industrias manufactureras de clase mundial, el costo por materias primas y las piezas componentes de sus productos constituye la mayor de las inversiones realizadas, pues en algunas ocasiones llegan a representar hasta el 70% de costo del mismo. Por ello, el departamento de compras tiene una gran importancia en la reducción de costos totales de producción; una de las funciones que realizan frecuentemente es la selección de proveedores para todos los tipos de productos que ofrezca la empresa (Ghodsypour y O'Brien, 1998; Barla, 2003; Aksoy y Öztürk, 2011), la cual es una tarea difícil.

Afortunadamente, dada la importancia que tiene el proveedor para las empresas en las cadenas de suministro, la selección de proveedores de servicios, partes y componentes, ha llamado la atención de académicos e investigadores quienes han buscado un entendimiento sistemático de este problema en las últimas tres décadas (Weber *et al.*, 1991; De Boer *et al.*, 2001), por lo que se han desarrollado muchas metodologías, técnicas de evaluación y procedimientos de selección con lo que se ha determinado qué atributos evaluar, según el sector al que pertenezcan las empresas. Dado que la metodología de evaluación integra a las técnicas y los atributos, a continuación se detalla ésta.

Metodología tradicional de evaluación de proveedores

Se ha establecido que el problema de selección de un proveedor puede consistir en cuatro principales etapas (De Boer *et al.*, 2001): a) definición del problema, b) determinación de los atributos por evaluar, c) evaluación de los proveedores mediante una técnica y d) selección final de un proveedor. Sin embargo, otros autores han propuesto sus propias metodologías, que han sido casos especiales de aplicación en ciertos sectores industriales, tales como la de Chen (2011) enfocada a la industria textil, Vinodh *et al.* (2011) en la industria manufacturera y Zeydan *et al.* (2011) en la industria automotriz.

Definición del problema

En relación con la definición del problema, se afirma que tradicionalmente los responsables del proceso de evaluación de proveedores suelen omitirla debido a que se centran solamente en la última etapa relacionada con la selección de uno de éstos, por lo que frecuentemente se cometen errores (Vinodh *et al.*, 2011). Por ejemplo, algunos autores hacen énfasis en algunas etapas del proceso de selección, inclusive las cuatro (De Boer *et al.*, 2001), mientras que otros se focalizan específicamente en sólo algunas (Weber *et al.*, 1991; Holt, 1998; Degraeve y Roodhooft., 2000).

Soner-Kara (2011) menciona que en esta etapa se debe realizar un rastreo de los principales proveedores que tienen influencia en el mercado del producto, componente o servicio que se desea obtener; para ello, sugiere que la empresa realice una serie de cuestionamientos, tales como ¿cuál es la cantidad de piezas que se requiere o productos que se desea adquirir?, ¿cuál es el ciclo de vida del producto o componente que se desea obtener?, ¿cuál es la madurez del producto en el que se integra el componente y que se pone a la venta en el mercado?, ¿cuántos de los proveedores identificados tienen influencia en el área geográfica en que se desarrolla la empresa compradora?, ¿por qué existe la necesidad de seleccionar un nuevo proveedor?, ¿cuáles han sido los problemas que se han tenido con los proveedores anteriores?

En esta etapa se recomienda que se analicen los indicadores de eficiencia de los proveedores (Talluri y Sarkis, 2002) y los riesgos o incertidumbres que se corren al tener un solo proveedor para un producto (Talluri *et al.*, 2006), ya que como

menciona Weber *et al.*, (2000) frecuentemente muchos problemas se resuelven teniendo al menos dos proveedores para el mismo producto.

Sin embargo, aquí es importante señalar que cada empresa tiene sus propias necesidades al seleccionar un proveedor y como sistemas abiertos que son es probable que cada empresa deba hacer uso de técnicas específicas e integrar sus propios atributos a la misma. Prueba de lo anterior es la existencia de muchas técnicas de evaluación y la larga lista de atributos que se reportan en la literatura, los cuales se sugiere se integren en los procesos de evaluación.

Determinación de los atributos

Con respecto a la selección de los atributos y características por evaluar, es posible encontrar mucha información en la literatura que dirige el análisis y determinación desde diferentes enfoques (Barbarosoglu y Yazgac, 1997; Krause y Ellram, 1997; Ghodsypour y O'Brien, 1998; Motwani *et al.*, 1999; Masella y Rangone, 1995; De Boer *et al.*, 2001; Humphreys *et al.*, 2001; Liu y Hai, 2005). Se acepta que los proveedores, sus productos y servicios tienen dos tipos de atributos que los caracterizan, los cuales son cuantitativos y cualitativos. Los primeros se pueden medir por una dimensión concreta o escala, tales como el costo que se expresa en unidades monetarias y el tiempo de abastecimiento que se expresa en días, semanas o meses; en cambio los segundos no pueden ser expresados por una unidad o escala de medición y se requiere de la evaluación y experiencia de personas conocedoras en el tema. Ejemplos de estos atributos son la calidad del servicio posventa, el nivel tecnológico y la capacidad que tienen instalado en sus procesos de producción los proveedores, así como su capacidad administrativa para hacer frente a pedidos fuera de pronóstico.

Es importante señalar que otro de los factores que complica la selección de un proveedor es que muchos de los atributos se pueden encontrar en conflicto y que el logro de uno de éstos demerite el logro de otros. Por ejemplo, es posible que el proveedor que ofrece el mejor precio no ofrezca la mejor calidad en la parte o material solicitado; además, es posible que aquel proveedor con la mejor calidad no sea quien está en capacidad de realizar las entregas y abastos en tiempo (Ng, 2008). Consecuentemente, es necesario hacer una compensación entre estos atributos en conflicto mediante técnicas compromiso en las que no se optimice una función,

sino que se satisfaga una necesidad porque seguramente existirán atributos que se quieren maximizar, como la calidad, y otros que se quieren minimizar, como el costo.

Por lo que respecta a los atributos más evaluados en los proveedores, Ho *et al.* (2010) reportan que la calidad es una de las propiedades más buscadas en los productos que éstos ofertan y es citada en 68 artículos, entre los que se encuentran los trabajos de Liao y Rittscher (2007), Ramanathan (2007), Saen (2007a), Sevkli *et al.*, (2007), Wadhwa y Ravindran (2007), Xia y Wu (2007), Amid *et al.*, (2008), Demirtas y Üstün (2008 y 2009), Ha y Krishnan (2008), Mendoza y Ventura (2008b), Mendoza *et al.*, (2008a), Ng (2008), Talluri *et al.*, (2008). Asimismo, los aspectos relacionados con la entrega de órdenes a tiempo y cantidad demandada son citados por 64 artículos, entre los que se encuentran los trabajos de Xia y Wu (2007), Amid *et al.*, (2008), Bottani y Rizzi (2008), Chou y Chang (2008), Demirtas y Üstün (2008 y 2009), Ha y Krishnan (2008), Mendoza y Ventura (2008b), Mendoza *et al.*, (2008a), Ng (2008), Talluri *et al.*, (2008). De la misma manera, reportan que el precio/costo tiene 63 referencias en artículos, la capacidad de manufactura 39, la calidad del servicio 35, la administración y el uso adecuado de tecnología 25, la capacidad de investigación de desarrollo 24, los apoyos y facilidades financieras 23, la flexibilidad 18, la reputación y prestigio 15, y finalmente la relación entre comprador y vendedor, el manejo de riesgos y cuidados medio ambientales con tres. En relación con los atributos evaluados en los proveedores, Chen (2011) reporta una lista de éstos y la importancia que les ha agregado Dickson (1966) y Weber *et al.* (1998).

Con la finalidad de mostrar los principales atributos empleados en el proceso de selección de proveedores, en el cuadro 1 aparece un resumen que reporta Güneri *et al.* (2011). Allí se lista un total de 30 atributos en la primera columna, ordenados de manera descendente en función del número total de citas que aparece en la última columna; de la letra A a la I se representa a los diferentes autores que han considerado ese atributo como importante. Se observa que tanto la calidad y la capacidad técnica y tecnológica usada son los atributos más evaluados, seguidos de la situación financiera y la capacidad de producción que tiene en sus instalaciones. Obsérvese que existen diez atributos que han sido citados una sola vez.

Cuadro 1
Atributos evaluados en proveedores

Criterios de selección	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total citas
Calidad	*	*	*	*	*	*	*		*	8
Capacidad técnica y tecnología usada	*		*	*	*	*	*	*	*	8
Posición y situación financiera	*		*	*	*	*	*		*	7
Instalaciones de producción y capacidad	*		*	*		*	*	*	*	7
Entrega	*	*		*		*		*	*	6
Flexibilidad y respuesta al cambio		*	*	*			*		*	5
Precio	*	*					*	*	*	5
Servicio post-venta	*					*		*		3
Cantidad de negocios anteriores	*					*	*			3
Facilidad para establecer comunicación		*					*		*	3
Gestión y organización	*		*	*						3
Sistemas de comunicación	*					*				2
Ubicación geográfica	*						*			2
Imagen e impresión en conversaciones	*		*							2
Historial de rendimiento	*						*			2
Cumplimiento de los procedimientos y disciplina	*			*						2
Acuerdos de reciprocidad	*					*				2
Garantías y políticas de reclamos	*							*		2
Cercanía de la relación comprador - vendedor					*				*	2
Reputación y posición en la industria	*								*	2
Actitud	*									1
Resolución de conflictos					*					1
Deseo de entablar negocios	*									1
Economía							*			1
Historial de conflictos laborales	*									1
Controles de operación	*									1
Capacidad de empaqueo	*									1
Estabilidad política							*			1
Terrorismo							*			1
Ayudas de entrenamiento	*									1
Total	23	5	7	8	5	9	13	6	10	

Fuente: Güneri *et al.* (2011)

Donde:

A=Dickson (1966); B=Ghodsypour y O'Brien (1998); C=Yahya y Kingsman (1999); D=Liu y Hai (2005); E=Chen *et al.*, (2006); F=Haq y Kannan (2006); G=Chan y Kumar (2007b); H=Xia y Wu (2007); I=Lee (2008).

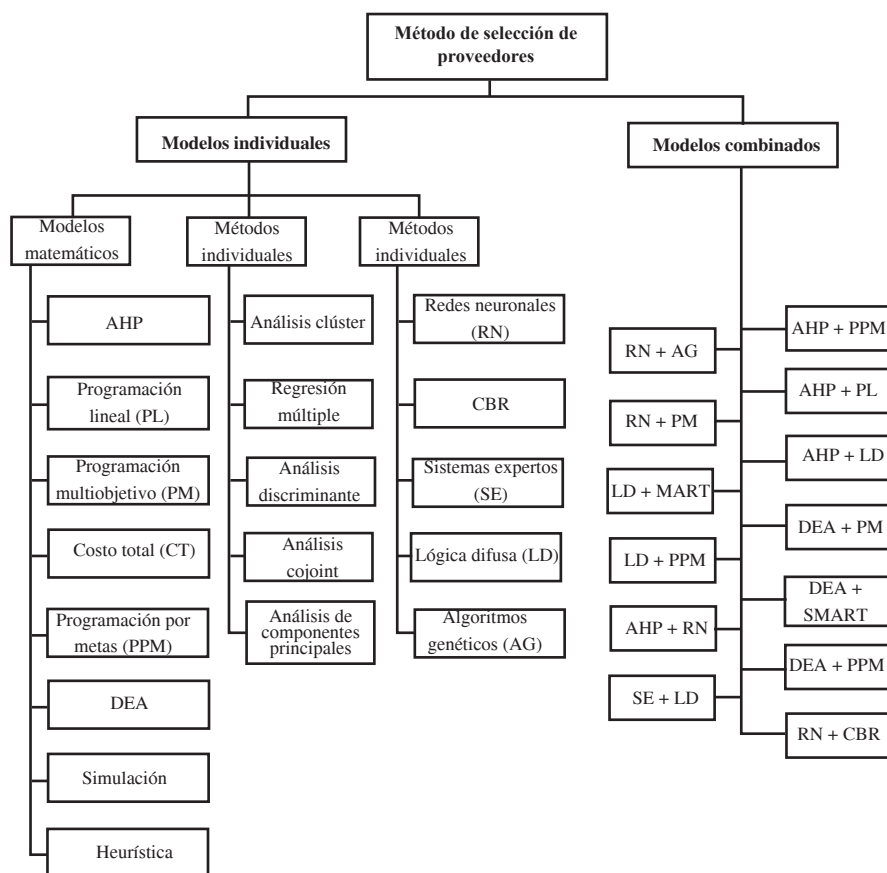
Evaluación de los proveedores mediante una técnica

Por lo que respecta a las técnicas de evaluación y selección de proveedores, Ho *et al.* (2010) reportan que existen técnicas de evaluación de proveedores que se emplean individualmente y técnicas integradas (combinación de dos técnicas o más). En relación con aquellas que se usan de manera individual se tiene el *Data Envelopment Analysis* (DEA) con 14 referencias y usado principalmente por Talluri y Sarkis (2002), Talluri y Narasimhan (2004), Garfamy (2006), Ross *et al.* (2006), Saen (2006), Seydel (2006), Talluri *et al.* (2006), Saen (2007a), Wu *et al.* (2007), entre otros; programación matemática con nueve referencias y usada principalmente por Talluri y Narasimhan (2003 y 2005), Hong *et al.* (2005), Wadhwa and Ravindran (2007), Ng (2008) entre otros; *Analytic Hierarchy Process* (AHP) y *Case-Based Reasoning* (CBR) con siete referencias cada una, usados principalmente por Chan y Chan (2004), Liu y Hai (2005), Chan *et al.* (2007a), Hou y Su (2007), Choy *et al.* (2004 y 2005), y Chan (2003); *Analytic Network Process* (ANP) y lógica difusa con tres referencias cada una y usada principalmente por Sarkis y Talluri (2002), Bayazit (2006), Gencer y Gürpınar (2007), Chen *et al.* (2006), Sarkar y Mohapatra (2006) y Florez-López (2007). Asimismo, se han empleado algoritmos genéticos y la *Simple Multi-attribute Rating Technique* (SMART), usada principalmente por Barla (2003), Huang y Keska (2007) y Ding *et al.* (2005).

Con referencia a las técnicas integradas o combinadas con otras, *Analytic Hierarchy Process* (AHP) es la técnica que más se combina con otras —por ejemplo, programación por metas— y ha sido empleado por Çebi y Bayraktar (2003), Wang *et al.* (2004 y 2005), Perçin (2006), Kull y Talluri (2008) y Mendoza *et al.* (2008a). Asimismo, AHP se ha combinado con DEA, CBR y lógica difusa y ha sido usado por Ramanathan (2007), Saen (2007b), Sevkli *et al.* (2007), Choy *et al.* (2003 y 2004), Kahraman *et al.* (2003), Chan y Kumar (2007b) y Ourkovic y Handfield (2006).

En términos generales, Chen (2011) presenta una clasificación de los métodos que han sido usados en la evaluación de proveedores, los cuales clasifica también como modelos combinados y modelos simples. En la figura 1 se ilustra su propuesta de clasificación, pero se han agregado algunos de los métodos compuestos encontrados por Ho *et al.* (2010) en la clasificación de modelos combinados; sin embargo, para una consulta más amplia sobre este tema, se recomienda revisar las tablas complementarias de Ho *et al.* (2010).

Figura 1
Modelos de evaluación de proveedores



Fuente: Elaboración propia, modificado de Chen (2011) con información de Ho *et al.* (2010).

Selección final de un proveedor

En esta etapa, se selecciona un proveedor del conjunto que se ha analizado. Para ello es conveniente señalar que casi todas las técnicas de evaluación usadas proporcionan índices de decisión, la cual puede estar basada en medidas de distancias entre proveedores idealizados o bien en índices de semejanza.

Sin embargo, Amid *et al.* (2006) mencionan que en esta etapa es conveniente informar a los altos directivos la decisión en relación con el proveedor elegido, ya que ellos son los que conocen de una mejor manera los objetivos estratégicos de la empresa y deben analizar el apego o alineación entre las dos perspectivas organizacionales. Es posible que en esta etapa una decisión tomada desde un punto de vista analítico y frecuentemente usando metodologías de evaluación complejas sea revocada por diferir en aspectos de tipo estratégico, aunque como mencionan Chan y Kumar (2007b) este problema puede solucionarse si se integra a los directivos en el proceso de evaluación, lo cual indica que éste es un problema complejo que debe ser resuelto con un grupo de decisión (Muralidharan *et al.*, 2002; Demirtas y Üstün, 2008).

El problema y objetivo

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se observa que han existido diferentes enfoques y técnicas aplicadas para resolver el mismo problema de selección de proveedores y que el interés de investigadores por presentar propuestas de solución es muy variado. Asimismo, se observa que no existe un consenso generalizado en relación con los atributos que deben ser evaluados y las técnicas con que deben ser analizados, por lo que se puede decir que el proceso de selección de proveedores es un problema complejo.

Asimismo, con base en los conceptos o fundamentos teóricos de las técnicas de evaluación individuales o combinadas que se reportan en la literatura, se observa que muchas veces son técnicas complejas. Por ejemplo, el fundamento de AHP (del inglés *Analytic Hierarchy Process*) se basa en los *eigen* valores de una matriz de comparaciones apareadas, el cual es un concepto de álgebra lineal avanzada; la programación lineal se basa en una función objetivo y una serie de restricciones que se representan matricialmente y se resuelven por alguna variante del método simplex, basado en la técnica de eliminación de Gauss, lo cual también son conceptos de programación lineal; y la simulación es una técnica que requiere del aná-

lisis profundo de probabilidad y estadística para la determinación de posibilidades de ocurrencia de eventos. Así, pues, la aplicación y entendimiento de estas técnicas es complejo de entender y aunque actualmente existe mucho software para la solución de este tipo de problemas, siempre se requerirá del planteamiento del modelo que se introducirá en dicho software y para ello se requiere del conocimiento profundo en el cual se basan las técnicas.

En el cuadro 2 se ilustran las principales técnicas individuales y los conocimientos mínimos requeridos para su entendimiento y aplicación, las cuales pueden ser difíciles para un administrador y responsable de selección de proveedores, lo que obligaría a subcontratar este proceso y, por lo tanto, implicaría tener que dejar en terceras personas el modelado y solución de esa decisión tan importante. Esa acción podría traer como consecuencia que la persona contratada para este servicio, dado que no entiende completamente el problema o necesidad de la empresa, genere un modelo inadecuado, con su respectiva solución errónea; por ello, se hace necesario la generación de técnicas y modelos sencillos en los que sea el propio administrador el responsable de realizar la evaluación y que no requiera de software especializado.

Así, el objetivo de este trabajo es presentar un modelo de selección de proveedores basado en la técnica de análisis dimensional que ha sido usada en física y que puede ser resuelto mediante el uso de Excel, hoja de cálculo que está integrada en Microsoft Office; además, el concepto que se integra en esta técnica como índice de decisión para la selección de uno de los proveedores es un índice de semejanza generado de comparar cada una de las alternativas en evaluación con una alternativa ideal, lo cual es un proceso innato en los humanos.

Cuadro 2
Requisitos necesarios para el uso de las técnicas
de selección y evaluación de proveedores

Técnica	Conocimientos requeridos
AHP	Álgebra lineal avanzada
Programación lineal, Programación multi- objetivos, programación por metas	Formulación de modelos, álgebra lineal avanzada, eliminación de Gauss
DEA	Formulación de modelos, álgebra lineal avanzada, eliminación de Gauss
Simulación	Probabilidad y estadística, formulación de modelos, técnicas de investigación de operaciones en general
Heurística	Modelado matemático, generación y creación de modelos y manejo de software
Análisis clúster, regresión múltiple, análisis discriminante, análisis conjunto, componentes principales	Estadística avanzada, álgebra lineal avanzada, manejo de software especializado
Redes neuronales, CBR, sistemas expertos, lógica difusa y algoritmos genéticos	Estadística avanzada, generación de modelos, uso de software especializado

Metodología

Para la generación del modelo, que se expone a continuación, se siguió principalmente la metodología propuesta por De Boer (2001), aunque se complementó con sugerencias de Soner-Kara (2011) y Chen (2011)

Definición del problema en la empresa

Una empresa que se dedica a la fabricación de bombas sumergibles tiene que ensamblar varios componentes en su línea de producción. Dentro de ese proceso debe emplear un empaque que une dos corazas que mantienen un sistema eléctrico funcionando bajo el agua. La falla de este empaque se detecta por el corto circuito que se genera e inhabilita a la bomba, dejándola fuera de servicio. Para repararla, la bomba debe ser extraída para llevar a cabo el cambio de empaque y reemplazar el sistema eléctrico averiado.

La empresa ha estado enfrentando problemas muy frecuentes con sus clientes dentro del plazo de garantía del equipo que ha vendido, lo que afecta su imagen, prestigio, pérdida de ventas y consecuentemente pérdidas económicas en sus estados financie-

ros. El porcentaje de bombas que debe reparar dentro del plazo de garantía por tal defecto es del 4%, con una inversión de \$28 583.89 por cada bomba dañada.

El gerente general ha hablado con el proveedor del empaque en relación con la poca confiabilidad del mismo y ha propuesto planes de reparación conjunta para compartir gastos de reparación causados por los defectos, aunque esto perjudica gravemente la imagen de la empresa. No se ha tenido una respuesta favorable para el fabricante de bombas, por lo que éste ha tomado la decisión de realizar un análisis de los diferentes proveedores de ese empaque para buscar mayor confiabilidad en esa pieza.

Se realizó un rastreo tecnológico para determinar a los posibles proveedores. Se encontró que existen 23 proveedores del mismo empaque, pero se determinó que solamente seis podían tener fácil abasto del material en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, lugar en el cual se encuentra establecida la empresa ensambladora de bombas sumergibles. Se estima que los mejores proveedores se encuentran en Singapur y Japón; sin embargo, la distancia hace poco posible un abasto en México y no existen distribuidores locales o representantes en América. No obstante, se han encontrado proveedores de otros países que, aunque lejanos, tienen centros de distribución en la región.

Se ha integrado un grupo de decisión con cinco personas expertas en el problema (E_1 , E_2 , E_3 , E_4 y E_5) y se solicitaron muestras de los empaques a los solicitantes. Se ha determinado evaluar a seis proveedores, los cuales en lo sucesivo se denotan por PR^1 , PR^2 , ..., PR^6 .

Determinación de los atributos

Se investigó qué atributos podían representar mejor las características de los proveedores. El grupo de decisión determinó, mediante una lluvia de ideas, realizar el análisis con base en los siguientes atributos, los cuales contienen una abreviación y un símbolo que representa la escala de medición.

Costos (CO, \$). Está expresado en unidades monetarias y los valores mínimos son deseados. Cabe mencionarse que algunos proveedores son extranjeros, por lo que su producto se cotiza en dólares; por ello, se realizó una conversión a moneda nacional para todos los proveedores al tipo de cambio que se presentaba en un día específico.

Calidad del producto (CA, %). Se refiere a la calidad del producto y es medido por la cantidad de defectos que el cliente reporta en sus procesos. Para ello se requiere de la realización de visitas a las plantas de los diferentes proveedores; sin embargo, se confió en la información proporcionada por éstos dado que todos tienen un sistema de calidad implantado y han sido certificados por ISO (International Organization for Standardization). Dado que la información que proporcionó el cliente se refiere al porcentaje de defectos, entonces este atributo se busca minimizar.

Servicio posventa (SE). Este atributo es subjetivo y se refiere a aspectos como la rapidez del servicio, capacidad para enfrentar pedidos urgentes, rapidez para hacer válidas las garantías, etc. La estimación de un valor numérico estuvo en función de juicios subjetivos que los integrantes del grupo de decisión se formaron con base en las opiniones dadas por clientes de esos proveedores, los cuales fueron investigados mediante encuestas telefónicas. Valores altos en el servicio son deseados.

Confiabilidad (CN, Horas). Para la determinación de este atributo, se realizaron pruebas de vida acelerada a los productos, sometiéndolos a humedad y temperaturas elevadas, simulando los ambientes de trabajo en el cual se desempeñarían. La prueba se realizó a una muestra de empaques adquirida para tales propósitos en los laboratorios de la propia empresa, dada la importancia que tiene este atributo. Se estimaron las horas que duraban en promedio los diferentes empaques, sometidos todos a las mismas condiciones de trabajo. Valores altos en este atributo son deseados.

Administración y organización (AO). Este atributo es subjetivo y obtenido de valoraciones subjetivas de los integrantes del grupo de decisión; para su determinación se investigó la similitud cultural de la empresa, sistemas de comunicación al interior de la misma y con los clientes, reputación y posición que tiene en el sector de la fabricación de empaques y velocidad de desarrollo e innovación en sus productos. Valores altos en este atributo son deseados.

Tecnología (TE). Este atributo es subjetivo y se refiere a las tecnologías usadas en los procesos de producción usados por los proveedores, la capacidad de proceso, la capacidad de desarrollo de nuevos equipos con base en necesidades propias, capacidades futuras de producción y capacidad de diseño de nuevas tecnologías. Valores altos en este atributo son deseados.

Análisis de los proveedores

Para el análisis de los proveedores se empleó la técnica de análisis dimensional, que se expone brevemente a continuación, no sin antes dar una introducción a la toma de decisiones con un enfoque matricial.

Enfoque matricial en toma de decisiones

Supóngase que J atributos objetivos y L atributos subjetivos se han identificado en los k proveedores en evaluación. Los J atributos objetivos son denotados por X_1, X_2, \dots, X_J , y los L atributos subjetivos son denotados por $X_{J+1}, X_{J+2}, \dots, X_{J+L}$ (Parkan y Wu, 1999; Dalalah *et al.*, 2011).

Los valores de los atributos objetivos para el proceso de selección son generalmente proporcionados por el proveedor del componente. En este trabajo se representan esos valores en una matriz de valores objetivos (VO), tal como se indica en (1).

$$VO = \begin{matrix} PR^1 \\ PR^2 \\ . \\ . \\ PR^k \end{matrix} \begin{bmatrix} X^1_1 & X^1_2 & . & . & X^1_J \\ X^2_1 & X^2_2 & . & . & X^2_J \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ X^k_1 & X^k_2 & . & . & X^k_J \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde:

X^r_i = valor del atributo i en el proveedor r

$i = 1, 2, \dots, J$

$r = 1, \dots, K$

Los valores de los atributos subjetivos fueron obtenidos por calificaciones del grupo de decisión (GD). Supóngase de manera genérica que existen P evaluadores o personas en el grupo de decisión y que son invitados a calificar las alternativas con respecto a cada uno de los atributos subjetivos. Una matriz de valores subjetivos (VS) es construida por cada integrante del GD, tal como se indica en (2).

$$VS^P = \begin{matrix} PR^1 \\ PR^2 \\ \vdots \\ PR^k \end{matrix} \begin{bmatrix} X^{1P}_{J+1} & X^{1P}_{J+2} & \cdot & \cdot & X^{1P}_{J+L} \\ X^{2P}_{J+1} & X^{2P}_{J+2} & \cdot & \cdot & X^{2P}_{J+L} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X^{KP}_{J+1} & X^{KP}_{J+2} & \cdot & \cdot & X^{KP}_{J+L} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Las P matrices VS^P que proveen los integrantes del GD se suman término a término, generando una matriz total, en la cual se divide cada uno de sus elementos por el valor P o número de integrantes del GD que emitieron su juicio (es posible que alguno de los integrantes del GD no emita su juicio debido a que no conoce al proveedor), obteniéndose de esta manera una media aritmética, que representa el juicio promedio. Así, la matriz de valores subjetivos total (VST) se determina mediante el arreglo matricial (3).

$$VST = \sum_{P=1}^P VS^P / P = \begin{matrix} PR^1 \\ PR^2 \\ \vdots \\ PR^k \end{matrix} \begin{bmatrix} X^1_{J+1} & X^1_{J+2} & \cdot & \cdot & X^1_{J+L} \\ X^2_{J+1} & X^2_{J+2} & \cdot & \cdot & X^2_{J+L} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X^K_{J+1} & X^K_{J+2} & \cdot & \cdot & X^K_{J+L} \end{bmatrix} \quad (3)$$

donde:

$x^r_{J+i} = \frac{\sum_{p=1}^P x^{rp}_{J+i}}{P}$ es la calificación promedio que los expertos han emitido para el proveedor PR^k con respecto al atributo X_{J+i} .

$r=1, \dots, k$

$i=1, \dots, L$

Así, con la matriz de valores objetivos y la de valores subjetivos total, se construye la matriz de decisión final (MDF), tal como se ilustra en la matriz (4), con la cual se procede a aplicar la técnica de análisis dimensional.

$$MDF = [VO, VST] = \begin{matrix} PR^1 \\ PR^2 \\ \vdots \\ PR^k \end{matrix} \begin{bmatrix} x^1_1 & \dots & x^1_J & x^1_{J+1} & \dots & x^1_{J+L} \\ x^2_1 & \dots & x^2_J & x^2_{J+1} & \dots & x^2_{J+L} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x^K_1 & \dots & x^K_J & x^K_{J+1} & \dots & x^K_{J+L} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Análisis dimensional (AD)

En el proceso de selección por medio de AD, las alternativas PR^k se consideran como vectores en el espacio euclidiano y se define por la ecuación (5). Esta técnica parte del supuesto que existe una alternativa o proveedor mejor a todos los demás; así, a la alternativa con los mejores valores nominales en los atributos se le llama alternativa ideal o estándar y que se denota por S , la cual se integra con los mejores valores nominales en cada una de las columnas de la matriz MDF. De esta forma, si el primer atributo se refiere al costo, el valor mínimo será el elegido; pero si se refiere a las horas de duración del empaque, el valor máximo será el elegido, según se indica en (6). Obsérvese que este proveedor estándar es hipotético y no existe, se genera con la información que existe en las alternativas y atributos en evaluación.

$$PR^t = (x^t_1, \dots, x^t_{J+L}) \text{ para } t = 1, 2, \dots, k \quad (5)$$

$$S = (x^+_1, x^+_2, \dots, x^+_{J+L}) \quad (6)$$

La técnica AD compara cada una de las alternativas en evaluación con aquella denominada ideal o estándar que se ha generado, de acuerdo con la ecuación (7), originando así un índice ponderado de semejanza entre ambas.

$$IS = \sqrt[w]{\prod_{i=1}^{J+L} \left[\frac{X^k_i}{S_i} \right]^{w_i}} \quad (7)$$

donde:

IS es el índice de semejanza.

S_i es el valor de la alternativa estándar o ideal para el atributo i .

X^k_i es el valor del proveedor k en el atributo i .

w es la ponderación o nivel de importancia que tiene el atributo i para el GD.

W es la suma de valores absolutos de las ponderaciones dada por (8).

$$W = \left| \sum_{i=1}^{J+L} w_i \right| \quad (8)$$

AD es una técnica que toma en cuenta el impacto que tienen los atributos para la empresa y el GD; así, los atributos que tienen un impacto positivo para la empresa o que se desean maximizar tienen un signo positivo en la ponderación w_i , tales como la calidad, la flexibilidad y servicio al cliente por parte del proveedor. Por el contrario, en el caso de que los valores elevados tengan un impacto negativo y que su valor ideal sea mínimo, entonces el w_i tendrá valores negativos, tales como el costo del componente.

El criterio de decisión para la selección de una alternativa mediante la técnica de AD consiste en elegir aquella con el mayor índice de semejanza con relación a la ideal o estándar. De esta manera si un proveedor obtenía un IS de 0.7896 indicaría que tenía una semejanza de 78.96% con respecto a la alternativa ideal y si otro obtenía un valor de 0.5478 indicaba que tenía una semejanza de 54.78% con respecto a la alternativa ideal. Ante esto, como se puede observar, valores con IS=1 son deseados, ya que indicaría que el proveedor evaluado se parece en un 100% al ideal y que es dominante a todos los demás en todos los atributos analizados.

En este modelo, se empleó la metodología de ponderación utilizada por Parkan y Wu (1999), donde se solicita a los integrantes del GD que emitan sus juicios sobre la importancia que tienen los atributos evaluados para cada uno de ellos, lo cual se realizó en una escala Likert con valores comprendidos entre uno y nueve, donde el uno representa una importancia nula del atributo y el nueve indica una importancia extrema o esencial. Las calificaciones obtenidas por cada uno de los atributos son promediados según la ecuación (9).

$$w_i = \frac{\sum_{R=1}^P O_{iR}}{P} \quad \text{Para } R = 1, 2, \dots, P \text{ e } i = 1, 2, \dots, J+L \quad (9)$$

donde:

O_{iR} = juicio emitido por el experto R para el atributo i .

w_i = ponderación para el atributo i .

P = número de expertos que emiten su juicio.

La fase de aplicación del análisis y selección del proveedor se exponen en la sección de resultados, que se detalla a continuación.

Resultados

La matriz de valores objetivos se ilustra en el cuadro 3, los cuales se han obtenido de información que han proporcionado los proveedores y de analizar sus registros o memorias de las acreditaciones y certificaciones de calidad que éstos tienen. Así, por ejemplo, el proveedor uno, PR¹, ofrece su producto en 185 pesos (CO), tiene un porcentaje de defectos de 6.5% (CA) y sus productos tienen una durabilidad de 12 850 (CN) horas de trabajo. Una interpretación similar es realizada para los demás proveedores.

Cuadro 3
Valores de los atributos objetivos

PR ⁱ	CO	CA	CN
PR ¹	185	6.5	12 850
PR ²	290	7.5	13 695
PR ³	310	7.6	12 870
PR ⁴	245	6.5	11 385
PR ⁵	325	7.55	11 235
PR ⁶	235	6.85	12 585

En el cuadro 4 se ilustran las valoraciones emitidas por los cinco integrantes del grupo de decisión (E₁, E₂, E₃, E₄ y E₅) para los tres atributos de carácter cualitativo: el servicio posventa (SE), la administración y organización (AO) y la tecnología empleada en los sistemas de producción del proveedor (TE). Asimismo, en la parte final del cuadro aparece el promedio obtenido por los atributos y cada uno de los proveedores (PR¹, PR², PR³, PR⁴, PR⁵ y PR⁶). Así, por ejemplo, para el proveedor dos (PR²), en relación con el servicio posventa (SE), el valor 7.0 que aparece en el promedio fue obtenido de sumar las opiniones de cada integrante del grupo de decisión y dividido entre cinco, dado que todos emitieron su juicio de evaluación [(8+9+4+7+7)/5].

Cuadro 4
Estimación de valores para atributos
valoración subjetiva

PR ⁱ	Evaluador															Promedio		
	E ₁			E ₂			E ₃			E ₄			E ₅					
	SE	AO	TE	SE	AO	TE	SE	AO	TE	SE	AO	TE	SE	AO	TE	SE	AO	TE
PR ¹	6	8	7	6	9	5	4	6	8	7	5	7	8	6	5	6.2	6.8	6.4
PR ²	8	7	6	9	8	7	4	5	8	7	9	8	7	8	7	7.0	7.4	7.2
PR ³	6	8	9	7	8	9	6	8	5	7	8	7	8	6	8	6.8	7.6	7.6
PR ⁴	6	7	8	9	6	8	7	8	9	7	8	6	8	7	8	7.4	7.2	7.8
PR ⁵	5	8	7	8	7	8	9	8	7	6	8	7	8	9	7	7.2	8.0	7.2
PR ⁶	8	7	8	7	9	8	6	8	9	8	7	8	9	7	8	7.6	7.6	8.2

Así, con los valores de la matriz de valores objetivos del cuadro 3 y los promedios de los atributos subjetivos del cuadro 4 se construyó la matriz de decisión final que se ilustra en el cuadro 5, donde en la penúltima fila se agregó el proveedor o alternativa estándar y en la última fila se ha añadido el sentido nominal de los atributos. De esta forma, el proveedor ideal debería ser aquel con el siguiente vector (185, 6.5, 13 695, 7.6, 8.0, 8.2), lo cual indica que debería ofrecer sus empaques a un costo de 185 pesos (CO), que el porcentaje de defectos sea del 6.5% (CA), que dure 13 695 horas de trabajo (CN), que el servicio posventa alcance una cualificación del 7.6 (SE), que la administración y organización tenga una cualificación de 8.0 (AO) y que alcance un 8.2 en tecnología (TE).

Los valores usados para medir los niveles de importancia o ponderación de cada uno de los atributos se ilustran en el cuadro 6, donde en la última fila se han anexado los valores promedios con su respectivo signo, según su impacto. Al sumar los valores promedio de cada uno de los atributos o bien los valores absolutos de los w_i , se observa que W es igual a 40.8.

Cuadro 5
Matriz de decisión final

PR ⁱ	CO	CA	CN	SE	AO	TE
PR ¹	185	6.5	12 850	6.2	6.8	6.4
PR ²	290	7.5	13 695	7.0	7.4	7.2
PR ³	310	7.6	12 870	6.8	7.6	7.6
PR ⁴	245	6.5	11 385	7.4	7.2	7.8
PR ⁵	325	7.55	11 235	7.2	8.0	7.2
PR ⁶	235	6.85	12 585	7.6	7.6	8.2
<i>S</i>	185	6.5	13 695	7.6	8.0	8.2
Sentido	Minimizar	Minimizar	Maximizar	Maximizar	Maximizar	Maximizar

Cuadro 6
Valores de los juicios de expertos para determinar ponderación

Experto	CO	CA	CN	SE	AO	TE
E ₁	8	2	8	2	9	6
E ₂	5	9	5	9	5	8
E ₃	6	8	6	8	8	7
E ₄	7	7	7	7	7	9
E ₅	5	9	5	9	6	7
Promedio	6.2	7	6.2	7	7	7.4
w _j	-6.2	-7	6.2	7	7	7.4

Con los valores de la matriz de decisión final del cuadro 5 y los valores de las ponderaciones obtenidas en el cuadro 6, se aplicó la ecuación 7 y los resultados de la evaluación se ilustran en el cuadro 7, donde se ha añadido la columna IS que representa al índice de semejanza alcanzado por cada proveedor y en la última columna se ilustra el orden en que deberían ser elegidos los proveedores. Así, de acuerdo con los resultados obtenidos, se propone que se seleccione la alternativa que representa al proveedor número 6 o PR⁶, dado que tiene un índice de semejanza de 0.9352, es decir que es similar al proveedor ideal en un 93.52%; en segundo lugar puede elegirse a la alternativa 4 o PR⁴, dado que tiene un índice de semejanza de 0.9026, es decir que es similar en un 90.26% a la alternativa ideal. Una interpretación similar puede realizarse para las otras alternativas en evaluación.

Cuadro 7
Resultados de análisis dimensional

PR ⁱ	CO	CA	CN	SE	AO	TE	IS	Orden
PR ¹	1.0000	1.0000	0.6738	0.2405	0.3206	0.1598	0.8892	3
PR ²	0.0616	0.3673	1.0000	0.5623	0.5794	0.3820	0.8659	4
PR ³	0.0407	0.3347	0.6803	0.4591	0.6983	0.5699	0.8552	5
PR ⁴	0.1752	1.0000	0.3181	0.8297	0.4783	0.6907	0.9026	2
PR ⁵	0.0304	0.3506	0.2930	0.6849	1.0000	0.3820	0.8401	6
PR ⁶	0.2269	0.6927	0.5921	1.0000	0.6983	1.0000	0.9352	1

Conclusiones

En este artículo se ha presentado la técnica de análisis dimensional para la selección de proveedores y un caso de estudio de su aplicación; esta técnica ha sido empleada en diferentes procesos de selección de proveedores en las industrias maquiladoras de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, la cual resulta fácil de emplear

y entender por los usuarios, por lo que ha sido ampliamente aceptada dado que usa el concepto de semejanza o similitud que tiene el conjunto de alternativas en evaluación en relación con una alternativa idealizada. Así, la aplicación de la técnica de análisis dimensional tiene las siguientes ventajas sobre las demás técnicas multicriterio, tales como AHP (Analytic Hierarchy Process), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) y MOORA (Multiobjective Optimization on the basis of Ratio Analysis):

- No se requiere del uso de software especializado y costoso para realizar la evaluación, tal como ocurre con otras técnicas, las cuales —dada su complejidad— están integradas en aplicaciones de cómputo específicas.
- Puede ser aplicada usando cualquier tipo de hoja de cálculo, tal como Excel que está integrado en Microsoft Office y que está presente en casi todos los equipos de cómputo en una empresa, por lo que la mayoría de éstas pueden aplicarla.
- Dado que el análisis se puede realizar con software totalmente integrado en los equipos de cómputo actual, entonces la mayoría de los gerentes o personas con puestos directivos están familiarizados con su uso, por lo que son ellos quienes pueden realizar los procesos de selección de proveedores; esto abarca las pequeñas, medianas y grandes empresas en todo el mundo, ya que Microsoft Office es la plataforma de trabajo de mayor presencia en sistemas de cómputo de administradores.
- Así, dado que las decisiones de selección de proveedores se realiza por el personal de la propia empresa, evita que para resolver este tipo de problemas sean subcontratados expertos en técnicas multicriterio, pero que no conocen a fondo el problema por solucionar y las necesidades propias de la empresa, lo que garantiza una integración más incluyente de los atributos por ser analizados.
- Se evitan los consecuentes costos en que incurriría la empresa debido a la subcontratación de personal externo para que realice el proceso de selección.
- Finalmente, la técnica de análisis dimensional es muy sencilla de entender y aplicar, por lo que el tiempo invertido en la realización de la evaluación es mínimo, lo que permite que los gerentes o personas responsables del proceso de toma de decisiones se dediquen a atender otro tipo de responsabilidades propias de su puesto.

Referencias

- Aksoy, A. y N. Öztürk (2011). Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments. *Expert Systems with Applications* 38 (5): 6351-6359.
- Amid, A., S. H. Ghodsypour y C. O'Brien (2006). Fuzzy multi-objective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics* (104): 394-407.
- Barbarosoglu, G. y T. Yazgac (1997). An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem. *Production Inventory Management Journal* 38 (1): 14-21.
- Barla, S. B. (2003). A case study of supplier selection for lean supply by using a mathematical model. *Logistics Information Management* 16 (6): 451-459.
- Bayazit, O. (2006). Use of analytic network process in vendor selection decisions. *Benchmarking: An International Journal* 13 (5): 566-579.
- Boer, L. de, E. Labro y P. Morlacchi (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchase & Supply Manage* 7 (2): 75-89.
- Bottani, E. y A. Rizzi (2008). An adapted multi-criteria approach to suppliers and products selection. An application oriented to lead-time reduction. *International Journal Production Economics* 111 (2): 763-781.
- Boyles, R. A. (1996). Multivariate process analysis with lattice data. *Technometrics* 38 (1): 37-49.
- Çebi, F. y D. Bayraktar (2003). An integrated approach for supplier selection. *Logistics Information Management* 16 (6): 395-400.
- Chan, F. T. S. (2003). Interactive selection model for supplier selection process: an analytical hierarchy process approach. *International Journal of Production Research* 41 (15): 3549-3579.

- Chan, F. T. S. y H. K. Chan (2004). Development of the supplier selection model. A case study in the advanced technology industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B – Journal of Engineering Manufacture* 218 (12): 1807-1824.
- , H. K. Chan, R. W. L. Ip y H. C. W. Lau (2007a). A decision support system for supplier selection in the airline industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B – Journal of Engineering Manufacture* 221 (4), 741-758.
- y N. Kumar (2007b). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega* 35 (4): 417-431.
- Chen, T. C., C. T. Lin y S. F. Huang (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics* 102 (2): 289-301.
- Chen, Y. J. (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences* 181 (9): 1651-1670.
- Chou, S. Y. e Y. H. Chang (2008). A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach. *Expert Systems with Applications* 34 (4): 2241-2253.
- Choy, K. L., W. B. Lee y V. Lo (2003). Design of an intelligent supplier relationship management system: A hybrid case based neural network approach. *Expert Systems with Applications* 24 (2): 225-237.
- (2004). An enterprise collaborative management system. A case study of supplier relationship management. *The Journal of Enterprise Information Management* 17 (3): 191-207.
- (2005). A knowledge-based supplier intelligence retrieval system for outsource manufacturing. *Knowledge-Based Systems* 18 (1): 1-17.

- Dalalah, D., M. Hayajneh y F. Batieha (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert Systems with Applications* 38 (7): 8384-8391.
- Degraeve, Z. y F. Roodhooft (2000). A mathematical programming approach for procurement using activity based costing. *Journal of Business Finance and Accounting* 27 (1-2): 69-98.
- Demirtas, E. A. y O. Üstün (2008). An integrated multi-objective decision making process for supplier selection and order allocation. *OMEGA. International Journal of Management Science* 36 (1): 76-90.
- (2009). Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions. *Computer and Industrial Engineering* 56 (2): 677-690.
- Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing* 2 (1): 5-17.
- Ding, H., L. Benyoucef y X. Xie (2005). A simulation optimization methodology for supplier selection problem. *International Journal Computer Integrated Manufacturing* 18 (2-3): 210-224.
- Florez-López, R. (2007). Strategic supplier selection in the added-value perspective: A CI approach. *Information Sciences* 177 (5): 1169-1179.
- Garfamy, R. M. (2006). A data envelopment analysis approach based on total cost of ownership for supplier selection. *Journal of Enterprise Information Management* 19 (6): 662-678.
- Gencer, C. y D. Gürpınar (2007). Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied Mathematical Modeling* 31 (11): 2475-2486.
- Ghodsypour, S. H. y C. O'Brien (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics* 56/57: 199-212.

- Güneri, A. F., T. Ertay y A. Yücel (2011). An approach based on ANFIS input selection and modeling for supplier selection problem. *Expert Systems with Applications* 38 (12): 14907-14917.
- Ha, S. H. y R. Krishnan (2008). A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert Systems with Applications* 34 (2): 1303-1311.
- Haq, A. N. y G. Kannan (2006). Design of an integrated supplier selection and multi-echelon distribution inventory model in a built-to-order supply chain environment. *International Journal of Production Research* (44): 1963-1985.
- Ho, W., X. Xu y P. K. Dey (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research* 202 (1): 16-24.
- Holt, G. D. (1998). Which contractor selection methodology? *International Journal of Project Management* 16 (3): 153-164.
- Hong, G. H., S. C. Park, D. S. Jang y H. M. Rho (2005). An effective supplier selection method for constructing a competitive supply-relationship. *Expert Systems with Applications* 28 (4): 629-639.
- Hou, J. y D. Su (2007). EJB-MVC oriented supplier selection system for mass customization. *Journal of Manufacturing Technology Management* 18 (1): 54-71.
- Humphreys, P., W. K. Shiu y V. H. Y. Lo (2003). Buyer-supplier relationship: Perspectives between Hong Kong and the United Kingdom. *Journal of Materials and Process Technology* 138 (1-3): 236-242.
- Huang, S. H. y H. Keska (2007). Comprehensive and configurable metrics for supplier selection. *International Journal of Production Economics* 105 (2): 510-523.
- Kahraman, C., U. Cebeci y Z. Ulukan (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management* 16 (6): 382-394.

- Krause, D. R. y M. Ellram (1997). **Success factors in supplier development.** *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* (27): 39-52.
- Kull, T. J. y S. Talluri (2008). **A supply-risk reduction model using integrated multicriterio decision making.** *IEEE Transactions on Engineering Management* 55 (3): 409-419.
- Liao, Z. y J. Rittscher (2007). **A multi-objective supplier selection model under stochastic demand conditions.** *International Journal of Production Economics* 105 (1): 150-159.
- Lee, T. L. (2008). **Back-propagation neural network for the prediction of the short-term storm surge in Taichung harbor, Taiwan.** *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 21 (1): 63-72.
- Liu, F. H. F. y H. L. Hai (2005). **The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier.** *International Journal of Production Economics* 97 (3): 308-317.
- Masella, C. y A. Rangone (1995). **Managing supplier/customer relationships by performance measurement systems.** *Proceedings of the 2nd International Symposium on Logistics*: 95-102.
- Mendoza, A., E. Santiago y A. R. Ravindran (2008a). **A three-phase multicriteria method to the supplier selection problem.** *International Journal of Industrial Engineering* 15 (2): 195-210.
- y J. A. Ventura (2008b). **An effective method to supplier selection and order quantity allocation.** *International Journal of Business and Systems Research* 2 (1): 1-15.
- Motwani, J., M. Youssef., Y. Kathawala y E. Futch (1999). **Supplier selection in developing countries: A model development.** *Integrated Manufacturing Systems* 10 (3): 154-161.

- Muralidharan, C., N. Anantharaman y S. G. Deshmukh (2002). A multi-criteria group decision-making model for supplier rating. *Journal of Supply Chain Management* 38 (4): 22-33.
- Ng, W. L. (2008). An efficient and simple model for multiple criteria supplier selection problem. *European Journal of Operational Research* 186 (3): 1059-1067.
- Ourkovic, S. y R. Handfield (2006). Use of ISO 9000 and baldrige award criteria in evaluation of supplier quality. *International Journal of Purchasing and Materials Management* 32 (2): 2-11.
- Parkan, C. y L. Wu (1999). Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection. *Computers & Industrial Engineering* 36 (3): 503-523.
- Perçin, S. (2006). An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection. *Measuring Business Excellence* 10 (4): 34-49.
- Ramanathan, R. (2007). Supplier selection problem: Integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP. *Supply Chain Management: An International Journal* 12 (4): 258-261.
- Ross, A., F. P. Buffa, C. Dröge y D. Carrington (2006). Supplier evaluation in a dyadic relationship: An action research approach. *Journal of Business Logistics* 27 (2): 75-102.
- Saen, R. F. (2006). A decision model for selecting technology suppliers in the presence of nondiscretionary factors. *Applied Mathematics and Computation* 181 (2): 1609-1615.
- (2007a). Suppliers selection in the presence of both cardinal and ordinal data. *European Journal of Operational Research* 183 (2): 741-747.
- (2007b). A new mathematical approach for supplier selection: Accounting for non-homogeneity is important. *Applied Mathematics and Computation* 185 (1): 84-95.

- Sarkar, A. y P. K. J. Mohapatra (2006). Evaluation of supplier capability and performance: A method for supply base reduction. *Journal of Purchasing and Supply Management* 12 (3): 148-163.
- Sarkis, J. y S. Talluri (2002). A model for strategic supplier selection. *Journal of Supply Chain Management* 38 (1): 18-28.
- Sevcli, M., S. C. L. Koh, S. Zaim, M. Demirbag y E. Tatoglu (2007). An application of data envelopment analytic hierarchy process for supplier selection: A case study of BEKO in Turkey. *International Journal of Production Research* 45 (9): 1973-2003.
- Seydel, J. (2006). Data envelopment analysis for decision support. *Industrial Management and Data Systems* 106 (1): 81-95.
- Soner-Kara, S. (2011). Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment. *Expert Systems with Applications* 38 (3): 2133-2139.
- Talluri, S. y J. Sarkis (2002). A model for performance monitoring of suppliers. *International Journal of Production Research* 40 (16): 4257-4269.
- y R. Narasimhan (2003). Vendor evaluation with performance variability: A max–min approach. *European Journal of Operational Research* 146 (3): 543-552.
- (2004). A methodology for strategic sourcing. *European Journal of Operational Research* 154 (1): 236-250.
- (2005). A note on a methodology for supply base optimization. *IEEE Transactions on Engineering Management* 52 (1): 130-139.
- , R. Narasimhan y A. Nair (2006). Vendor performance with supply risk: A chance-constrained DEA approach. *International Journal of Production Economics* 100 (2): 212-222.
- , S. K. Vickery y S. Narayanan (2008). Optimization models for buyer-supplier negotiations. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 38 (7): 551-561.

- Vinodh, S., R. R. Anesh y S. G. Gautham (2011). Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organization. *Expert Systems with Applications* 38 (1): 272-280.
- Wadhwa, V. y A. R. Ravindran (2007). Vendor selection in outsourcing. *Computers and Operations Research* 34 (12): 3725-3737.
- Wang, G., S. H. Huang y J. P. Dismukes (2004). Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology. *International Journal of Production Economics* 91 (1): 1-15.
- (2005). Manufacturing supply chain design and evaluation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25 (1-2): 93-100.
- Weber, C. A., J. R. Current y W. C. Benton (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research* 50 (1): 2-18.
- , J. R. Current y A. Desai. (1998). Non-cooperative negotiation strategies for vendor selection. *European Journal of Operational Research* 108 (1): 208-223.
- (2000). An optimization approach to determining the number of vendors to employ. *Supply Chain Management: An International Journal* 5 (2): 90-98.
- Wu, T., D. Shunk, J. Blackhurst y R. Appalla (2007). AIDEA: A methodology for supplier evaluation and selection in a supplier-based manufacturing environment. *International Journal of Manufacturing Technology and Management* 11 (2): 174-192.
- Xia, W. y Z. Wu (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *OMEGA. International Journal of Management Science* 35 (5): 494-504.
- Yahya, S. y B. Kingsman (1999). Vendor rating for an entrepreneur development programme: A case study using the analytic hierarchy process method. *Journal of Operational Research Society* 50: 916-930.

Zeydan, M., C. Çolpan y C. Çobanoğlu (2011). A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. *Expert Systems with Applications* 38 (3): 2741-2751.

