

SELECCIÓN DE PROVEEDORES CON ENFOQUE MULTICRITERIO Y ECOLÓGICO

VALERIA MARTÍNEZ LOYA

Instituto de Ingeniería y Tecnología/Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura /Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Av. del Charro 450 norte. Col. Partido Romero. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. C.P. 32310

MARISOL RINCÓN OGAZ

Instituto de Ingeniería y Tecnología/Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura /Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Av. del Charro 450 norte. Col. Partido Romero. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. C.P. 32310

JOSÉ MARÍA MORENO JIMÉNEZ

Facultad de Económicas, Universidad de Zaragoza. Gran Vía, 2. 50005 Zaragoza, España.

JORGE LUIS GARCÍA ALCARAZ

Instituto de Ingeniería y Tecnología/Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura /Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Av. del Charro 450 norte. Col. Partido Romero. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. C.P. 32310

E-mail: jorge.garcia@uaci.mx
Teléfono: +52 656 6884848 ext. 5433

Resumen

La cadena de suministro inicia con la adquisición de materia prima, la cual es abastecida por proveedores. Sin embargo, en la actualidad, las empresas generalmente tienen varias opciones de compra, lo que dificulta el proceso de compra y adquisiciones ya que debe realizarse una selección de dichos proveedores, pero también, los componentes y servicios ofertados por éstos presentan distintas características o atributos, por lo que este proceso de selección se convierte en un problema multiatributo. De la misma manera, las regulaciones ambientales impuestas por los gobiernos hoy en día, hacen que se incluyan características de tipo ecológico, con lo cual se garantiza que a lo largo de todo el proceso de producción existan sistemas limpios.

En este trabajo se reporta un caso de selección de proveedores en el que se analizan cinco atributos tomados de la literatura y se asocian con los atributos más frecuentemente utilizados, pero también aquellos de tipo ecológico. Para la evaluación de un conjunto de cuatro proveedores se utilizó la técnica de Proceso Jerárquico Analítico (AHP) para la ponderación de cinco atributos. Finalmente se ha utilizado la Técnica de Preferencias Ordenadas por Similitud a una Solución Ideal (TOPSIS), la cual estima la distancia que existe de una solución idealizada a todas y cada una de las alternativas.

El modelo presentado es completamente teórico y representa una alternativa de solución propuesta a una empresa local.

Palabras clave: cadena de suministro, selección de proveedores, AHP, TOPSIS.

Área Temática: Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa.

SUPPLIER SELECTION WITH MULTICRITERIA AND ECOLOGICAL APPROACH

Abstract

Chain Supply begins with obtaining raw material, which is supplied by providers. However, nowadays, companies have several purchase options, thereby hindering the purchase process and acquisitions due to a selection of these suppliers must be made, as well as, components and services offered by them have distinct characteristics or attributes, whereby this selection process becomes in a multiattribute problem. Similarly, environmental regulations imposed by governments make that ecological characteristics have been included, ensuring that through production process clean systems exist.

This work reports a supplier selection case in which five attributes taken from the literature are analyzed and associated with the most commonly used attributes, but also those of ecological type. Technique Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied for weighting five attributes for the evaluation of a set of four suppliers. Finally, the technique denominated TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution) was used, which estimates the distance between an idealized solution and each alternative. The model presented is entirely theoretical and represents an alternative solution given to a local company.

Key words: Chain supply, supplier selection, AHP, TOPSIS.

Thematic Area: Quantitative Methods for Management and Economics

1. INTRODUCCIÓN

Una cadena de suministro es definida como un conjunto de actividades que cuenta con varios integrantes a través de los cuales fluyen los materiales y sub ensambles. Lógicamente, lo que para un productor es un producto final, para otro puede ser materia prima, dependiendo del tipo de proceso del que se trate. Esos integrantes de la cadena de suministro interactúan unos con otros, para que el flujo de materiales sea generado así intercambiando información, flujo de efectivo, órdenes de compra, entre otros.

En la Figura 1 se ilustra una cadena de suministros tradicional, en la cual se indican los fabricantes, centros de envío, órdenes, clientes y finalmente tiendas de distribución al menudeo. Obsérvese que todos los integrantes de la cadena de suministro tienen algún tipo de relación y se hace notar mediante flechas en color amarillo. Para mantener el flujo de la cadena de suministro se requiere que esos flujos no se interrumpan, ya que en lo subsecuente existirán problemas y es por ello que se denomina cadena de suministro, ya que si se presenta algún problema al inicio de la misma puede afectar a todas las actividades siguientes.



Figura 1. Cadena de suministros tradicional

Como se puede observar dentro de la Figura 1, la cadena de suministro inicia con los abastecedores de la misma, quienes entregan la materia prima. Así pues, cuando una empresa desea iniciar un nuevo proyecto de un producto cualquiera, lo primero que debe realizar es identificar los proveedores de materia prima que requiere. Sin embargo, en la actualidad en un mundo globalizado se tienen varias alternativas de un mismo componente, es decir, que una empresa puede tener varios proveedores de un mismo producto y siempre debe esforzarse por seleccionar el mejor de éstos, ya que puede ser una fuente de flexibilidad a lo largo de toda la cadena de suministro, pero también puede ser una fuente de problemas si se toman malas decisiones. (Luo et al., 2009)

Lamentablemente no existe una metodología totalmente válida o globalmente aceptada para realizar el proceso de selección de proveedores, sin embargo, si existe un gran esfuerzo por parte de varios académicos e investigadores por

proveer una serie de lineamientos que ayuden y sirvan de guía en el proceso de selección de proveedores (Chen, 2011), lo cual se debe principalmente a que todas y cada una de las empresas tienen una serie de necesidades diferentes, buscan satisfacer a clientes con diferentes enfoques y por ende se encuentran dentro de entornos muy diferentes y entonces cada caso de selección de proveedores es único (Liao y Kao, 2011).

Afortunadamente el problema de selección de proveedores ha llamado la atención de muchos académicos e investigadores a lo largo del tiempo, quienes deben desde varias perspectivas tratar de resolver y hacer proposiciones para resolver el problema de selección, e incluso existen una serie de revisiones de literatura que afrontan este problema (Chai et al., 2013, Govindan et al., 2015, Ho et al., 2010, Igarashi et al., 2013).

1.1 METODOLOGÍA PARA LA SELECCION DE PROVEEDORES

Realizar el proceso de selección de proveedores puede ser complejo, y existen una serie de guías que permite tal actividad. Por ejemplo, (De Boer et al., 2001) propone cuatro etapas, las cuales son: a) definición del problema, b) determinación de los atributos a evaluar, c) evaluación de los proveedores mediante una técnica y, d) selección final de un proveedor. Sin embargo, otros autores proponen sus propias metodologías basados en sus propias experiencias y casos específicos que han tenido que resolver, algunos de los cuales se refieren a proveedores de ciertos sectores industriales; por ejemplo, (Chen, 2011) propone su propia metodología enfocada a la industria textil, mientras que (Vinodh et al., 2011) lo hace en la industria manufacturera, y recientemente (Zeydan et al., 2011) lo hace en la industria automotriz.

A continuación definirá cada una de las cuatro etapas que componen el proceso de selección de proveedores.

1.1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Primeramente, antes de iniciar a resolver un problema de selección de proveedores es necesario entender el problema en sí, debido a como establecen muchos autores, algunas veces este paso tan importante es muy vago o poco definido.

En esta etapa se debe realizar un rastreo de todos aquellos proveedores que puedan o presenten influencia en el mercado en el cual se encuentre ubicada la empresa (Soner Kara, 2011) y para realizar esto, las personas responsables del departamento de compras deben realizarse una serie de cuestionamientos y preguntas que los conducirán a tener una mayor claridad el problema. Las principales preguntas que deben realizarse podrían comprender las siguientes: ¿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 cual 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?

Algunos autores sugieren que en este caso también se realice un análisis de esos posibles proveedores, donde se estudien los indicadores de eficiencia de los mismos (Talluri y Sarkis, 2002), los riesgos o incertidumbres que se corren al contar únicamente con un solo proveedor para un producto (Talluri et al., 2006). También aquí debe definirse si la empresa desea tener relaciones comerciales con solamente un proveedor, lo cual sería indicativo de los altos niveles de integración que tiene con él. Pero frecuentemente dado a que existen errores o incumplimientos por parte de éste, entonces se puede tomar la decisión de tener al menos dos diferentes proveedores para un mismo producto, lo que permite resolver problemas de desabasto (Weber et al., 2000).

1.1.2 DETERMINACIÓN DE LOS ATRIBUTOS

La segunda etapa en el proceso de selección de proveedores se asocia con la identificación de los atributos que serán evaluados, al respecto existe una amplia revisión de literatura que abarca este tema, (Barbarosoglu y Yazgac, 1997), (De Boer et al., 2001), (Humphreys et al., 2003), (Liu y Hai, 2005).

Un proveedor siempre presenta dos tipos de atributos que serán evaluados, los cuales son cuantitativos y cualitativos. En relación a los atributos cuantitativos, éstos siempre se puede medir por medio de una escala previamente establecida, uno de los casos más tradicionales es el costo, el cual puede ser expresado en unidades monetarias que llegan a pagarse por la materia prima que ofrece el proveedor. Otro ejemplo clásico es el tiempo de entrega que requiere el proveedor para entregar en los almacenes la orden que se le ha solicitado, lógicamente entre más rápido pueda ser abastecido un pedido, mejor para el fabricante.

Sin embargo, los atributos cualitativos no pueden ser expresados por una unidad o escala de medición y es por ello que se requiere de la evaluación y experiencia de personas que conozcan el problema de decisión, pero ante todo a los proveedores ya que mediante juicios de opinión realizarán una evaluación de los mismos. Algunos ejemplos de atributos subjetivos son la calidad de servicio posventa que obtiene el fabricante, la capacidad tecnológica que tiene instalada el proveedor, la capacidad administrativa y su agilidad para dar respuesta a pedidos inesperados o fuera de pronóstico.

Un punto importante que se debe señalar es que frecuentemente algunos atributos se encuentran en conflicto entre ellos, ya que un aumento de una característica puede significar la disminución de otra; por ejemplo, un producto puede ser caro y ser sinónimo de una alta calidad en el mismo, pero para el comprador lo ideal sería que el producto presentara un bajo costo y una alta calidad, por lo que se observa que se tienen dos atributos, uno de los cuales desea ser minimizado mientras que el otro desea ser maximizado (Ng, 2008). Así pues, las técnicas usadas para evaluar a los proveedores generalmente son técnicas enfocadas a encontrar un nivel de satisfacción y no un nivel de optimización ya que se tienen varios objetivos simultáneamente.

Lógicamente, no todos los atributos son igualmente importantes en todas las empresas. Como se mencionó anteriormente, cada empresa es un caso especial que presenta sus propias necesidades y que puede enfrentar problemáticas diferentes. Sin embargo, algunos autores reportan mediante una revisión de literatura cuáles han sido los atributos que más se han evaluado en los proveedores a lo largo de la historia, por ejemplo, (Ho et al., 2010) reporta que la calidad es el atributo más ampliamente demandado al proveedor y prueba de ello es que en 68 artículos de casos evaluando proveedores, tal atributo aparece. Entre los autores que cita a este tributo se pueden mencionar a (Saen, 2007), (Sevcli et al., 2007), (Wadhwa y Ravindran, 2007), (Xia y Wu, 2007), (Amid et al., 2006), (Demirtas y Üstün, 2008), (Ha y Krishnan, 2008), (Mendoza y Ventura, 2008), (Mendoza et al., 2008), (Ng, 2008), (Talluri et al., 2008), (Demirtas y Ustun, 2009). Asimismo, los aspectos relacionados con la entrega de órdenes a tiempo y cantidad demandada, la cual es citada por 64 artículos, entre los que se encuentran los trabajos de (Xia y Wu, 2007), (Amid et al., 2006), (Chou y Chang, 2008), (Demirtas y Üstün, 2008), (Ha y Krishnan, 2008), (Mendoza y Ventura, 2008), (Mendoza et al., 2008), (Ng, 2008), (Talluri et al., 2008) y (Demirtas y Ustun, 2009). De la misma manera, reporta que el precio/costo tiene 63 referencias en artículos, la capacidad de manufactura en 39, la calidad del servicio en 35, la administración y el uso adecuado de tecnología con 25, la capacidad de investigación de desarrollo con 24, los apoyos y facilidades financieras con 23, la flexibilidad con 18, la reputación y prestigio con 15 y finalmente, la relación entre comprador y vendedor, el manejo de riesgos y cuidados medio ambientales con 3.

Asimismo, en relación a 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).

Recientemente se ha tenido un gran auge en aspectos asociados a la sustentabilidad de los proveedores y de sus productos, por ello muchos investigadores se han enfocado en la determinación de los atributos que deben evaluar a un proveedor verde e incluso se ha propuesto una serie de modelos para resolver este problema, en el que ya se integran atributos de tipo ecológico; entre los que se encuentran los siguientes: (Lee et al., 2009) ha propuesto un modelo para seleccionar proveedores verdes para la industria de la alta tecnología, (Kuo et al., 2010) ha usado redes neuronales en combinación con otras técnicas, (Dobos y Vörösmarty, 2014) ha usado de DEA, mientras que (Kannan et al., 2014) han usado la técnica TOPSIS. Finalmente es conveniente mencionar que una lista de atributos verdes que pueden evaluar a un proveedor pueden ser encontrados en (Gurel et al., 2015).

1.1.3 EVALUACIÓN DE LOS PROVEEDORES MEDIANTE UNA TÉCNICA

Dado que la evaluación de los proveedores ha sido de interés académico, actualmente la literatura se encuentran muchas técnicas propuestas para desarrollar el proceso de evaluación y selección. En lo particular, se considera que no existe una sola técnica que sea mejor o superior a otra, cada una de ellas presenta sus ventajas y sus desventajas, ya que pueden ser utilizadas de acuerdo a la situación propia de cada empresa. En la revisión de literatura realizada por (Ho et al., 2010), reporta técnicas que pueden ser utilizadas de manera individual, pero que existen

otras que frecuentemente se combinan para generar una técnica híbrida, la cual puede ser la integración de dos o más técnicas. A continuación dentro de la Tabla 1 se ilustran algunas técnicas empleadas para la evaluación y selección de proveedores, en la primera columna se ilustra el nombre de la técnica y en la segunda columna se ilustran algunos de los investigadores que han usado esa técnica.

Tabla 1. Técnicas usadas en evaluación de proveedores

Técnica	Autores
DEA (Data Envelopment Analysis)	(Talluri y Sarkis, 2002),(Talluri y Narasimhan, 2004), (Saen, 2006), (Wu et al., 2007)
Programación Matemática	(Talluri y Narasimhan, 2003), (Hong et al., 2005), (Wadhwa y Ravindran, 2007), (Ng, 2008).
AHP (Analytic Hierarchy Process)	(Chan y Chan, 2004),(Liu y Hai, 2005), (Chan et al., 2007), (Hou y Su, 2007), , (Choy et al., 2005) y (Chan, 2003).
ANP (Analytic Network Process)	(Sarkis y Talluri, 2002), (Bayazit, 2006), (Gencer y Gürpınar, 2007),(Chen et al., 2006) (Sarkar y Mohapatra, 2006)
Algoritmos genéticos y (AG)	(Barla, 2003), (Huang y Keskar, 2007) y (Ding et al., 2005)
AHP-otras	(Çebi y Bayraktar, 2003),(Wang et al., 2004) (Wang et al., 2005), (Perçin, 2006), y(Mendoza et al., 2008)
AHP-DEA	(Saen, 2007), (Sevklı et al., 2007), (Choy et al., 2003), (Choy et al., 2004) y (Chan y Kumar, 2007)

1.1.4 SELECCIÓN FINAL DE UN PROVEEDOR

Una vez que se ha evaluado al conjunto de proveedores mediante alguna técnica individual o híbrida, la siguiente actividad a realizar en la metodología propuesta es seleccionar un proveedor final. Cabe señalar que todas las técnicas anteriormente mencionadas proporcionan un índice que permite ordenar los proveedores.

En esta etapa es conveniente que el grupo de decisión que ha realizado el proceso de selección informe a la alta gerencia o altos directivos de la empresa en relación al proveedor que ha sido elegido, ya que son ellos quienes deben observar el apego que pudiera tener éste con los objetivos y planes estratégicos que tiene la empresa (Amid et al., 2006). Es posible que una decisión tomada desde un punto de vista analítico y en función a una técnica de decisión como las anteriores, sea eliminada debido a que no se alinea a las prácticas y planes estratégicos de la empresa, por lo que para evitar este tipo de problemas es recomendado que siempre sean incluidas personas de la alta gerencia (Chan y Kumar, 2007), este problema puede solucionarse si se integra a los directivos en el proceso de evaluación, lo cual indica que es un problema complejo que debe ser resuelto por un grupo de decisión (Muralidharan et al., 2002),(Demirtas y Üstün, 2008).

En términos generales, con lo expuesto en los párrafos anteriores se observa que debido al número de técnicas que han sido aplicadas para resolver el problema de selección de proveedores, se puede concluir que no existe un consenso generalizado en relación al cual es la técnica más objetiva, más bien se busca aplicar técnicas que se han fáciles de ejecutar y que permitan integrar a la vez los atributos objetivos y subjetivos propios del problema, pero más aún, que represente en la realidad propia de la empresa.

1.2 EL PROBLEMA Y OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN

Una empresa que se dedica a la fabricación de equipos electrónicos se ve en la necesidad de conseguir un nuevo proveedor para un sensor de contaminantes que va incrustado en uno de los motores que fabrica. Este componente es muy especial dado que se asocia con la emisión de contaminantes a la atmósfera y recientemente la empresa ha recibido una certificación asociada con el compromiso social que ésta tiene con el medio ambiente; así, un incumplimiento por parte de sus productos podría representar la suspensión de dicha certificación y con ello la imagen empresarial se vería muy afectada. Los sensores se habían adquirido tradicionalmente de otro proveedor, pero lamentablemente no ha podido cumplir con las especificaciones de calidad solicitadas por el fabricante.

En la localidad existen cuatro proveedores que pueden abastecer dicho componente o que tienen influencia en la región, motivo por el cual se procede a realizar la evaluación de los mismos.

Así, el objetivo de este trabajo es presentar un modelo que evalúe un conjunto de proveedores mediante técnicas de multicriterio con la finalidad de elegir uno de éstos y proponer una solución al problema de selección de los mismos.

2. METODOLOGIA

Para resolver el problema de la empresa en cuestión, se hace uso del problema antes definido, donde se debe seleccionar un proveedor de un sensor de contaminantes que va integrado a un motor. Así, considerando que ya se tiene debidamente planteado el problema, se iniciará con el proceso de selección de los atributos a evaluar.

2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Para la solución del problema planteado en este documento, se integró un grupo de decisión formado por cuatro expertos quienes pertenecen a las diferentes áreas en las que está involucrado el sensor. Los expertos provenían de la alta gerencia, el departamento de ingeniería, el departamento de calidad y el departamento de ambiental. Dicho grupo obtuvo mediante un sondeo rápido una lista de proveedores proporcionada por el departamento de compras, la cual incluye los cuatro proveedores con mayor influencia en la región.

Se han realizado reuniones de trabajo para determinar los atributos que serán evaluados a los cuatro proveedores seleccionados, mismos que se definen a continuación.

2.2 ATRIBUTOS A EVALUAR

A través de reuniones del grupo de trabajo se ha determinado que los atributos a evaluar deben ser los siguientes:

- **Costo (X_1).** El costo representa el primer atributo a evaluar, se desea minimizarlo y se encuentra expresado en unidades monetarias. Cabe hacer mención que algunos proveedores proporcionaron una cotización en dólares, misma que fue traducida a pesos mexicanos según el tipo de cambio del mismo día, esto se realizó para cada proveedor. Este atributo es cuantitativo.
- **Tiempo de entrega (X_2).** El tiempo de entrega corresponde al segundo atributo que será evaluado en el proveedor, se desea minimizarlo y se encuentra expresado en días, los cuales son contados a partir de que se ha colocado la orden, por lo tanto este atributo es cuantitativo.
- **Confiabilidad (X_3).** Este atributo mide las obras de trabajo o de vida útil que puede tener el sensor que se va a adquirir. Para su estimación, se ha solicitado a todos los proveedores una prueba de vida acelerada del mismo. El atributo busca maximizarse y se encuentra expresado en horas vida para el sensor y es cuantitativo.
- **Programa de reciclaje (X_4).** Este atributo es cualitativo y valora que el proveedor al final de la vida útil del sensor cuente con un proceso o programa de reciclaje que permita reutilizar materiales y componentes del mismo. Este atributo busca ser maximizado y es de tipo cualitativo.
- **Producción limpia (X_5).** Es atributo es cualitativo y busca valorar los compromisos que tiene el proveedor en su sistema de producción con el ambiente. Es un atributo que se busca maximizar y se basa principalmente en las certificaciones con las que la empresa cuente.

2.3 SELECCIÓN DE UNA TÉCNICA

Para evaluar el conjunto de proveedores en este problema de selección se han elegido dos técnicas: AHP y TOPSIS. La primera técnica es usada para determinar el peso con nivel de importancia que tiene cada uno de los atributos, mientras que la segunda es usada para determinar un ordenamiento de los proveedores que se encuentran en evaluación. A continuación se describen cada una de estas técnicas de manera muy breve.

2.2.1 AHP, PROCESO DE JERÁRQUICO ANALÍTICO

AHP es una técnica desarrollada por Thomas Saaty en 1980 y es considerada una técnica que pertenece a la familia multicriterio, según (Saaty, 1994). Esta técnica presenta algunas ventajas entre las cuales se puede encontrar que descompone un problema en diferentes niveles, proponiendo una estructura para su solución. En la parte superior se coloca el objetivo principal que se busca resolver, y en los niveles inferiores se van agregando las categorías y subcategorías de las mismas (Gass y Rapcsák, 2004) la cual representa una de las más grandes ventajas de la técnica, ya que permite resolver problemas complejos. Otra ventaja ampliamente citada es que se basa en el análisis cuantitativo de una serie de valoraciones

expresadas mediante una escala establecida por su autor (Saaty), misma que se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Escala de Saaty para AHP

Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo.
3	Dominancia débil	La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte dominancia	La experiencia manifiesta una fuerte dominancia de un elemento sobre otro.
7	Demostrada dominancia	La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada.
9	Absoluta dominancia	Las evidencias demuestran que un elemento es absolutamente dominado por otro.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Son valores intermedios de decisión.
1/9, 1/8.....1/2	Valores Recíprocos	Ocupan las posiciones transpuestas de una asignación

La comparación apareada del elemento i con el elemento j es colocado en la posición de a_{ij} de la matriz A de comparaciones apareadas, como se muestra en (1). Los valores recíprocos de estas comparaciones son colocados en la posición a_{ji} de A , con la finalidad de preservar la consistencia del juicio.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{a_n} & \frac{1}{a_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Para encontrar los pesos con niveles de importancia que tiene cada uno de los atributos, se resuelve la siguiente ecuación (2):

$$A * w = \lambda * w \quad (2)$$

Donde:

A = Matriz recíproca de comparaciones apareadas (juicios de importancia/preferencia de un criterio sobre otro)

w = Eigenvector del máximo eigenvalor (λ)

λ = Máximo eigenvalor

Otra de las ventajas que tiene la técnica AHP es que permite identificar las inconsistencias en que puede incurrir alguno de los integrantes del grupo de decisión, ya que como se mencionó anteriormente, estas valoraciones son subjetivas. Para

identificar esas inconsistencias se integra en el análisis un Índice de Consistencia (**IC**) y una Relación de Consistencia (**RC**); el **RC** es usado para medir la calidad de los juicios emitidos por un decisor. Se considera que un **RC** menor a 0.10 es aceptable, en caso de que sea mayor se deberá pedir al decisor que haga sus valoraciones o juicios nuevamente. A continuación se encuentran las formulas tanto para IC como para RC.

$$IC = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (4)$$

El índice **RC** está en función de **IC** y de **IA**, donde este último representa un Índice Aleatorio. Así, **RC** representa una medida del error cometido por el decisor, donde éste debe ser menor al 10% del Índice Aleatorio (**IA**). La Tabla 3 muestra los **IA** para valores de 3 a 10.

Tabla 3. IA para AHP

n	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Si en la solución del problema participó más de un decisor, se deben sumar y promediar los juicios de los decisores; (Mikhailov, 2004) sugiere que la media geométrica se use como promedio cuando se suman las evaluaciones en una matriz de decisión final; véase la ecuación (5).

$$a_{ijT} = (a_{ij1} * a_{ij2} * a_{ij3} * \dots * a_{ijn})^{1/n} \quad (5)$$

2.2.2 TOPSIS, Técnica de Preferencias Ordenadas por Similitud a una Solución Ideal

La técnica to TOPSIS tiene un enfoque totalmente intuitivo, y se basa en que cada una de las alternativas puede ser representada en un espacio euclidiano, lo cual sucede también con los atributos que son evaluados. En la técnica se busca seleccionar una alternativa que se encuentre lo más cercano posible a una alternativa ideal positiva, pero lo más alejado posible de una alternativa llamada ideal negativa. (Chen y Tzeng, 2004) La primera se integra con los mejores valores nominales que tienen los atributos, mientras que la segunda se forma con los peores valores nominales que se encuentran en los atributos.

Si se considera que existe un conjunto de **k** alternativas, las cuales se representan por **A^k** se consideran como un vector en el espacio euclidiano, entonces ésta puede ser representada de acuerdo a la ecuación (6). Así mismo, como a cada alternativa le corresponde un punto en el espacio *n*-dimensional (ya que existen **n** atri-

butos), similarmente, el atributo x -ésimo puede ser analizado como un vector en el espacio k -dimensional dado por la ecuación (7).

$$A^k = (x_1^k \dots x_n^k) \text{ para } k=1, 2, \dots, k \quad (6)$$

$$X_n = (x_n^1 \dots x_n^k) \text{ para } n=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

La técnica TOPSIS parte del supuesto de que existe una alternativa que debe ser mejor o peor a todas las demás, por lo que a la alternativa con los mejores valores nominales en los atributos se le llama alternativa ideal positiva y puede ser representada de acuerdo a la ecuación (8), mientras que la alternativa que integre los peores valores nominales en los atributos será llamada alternativa ideal negativa y puede ser representada por la ecuación (9). Cabe mencionar que estas alternativas ideal positiva e ideal negativa en realidad no existen y que son generadas solamente a partir de los datos que se tienen en una matriz de decisión final.

$$A^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+) \quad (8)$$

$$A^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-) \quad (9)$$

Se puede decir que la metodología TOPSIS se resume de la siguiente manera:

1. Normalizar cada vector X_n de los atributos que son sujetos a evaluación y convertirlos a TX_n . Es importante señalar que esta operación se realiza debido a que muchos de los atributos pueden encontrarse en una escala diferente de medición, así lo que se busca en esta primera etapa de la metodología es lograr tener un conjunto de datos n -dimensionales, es decir, que no se encuentren expresados en una escala cualquiera, ya que si la tuvieran, entonces no podrían realizarse operaciones aditivas. La normalización en esta técnica se basa en la norma euclidiana del vector atributo y puede ser obtenida tal como se indica en (10).

$$TX_n = \frac{X_n}{\|X_n\|} = \left(\frac{x_n^1}{\|X_n\|}, \dots, \frac{x_n^k}{\|X_n\|} \right) \quad (10)$$

Dónde $\|X_n\|$, representa la norma euclidiana del vector del atributo (magnitud del vector) y puede ser obtenida de acuerdo a la ecuación número (11).

$$\|X_n\| = \sqrt{\sum_{i=1}^x x_i^2} \quad (11)$$

Sin embargo, una forma rápida de realizar la normalización o adimensionalización de las alternativas en evaluación, la alternativa ideal positiva y la alternativa ideal negativa es como se ilustra en las ecuaciones (12), (13) y (14).

$$TA^k = (t_1^k, \dots, t_n^k) = \left(\frac{x_1^k}{\|X_1\|}, \dots, \frac{x_n^k}{\|X_n\|} \right) \quad (12)$$

$$TA^+ = (t_1^+, \dots, t_n^+) = \left(\frac{x_1^+}{\|X_1\|}, \dots, \frac{x_n^+}{\|X_n\|} \right) \quad (13)$$

$$TA^- = (t_1^-, \dots, t_n^-) = \left(\frac{x_1^-}{\|X_1\|}, \dots, \frac{x_n^-}{\|X_n\|} \right) \quad (14)$$

2. Con los cálculos anteriores se logra obtener una matriz de decisión completamente sin escalas. Sin embargo, recuérdese que cada atributo puede tener diferente peso con nivel de importancia por lo que se procede a multiplicar cada uno de los atributos adimensionales por dicho peso. Con el cálculo anterior se tiene una matriz que es adimensional pero que a su vez está ponderada, entonces se pueden calcular las distancias que tiene cada una de las alternativas que están siendo evaluadas, la alternativa ideal positiva y la alternativa ideal negativa, tal como se ilustra en las ecuaciones (15) y es (16).

$$\rho(A^k, A^+) = \|w * (TA^k - TA^+)\| = \sqrt{\sum_{n=1}^N w_n * (t_1^k, \dots, t_n^k)^2} \quad (15)$$

$$\rho(A^k, A^-) = \|w * (TA^k - TA^-)\| = \sqrt{\sum_{n=1}^N w_n * (t_1^k, \dots, t_n^-)^2} \quad (16)$$

Donde w representa la ponderación o peso que los expertos han proporcionado al atributo en evaluación.

2.4 SELECCIÓN DE UNA TÉCNICA

Una vez que se han calculado las distancias a la alternativa ideal positiva y a la alternativa ideal negativa, entonces se debe proceder a realizar un ordenamiento de las diferentes alternativas evaluadas, para lo cual se usa la ecuación (17).

$$RC(A^+, A^-) = \frac{\rho(A^k, A^+)}{\rho(A^k, A^+) + \rho(A^k, A^-)} \quad (17)$$

La alternativa que debe ser seleccionada debe ser aquella que tenga el menor índice obtenido de acuerdo a la ecuación (17).

3. RESULTADOS

Una vez que el grupo de decisión logró reunir la información pertinente en relación a los atributos que serían evaluados en los proveedores, se llevó a cabo una

reunión de evaluación para aplicar las técnicas multicriterio antes descritas las cuales se refieren a AHP y TOPSIS. Los resultados obtenidos se ilustran a continuación.

3.1 VALORACIÓN DE LOS ATRIBUTOS

Una vez que se han identificado los atributos a evaluar, se procede a generar una matriz de decisión final, donde deben integrarse los atributos de tipo objetivo o cuantitativo con los atributos de tipo subjetivo o cualitativo. En la Tabla 4 se ilustran los atributos de tipo cuantitativo los cuales fueron obtenidos directamente del proveedor.

Tabla 4. Valores de los atributos objetivos o cuantitativos

Alternativa	X ₁ (\$)	X ₂ (Días)	X ₃ (Horas)
Prov1	655	3	12365
Prov2	550	5	11432
Prov3	480	4	11935
Prov4	595	3	13415

Para la obtención de los valores en los atributos subjetivos, se hizo uso de las opiniones de los cuatro expertos que integraban el grupo de decisión (se denota por la letra E), a quienes se pidió que emitieran una valoración en relación a los mismos. En la Tabla 5 se ilustra el proceso de obtención de los valores correspondientes al Programa de reciclaje y Producción limpia, donde las opiniones han sido promediadas para obtener una valoración final.

Tabla 5. Valores de los atributos subjetivos o cualitativos

Alternativa	X ₄				X ₅				Promedio	
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	X ₄	X ₅
Prov1	8	7	9	6	7	8	4	9	7.5	7
Prov2	7	6	8	4	9	8	7	5	6.25	7.25
Prov3	8	9	6	4	7	9	8	7	6.75	7.75
Prov4	8	7	9	8	8	7	5	9	8	7.25

Una vez que se han obtenido los datos de los atributos objetivos y subjetivos, se procedió a integrarlos en una sola tabla o matriz a la que se llama comúnmente matriz de decisión final y es sobre la cual se estará trabajando.

En este caso en la Tabla 6 se encuentran los atributos debidamente integrados para los cuatro proveedores que están siendo evaluados. Obsérvese que en la parte inferior se ha puesto la norma euclidiana para cada uno de los atributos y por lo tanto dentro de la Tabla 7 se observan los valores totalmente normalizados o estandarizados y sin ninguna escala de medición.

Tabla 6. Matriz de decisión final

Alternativa	X ₁ (\$)	X ₂ (Días)	X ₃ (Horas)	X ₄	X ₅
Prov1	655	3	12365	7.5	7
Prov2	550	5	11432	6.25	7.25
Prov3	480	4	11935	6.75	7.75
Prov4	595	3	13415	8	7.25
Prov+	480	3	13415	8	7.75
Prov-	655	5	11432	6.25	7
Norma	1147.15	7.68	24616.87	14.31	14.64

Tabla 7. Normalización de la matriz de decisión final

Alternativa	X ₁ (\$)	X ₂ (Días)	X ₃ (Horas)	X ₄	X ₅
Prov1	0.57098	0.39057	0.50230	0.52398	0.47830
Prov2	0.47945	0.65094	0.46440	0.43665	0.49538
Prov3	0.41843	0.52076	0.48483	0.47158	0.52955
Prov4	0.51868	0.39057	0.54495	0.55891	0.49538
Prov+	0.41843	0.39057	0.54495	0.55891	0.52955
Prov-	0.57098	0.65094	0.46440	0.43665	0.47830

Una vez que se tienen los valores normalizados, el siguiente paso de acuerdo a la metodología anteriormente descrita consistiría en ponderar los valores obtenidos, sin embargo, es aquí donde se hace uso de la técnica AHP para generar los niveles de importancia que tiene cada uno de los atributos. En la Figura 2, se ilustra la estructura que se generó para obtener los niveles de ponderación y en la Tabla 8 se ilustran las valoraciones obtenidas mediante la técnica AHP en las comparaciones pareadas que se realizó.

Dentro de la Tabla 8, en la última fila se encuentra el peso nivel importancia de cada uno de los atributos, y aunque se hace un gran esfuerzo por integrar aquellos de tipo ecológico, aún el costo del producto tiene el más alto valor. La suma de los pesos o nivel importancia de los dos atributos ecológicos no representan ni la mitad de lo que representa el costo.



Figura 2. Ponderación de los atributos

Tabla 8. Matriz de comparaciones pareadas unificada

	X ₁ (\$)	X ₂ (Días)	X ₃ (Horas)	X ₄	X ₅
X ₁ (\$)	1.00	2.00	4.00	5.00	5.00
X ₂ (Días)	½	1.00	2.00	4.00	5.00
X ₃ (Horas)	¼	½	1.00	2.00	3.00
X ₄	1/5	¼	½	1.00	1.00
X ₅	1/5	1/5	1/3	1.00	1.00
Peso (w)	0.444	0.275	0.144	0.072	0.065

Con los pesos ya establecidos para cada uno de los atributos, se procede a ponderar la matriz de decisión final que se encuentra ya normalizada o con valores sin escala alguna. La Tabla 9 ilustra esos valores obtenidos.

Tabla 9. Matriz de decisión normalizada y ponderada

Alternativas	X ₁ (\$)	X ₂ (Días)	X ₃ (Horas)	X ₄	X ₅
Prov1	0.2535	0.1074	0.0723	0.0377	0.0311
Prov2	0.2129	0.1790	0.0669	0.0314	0.0322
Prov3	0.1858	0.1432	0.0698	0.0340	0.0344
Prov4	0.2303	0.1074	0.0785	0.0402	0.0322
Prov+	0.1858	0.1074	0.0785	0.0402	0.0344
Prov-	0.2535	0.1790	0.0669	0.0314	0.0311

Con los valores de la Tabla 9 se procede a estimar las distancias que tienen las alternativas que representan a los proveedores, con las alternativas ideal positiva e ideal negativa, lo cual se ilustra en la Tabla 10.

Tabla 10. Distancia a ideal positiva e ideal negativa

Alternativas	X ₁ (\$)	X ₂ (Días)	X ₃ (Horas)	X ₄	X ₅	Distancia+
Prov1	0.00459	0.00000	0.00004	0.00001	0.00001	0.06814
Prov2	0.00073	0.00513	0.00013	0.00008	0.00000	0.07796
Prov3	0.00000	0.00128	0.00007	0.00004	0.00000	0.03737
Prov4	0.00198	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04457
Alternativas	X ₁ (\$)	X ₂ (Días)	X ₃ (Horas)	X ₄	X ₅	Distancia-
Prov1	0.00000	0.00513	0.00003	0.00004	0.00000	0.07209
Prov2	0.00165	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04066
Prov3	0.00459	0.00128	0.00001	0.00001	0.00001	0.07678
Prov4	0.00054	0.00513	0.00013	0.00008	0.00000	0.07668

Para la selección de la alternativa, se procede al ordenamiento de los proveedores de acuerdo al índice propuesto por medio de la técnica TOPSIS, lo cual se ilustra en la Tabla 11.

Tabla 11. Índices de ordenamiento

Ordenamiento	Distancia +	Distancia -	Índice	Orden
Prov1	0.068139	0.07208635	0.4859251	3
Prov2	0.0779624	0.04065506	0.6572592	4
Prov3	0.0373667	0.07678307	0.3273478	1
Prov4	0.0445657	0.07667919	0.3675678	2

Así, de acuerdo a los índices obtenidos, se tiene el siguiente orden de preferencia de los proveedores **Prov3 > Prov4 > Prov1 > Prov2**, por lo que debe seleccionarse el proveedor representado por **Prov3**.

REFERENCIAS

- AMID, A., GHODSYPOUR, S. H. y O'BRIEN, C. 2006. Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 104, 394-407.
- BARBAROSOGLU, G. y YAZGAC, T. 1997. An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem. *Production Inventory Management Journal* 38, 14-21.
- BARLA, S. B. 2003. A case study of supplier selection for lean supply by using a mathematical model. *Logistics Information Management*, 16, 451-459.
- BAYAZIT, O. 2006. Use of analytic network process in vendor selection decisions. *Benchmarking: An International Journal*, 13, 566-579.
- ÇEBİ, F. y BAYRAKTAR, D. 2003. An integrated approach for supplier selection. *Logistics Information Management*, 16, 395-400.
- CHAI, J., LIU, J. N. K. y NGAI, E. W. T. 2013. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems with Applications*, 40, 3872-3885.
- CHAN, F. T. S. 2003. Interactive selection model for supplier selection process: an analytical hierarchy process approach. *International Journal of Production Research*, 41, 3549-3579.
- CHAN, F. T. S. y CHAN, H. 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, 1807-1824.
- CHAN, F. T. S., CHAN, H. K., IP, R. W. L. y LAU, H. C. W. 2007. 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, 741-758.
- CHAN, F. T. S. y KUMAR, N. 2007. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35, 417-431.
- CHEN, C.-T., LIN, C.-T. y HUANG, S.-F. 2006. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102, 289-301.
- CHEN, M.-F. y TZENG, G.-H. 2004. Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country. *Mathematical and Computer Modelling*, 40, 1473-1490.
- CHEN, Y.-J. 2011. Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences*, 181, 1651-1670.
- CHOU, S.-Y. y CHANG, Y.-H. 2008. A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach. *Expert Systems with Applications*, 34, 2241-2253.
- CHOY, K., LEE, W., LAU, H., LU, D. y LO, V. 2004. Design of an intelligent supplier relationship management system for new product development. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17, 692-715.
- CHOY, K. L., LEE, W. B., LAU, H. C. W. y CHOY, L. C. 2005. A knowledge-based supplier intelligence retrieval system for outsource manufacturing. *Knowledge-Based Systems*, 18, 1-17.
- CHOY, K. L., LEE, W. B. y LO, V. 2003. Design of an intelligent supplier relationship management system: a hybrid case based neural network approach. *Expert Systems with Applications*, 24, 225-237.

- DE BOER, L., LABRO, E. y MORLACCHI, P. 2001. A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, 75-89.
- DEMIRTAS, E. A. y USTUN, O. 2009. Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 677-690.
- DEMIRTAS, E. A. y ÜSTÜN, Ö. 2008. An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation. *Omega*, 36, 76-90.
- DICKSON, G. W. 1966. An Analysis of Vendor Selection Systems and Decisions. *International Journal of Purchasing and Materials Management* 2, 5.
- DING, H., BENYOUCEF, L. y XIE, X. 2005. A simulation optimization methodology for supplier selection problem. *International Journal Computer Integrated Manufacturing* 18, 210-224.
- DOBOS, I. y VÖRÖSMARTY, G. 2014. Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators. *International Journal of Production Economics*, 157, 273-278.
- GASS, S. I. y RAPCSÁK, T. 2004. Singular value decomposition in AHP. *European Journal of Operational Research*, 154, 573-584.
- GENCER, C. y GÜRPINAR, D. 2007. Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied Mathematical Modelling*, 31, 2475-2486.
- GOVINDAN, K., RAJENDRAN, S., SARKIS, J. y MURUGESAN, P. 2015. Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66-83.
- GUREL, O., ACAR, A. Z., ONDEN, I. y GUMUS, I. 2015. Determinants of the Green Supplier Selection. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 181, 131-139.
- HA, S. H. y KRISHNAN, R. 2008. A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. *Expert Systems with Applications*, 34, 1303-1311.
- 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, 16-24.
- HONG, G. H., PARK, S. C., JANG, D. S. y RHO, H. M. 2005. An effective supplier selection method for constructing a competitive supply-relationship. *Expert Systems with Applications*, 28, 629-639.
- HOU, J. y SU, D. 2007. EJB-MVC oriented supplier selection system for mass customization. *Journal of Manufacturing Technology Management* 18, 54-71.
- HUANG, S. H. y KESKAR, H. 2007. Comprehensive and configurable metrics for supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 105, 510-523.
- HUMPHREYS, P., SHIU, W. K. y LO, V. H. Y. 2003. Buyer-supplier relationship: perspectives between Hong Kong and the United Kingdom. *Journal of Materials Processing Technology*, 138, 236-242.
- IGARASHI, M., DE BOER, L. y FET, A. M. 2013. What is required for greener supplier selection? A literature review and conceptual model development. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 19, 247-263.

- KANNAN, D., JABBOUR, A. B. L. D. S. y JABBOUR, C. J. C. 2014. Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *European Journal of Operational Research*, 233, 432-447.
- KUO, R. J., WANG, Y. C. y TIEN, F. C. 2010. Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 18, 1161-1170.
- LEE, A. H. I., KANG, H.-Y., HSU, C.-F. y HUNG, H.-C. 2009. A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert Systems with Applications*, 36, 7917-7927.
- LIAO, C.-N. y KAO, H.-P. 2011. An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 38, 10803-10811.
- LIU, F.-H. F. y HAI, H. L. 2005. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. *International Journal of Production Economics*, 97, 308-317.
- LUO, X., WU, C., ROSENBERG, D. y BARNES, D. 2009. Supplier selection in agile supply chains: An information-processing model and an illustration. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 15, 249-262.
- 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, 1-15.
- MENDOZA, A. P., SANTIAGO, E. y A.R., R. 2008. A three-phase multicriteria method to the supplier selection problem. *International Journal of Industrial Engineering* 15, 195-210.
- MIKHAILOV, L. 2004. Group prioritization in the AHP by fuzzy preference programming method. *Computers & Operations Research*, 31, 293-301.
- MURALIDHARAN, C., ANANTHARAMAN, N. y DESHMUKH, S. G. 2002. A Multi-Criteria Group Decisionmaking Model for Supplier Rating. *Journal of Supply Chain Management*, 38, 22-33.
- NG, W. L. 2008. An efficient and simple model for multiple criteria supplier selection problem. *European Journal of Operational Research*, 186, 1059-1067.
- PERÇIN, S. 2006. An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection. *Measuring Business Excellence*, 10, 34-49.
- SAATY, T. 1994. *Fundamentals of decision making and priority theory.*, RWS Publications.
- SAEN, R. F. 2006. A decision model for selecting technology suppliers in the presence of nondiscretionary factors. *Applied Mathematics and Computation*, 181, 1609-1615.
- SAEN, R. F. 2007. Suppliers selection in the presence of both cardinal and ordinal data. *European Journal of Operational Research*, 183, 741-747.
- SARKAR, A. y MOHAPATRA, P. K. J. 2006. Evaluation of supplier capability and performance: A method for supply base reduction. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12, 148-163.
- SARKIS, J. y TALLURI, S. 2002. A Model for Strategic Supplier Selection. *Journal of Supply Chain Management*, 38, 18-28.
- SEVKLI, M., KOH, S. C. L., ZAIM, S., DEMIRBAG, M. y TATOGLU, E. 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, 1973-2003.
- SONER KARA, S. 2011. Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment. *Expert Systems with Applications*, 38, 2133-2139.

- TALLURI, S. y NARASIMHAN, R. 2003. Vendor evaluation with performance variability: A max–min approach. *European Journal of Operational Research*, 146, 543-552.
- TALLURI, S. y NARASIMHAN, R. 2004. A methodology for strategic sourcing. *European Journal of Operational Research*, 154, 236-250.
- TALLURI, S., NARASIMHAN, R. y NAIR, A. 2006. Vendor performance with supply risk: A chance-constrained DEA approach. *International Journal of Production Economics*, 100, 212-222.
- TALLURI, S. y SARKIS, J. 2002. A model for performance monitoring of suppliers. *International Journal of Production Research* 40 *International Journal of Production Research*, 40, 4257-4269.
- TALLURI, S., VICKERY, S. K. y NARAYANAN, S. 2008. Optimization models for buyer-supplier negotiations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38, 551-561.
- VINODH, S., ANESH RAMIYA, R. y GAUTHAM, S. G. 2011. Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organisation. *Expert Systems with Applications*, 38, 272-280.
- WADHWA, V. y RAVINDRAN, A. R. 2007. Vendor selection in outsourcing. *Computers & Operations Research*, 34, 3725-3737.
- WANG, G., HUANG, S. H. y DISMUKES, J. P. 2004. Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology. *International Journal of Production Economics*, 91, 1-15.
- WANG, G., HUANG, S. H. y DISMUKES, J. P. 2005. Manufacturing supply chain design and evaluation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, 93-100.
- WEBER, C. A., CURRENT, J. y DESAI, A. 2000. An optimization approach to determining the number of vendors to employ. *Supply Chain Management: An International Journal*, 5, 90-98.
- WEBER, C. A., CURRENT, J. R. y DESAI, A. 1998. Non-cooperative negotiation strategies for vendor selection. *European Journal of Operational Research*, 108, 208-223.
- WU, T., SHUNK, D., BLACKHURST, J. y APPALLA, R. 2007. AIDEA: a methodology for supplier evaluation and selection in a supplier-based manufacturing environment. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 11, 174-192.
- XIA, W. y WU, Z. 2007. Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*, 35, 494-504.
- ZEYDAN, M., ÇOLPAN, C. y ÇOBANOĞLU, C. 2011. A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38, 2741-2751.