



## Artículo

## Selección multicriterio de aliado estratégico para la operación de carga terrestre



Luz Carime Urbano Guerrero<sup>a</sup>, Luz Stella Muñoz Marín<sup>b,\*</sup> y Juan Carlos Osorio Gómez<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Profesor asistente, Facultad de Derecho y Ciencias Políticas, Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia

<sup>b</sup> Profesor hora cátedra, Coordinadora Administrativa, Centro de Emprendimiento, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

<sup>c</sup> Profesor titular, Grupo Logística y Producción, Universidad del Valle, Cali, Colombia

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 24 de febrero de 2015

Aceptado el 3 de septiembre de 2015

On-line el 24 de diciembre de 2015

#### Códigos JEL:

M11

L14

#### Palabras clave:

Análisis jerárquico difuso

Orden de preferencia

Decisión multicriterio

Alianza estratégica

#### JEL classification:

M11

L14

#### Keywords:

Fuzzy analytic hierarchy

Order of preference

Multicriteria decision

Strategic alliance

### R E S U M E N

El objetivo de este artículo es presentar un modelo para seleccionar un operador de transporte terrestre, en calidad de aliado estratégico, que fortalezca la gestión integrada de la cadena de suministro. El proceso de selección exige el uso de instrumentos que contribuyan a la toma de decisiones de manera ágil, efectiva y eficaz. En este sentido, el modelo combina el Proceso de Análisis Jerárquico Difuso y la Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud con Solución Ideal, considerando elementos científicos y analíticos que facilitan la inclusión de los diferentes criterios y actores conductentes. El modelo, que puede ser aplicable a diferentes tipos de organización, fue validado en una empresa industrial colombiana y permitió identificar el potencial aliado estratégico con las mejores ventajas competitivas.

© 2015 Universidad ICESI. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### Multicriteria selection of a strategic ally for land freight operation

#### A B S T R A C T

The purpose of this work is to present a model for selecting a strategic partner in the operation of land transportation, to strengthen the integrated supply chain management. The selection process involves the use of tools that contribute to decision making in an agile, effective and efficient way. In this context, the proposed model combines the fuzzy analytic hierarchy process and technique for order preference by similarity with ideal solution, including scientific and analytical elements that enable the inclusion of diverse criteria and leading actors. This model, which is applicable to different types of organization, was validated in a Colombian industrial company in order to identify the potential strategic partner with the best competitive advantages.

© 2015 Universidad ICESI. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

\* Autor para correspondencia. Calle 25 N.° 115-85, Cali, Colombia.  
Correio electrónico: [ismunoz@uao.edu.co](mailto:ismunoz@uao.edu.co) (L.S. Muñoz Marín).

## Seleção multicritério de aliado estratégico para a operação de carga terrestre

Classificações JEL:

M11  
L14

Palavras-chave:

Análise hierárquica difusa  
Ordem de preferência  
Decisão multicritério  
Aliança estratégica

### R E S U M O

O objetivo deste artigo é apresentar um modelo para selecionar um operador de transporte terrestre, na qualidade de aliado estratégico, que reforce a gestão integrada da cadeia de abastecimento. O processo de seleção exige o uso de instrumentos que contribuam para a tomada de decisões de maneira ágil, efetiva e eficaz. Neste sentido, o modelo combina o Processo de Análise Hierárquico Difuso e a Técnica para a Ordem de Preferência por Similitude com Solução Ideal, considerando elementos científicos e analíticos que facilitam a inclusão dos diferentes critérios e atores conducentes. O modelo, que pode ser aplicável a diferentes tipos de organização, foi validado numa empresa industrial colombiana e permitiu identificar o potencial aliado estratégico com as melhores vantagens competitivas.

© 2015 Universidad ICESI. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introducción

Con la globalización económica y la rápida evolución de las tecnologías de la información, es común observar en las empresas la tendencia a externalizar parte de sus actividades, principalmente aquellas que son complementarias a su razón de ser. Esta estrategia de subcontratación conocida como *outsourcing* o tercerización, permite enfocarse en los procesos clave que generan valor al negocio, con la tranquilidad de que las operaciones externalizadas serán desarrolladas por personal experto con ventajas comparativas en costo y oportunidad, principalmente.

Es conocido que el transporte es una operación susceptible de externalizar y agrega valor cuando se realiza de manera eficiente y eficaz. Sin embargo, según Saldarriaga (2010), su costo puede representar entre un 45 y un 65% del total de la operación logística, lo cual impacta significativamente, no solo la cadena de suministro, sino el precio de los productos.

Entre las modalidades de transporte disponibles en el país, la más utilizada es la terrestre. De acuerdo con el Ministerio de Transporte de Colombia «el servicio de transporte de carga por carretera es un factor determinante para la competitividad del país, no solo por su incidencia dentro de los costos de las mercancías, sino por ser la principal alternativa para su movilización» (Departamento Nacional de Planeación, 2007, p. 5).

Desde esta perspectiva se identifica una oportunidad para fortalecer la gestión integrada de la cadena de suministro, mediante la conformación de alianzas estratégicas con proveedores de servicios logísticos que permitan a las empresas consolidar ventajas competitivas y controlar y reducir los factores de riesgo asociados. Existe una gran variedad de firmas dedicadas a la operación logística de transporte terrestre, lo cual representa para las empresas contratantes un amplio abanico de alternativas, cada una con sus propias características y especificidades. Por tal razón, la decisión de seleccionar los socios adecuados, se traduce en un problema de criterios múltiples con objetivos que, en ocasiones, pueden resultar contradictorios.

Como lo explican Famuyiwa, Monplaisir y Nepal (2008), la conformación y la gestión de una alianza estratégica es una tarea compleja y difícil, ya que los administradores deben considerar las necesidades y requerimientos de sus empresas y las de los miembros de la alianza, lo que la convierte en un problema de decisión multicriterio y de nivel estratégico (Gonzales, Mataix y Carrasco, 2006).

El estudio del problema de la selección y evaluación de los proveedores, a través del enfoque de toma de decisiones con múltiples criterios, ha tenido un crecimiento considerable y se estima que seguirá aumentando en los próximos años, debido a su importancia estratégica para consolidar una cadena de suministro eficaz (Ho, Xiaowei y Prasanta, 2009).

Con estas consideraciones, el modelo presentado en este artículo integra el *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (AHP difuso)

con *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), para apoyar y facilitar el proceso de selección de un operador logístico de transporte terrestre en calidad de aliado estratégico.

El artículo comprende una sección donde se realiza una revisión de referentes teóricos sobre métodos de selección de proveedores, alianzas estratégicas y *outsourcing* logístico. Posteriormente, en la tercera sección se describe la metodología seguida para lograr el objetivo propuesto. En la cuarta sección se realiza el análisis de los resultados y, finalmente, se presentan las conclusiones derivadas del modelo propuesto y de su implementación en una empresa industrial colombiana.

## 2. Revisión de la literatura

A continuación se identifican los antecedentes más importantes y los métodos aplicados con mayor frecuencia en la selección de proveedores en general, de aliados estratégicos y de proveedores de servicios logísticos.

### 2.1. Métodos de selección de proveedores

El estado del arte en materia de selección de proveedores es amplio y variado, con mayor orientación hacia enfoques cuantitativos, como lo plantean Sarache, Castrillón y Ortiz (2009, p. 148):

«El 50% de las revistas especializadas consultadas se dedican a la exposición de métodos de diversa índole para seleccionar o evaluar proveedores. En contraste, son escasos aquellos autores dedicados a estudiar la gestión de proveedores desde el enfoque de la gestión estratégica (solo el 12,5%). Pareciera que en este, como en otros campos de estudio relacionados con la administración de empresas, la tendencia dominante se orienta hacia las aplicaciones cuantitativas con cierto descuido de su pertinencia y real aplicabilidad en ambientes de decisión complejos».

Al respecto, Ho, Xiaowei y Prasanta (2009) concluyen en su estudio que, de 78 artículos publicados entre el 2000 y el 2008, los enfoques individuales son más usados que los enfoques integrados, siendo el *Data Envelopment Analysis* (DEA) el más utilizado, seguido de la programación matemática y el AHP, y otros más. En cuanto a los enfoques integrados, se encuentran diversas combinaciones con prevalencia de integración con el AHP por su simplicidad, facilidad de uso y flexibilidad.

De manera similar, Deshmukh y Chaudhari (2011) realizan una revisión de los métodos de selección de proveedores en 49 artículos desde 1992 hasta 2007, agrupándolos en: 1) modelos de programación matemática, 2) modelos lineales de ponderación y 3) enfoques estadísticos/probabilísticos, concluyendo que el método AHP es el más empleado entre los modelos de ponderación lineal.

En tal sentido, es posible apreciar que el AHP es un método útil, práctico y sistemático para la selección de proveedores (Zouggari y Benyoucef, 2012; Pi y Low, 2006; Hafeeza, Malak y Zhang, 2007; Reuven, 2008; Chan y Chan, 2010; Bruno, Esposito, Genovese y Passaro, 2012; Liu y Kang, 2011). Sin embargo, en la práctica, los datos nítidos a veces son inadecuados para plantear una situación de la vida real, pues los juicios humanos son vagos y no se pueden representar con números exactos; razón por la cual se emplea el AHP con números difusos triangulares para representar la comparación de los juicios en la toma de decisiones (Kilinc y Asli, 2011). La teoría de conjuntos difusos guarda similitud con el razonamiento humano en el uso de información aproximada y en la incertidumbre que generan las decisiones y ofrece la ventaja de representar matemáticamente dicha incertidumbre y vaguedad, proporcionando herramientas formalizadas para tratar con la imprecisión intrínseca de muchos problemas (Chan y Kumar, 2007; Herrera y Osorio, 2006; Ho, He, Man y Emrouznejad, 2012).

## 2.2. Las alianzas estratégicas y la selección de socios

En la actualidad muchas compañías conservan el modelo de negociación anual basado en costos y algunos incluyen factores de calidad y servicio, como resultado del aprendizaje derivado de las exigencias del mercado y de la búsqueda de un modelo de negociación más sólido. Lamentablemente, se evidencia que cada una de las partes enfoca sus esfuerzos en la satisfacción de los propios intereses, con lo cual se hace visible el riesgo y la incertidumbre en la confianza de la relación comercial.

Algunas empresas que identificaron esta situación han desarrollado modelos colaborativos, que derivan en la formalización del concepto de alianza. Según Mayer y Teece (2008), en la conformación de una alianza, prácticamente todos los investigadores utilizan términos tales como cooperación, colaboración, creación de valor, u otros similares que indican que las alianzas implican una relación más estrecha y más interdependiente que las transacciones con proveedores habituales.

Los gerentes de logística se interesan en iniciativas de colaboración con ciertas expectativas y objetivos previamente definidos, razón por la cual deben seleccionar socios que tengan metas compatibles, habilidades apropiadas, motivación efectiva y orientaciones estratégicas complementarias, a fin de encontrar maneras de desarrollar ofertas gana-gana para tener éxito (Dowlatshahi, 2000).

Como criterios de compatibilidad para establecer la alianza, Famuyiwa et al. (2008) proponen los siguientes: alineación cultural; comunicación y capacidad de intercambio de información; coordinación y capacidad de cooperación; confianza empresarial y compromiso con la alianza; alineación en los objetivos estratégicos; alineación en las técnicas de manejo de conflictos; margen de beneficio; rendimiento de los activos y calificación de los bonos. Estos criterios de compatibilidad se agrupan en 3 categorías: meta de compatibilidad estructural, meta de compatibilidad de gestión y meta de compatibilidad financiera.

## 2.3. Outsourcing logístico y la selección del outsourcing

La demanda de proveedores de logística de terceros (*third-party logistics* [3PL]) se convierte en un asunto cada vez más importante para las corporaciones que buscan mejorar el servicio al cliente y reducir los costos (Liu y Wang, 2009). El resultado de la tercerización logística está relacionado con el nivel de interacción entre el comprador y el proveedor: a mayor interacción, más beneficio bajo el esquema de externalización (Gadde y Hulthén, 2009). Así mismo, Kudla y Klaas-wissing (2012) contribuyen a la investigación sobre la sostenibilidad de las relaciones diádicas comprador-proveedor

en los servicios de logística, con un conocimiento más profundo acerca de por qué y cómo los proveedores optan por comportarse de manera colaborativa. Estos autores identifican la colaboración y las asociaciones estratégicas como una oportunidad vinculada con la sostenibilidad de las relaciones entre transportistas y proveedores de servicios logísticos.

Para analizar la influencia que tiene la implementación de un *outsourcing* logístico, Jayaram y Tan (2010) realizaron un estudio comparativo entre empresas que deciden incluir proveedores de logística para gestionar su cadena de suministro y las que no lo hacen, en el que analizan el impacto de estas decisiones sobre los resultados de la empresa e identifican los siguientes factores en los procesos de selección y evaluación del desempeño de proveedores 3PL: entrega a tiempo; tiempo de respuesta rápido en caso de urgencia; problema o requerimiento especial; nivel de servicio; flexibilidad para responder a cambios inesperados en la demanda; sistemas y habilidades de comunicación, y cantidad correcta.

En este sentido, Yew Wong y Karia (2010) identifican 5 recursos estratégicos con sus respectivas características, para que los proveedores de servicios logísticos puedan alcanzar ventajas competitivas: físico, humano, información, conocimiento y recursos relacionales.

De manera similar, Kulak y Kahraman (2005) realizan un estudio con el objetivo de seleccionar la mejor compañía bajo criterios determinados como el costo, el tiempo, el daño/pérdida, la flexibilidad y la capacidad de documentación, a través del uso de herramientas multiatributo, específicamente diseño axiomático (AD) y proceso analítico jerárquico (AHP).

Con base en el análisis de las características de la industria de *outsourcing* logístico, Peng (2012) estudia la evaluación y selección de proveedores de servicios de logística de externalización a partir de AHP, con un sistema de índices de evaluación considerado más objetivo y viable, e incluye el costo de la logística, la eficiencia de las operaciones logísticas, las cualidades básicas de los proveedores de servicios y el nivel de tecnología logística.

Liu y Wang (2009) presentan un enfoque difuso integrado para la evaluación y la selección de proveedores 3PL. Este método consta de 3 técnicas: 1) el método Delphi difuso para identificar los criterios de evaluación más importantes, 2) el método de inferencia difusa para eliminar los proveedores inadecuados 3PL y 3) desarrollo de un enfoque de asignación lineal difusa para la selección final.

Por su parte, Ho et al. (2012) desarrollan un enfoque integrado que combina *Quality Function Deployment* (QFD), teoría de conjuntos difusos y AHP para evaluar y seleccionar los proveedores óptimos de servicio logístico (3PL). La importancia de los criterios de evaluación se prioriza con respecto al grado de consecución de los requerimientos de los actores utilizando AHP difuso. Sobre la base de los criterios de clasificación, los 3PL potenciales se evalúan y se comparan entre sí utilizando nuevamente números difusos para hacer una selección óptima. La eficacia del enfoque propuesto se demuestra con su aplicación a una empresa de Hong Kong que suministra componentes de disco duro. El enfoque integrado propuesto supera a los enfoques existentes porque la estrategia de *outsourcing* y selección de los 3PL derivan de la estrategia de la empresa.

İşiklar, Alptekinb y Büyüközkanb (2007) proponen un marco de referencia para la evaluación y selección eficaz de 3PL que integra razonamiento basado en casos, razonamiento basado en reglas y técnicas de programación en un ambiente difuso. Este enfoque de toma de decisiones en tiempo real trata con situaciones de decisión incierta e imprecisa. De esta manera, la integración de las diferentes metodologías toma ventaja de sus fortalezas y complementa mutuamente sus debilidades. En consecuencia, el marco conduce a una selección más precisa, flexible y eficiente de los proveedores de servicios 3PL (alternativas).

### 2.4. Selección de operador logístico para alianza

Los estudios sobre la selección de un proveedor de servicios logísticos con la finalidad de establecer una alianza estratégica son escasos respecto al volumen de trabajos disponibles de selección de proveedor en general. En este tema, [González et al. \(2006, p. 1\)](#) explican que «la formación de alianzas estratégicas con operadores logísticos, en un tiempo en que se requiere una gestión integrada de la cadena de suministro, puede ayudar a gestionar mejor estos sistemas logísticos. La selección del operador logístico para formar la alianza estratégica es un problema complejo debido a la gran cantidad de criterios que intervienen en una decisión estratégica de este tipo». Los autores aplican un modelo de decisión multicriterio AHP que contribuye a tomar la mejor decisión. [Büyükoçkan, Feyzioglu y Nebol \(2008\)](#) realizan un estudio que apoya la evaluación cuidadosa y la selección de una pareja logística para establecer una alianza estratégica, a través de un modelo que integra AHP difuso y TOPSIS.

[Çelebi, Bayraktar y Bingöl \(2010\)](#) proponen una aplicación del Proceso de Red Analítica para la determinación de la mejor estrategia de asociación logística de un pequeño fabricante de electrodomésticos en Turquía. El modelo incluye factores cualitativos y cuantitativos, determinados mediante revisión de literatura y la experiencia de los directivos de la empresa. A través de un modelo de Proceso de Red Analítica se evalúan 3 diferentes alternativas de gestión logística: 1) logística interna propia, 2) arreglos con terceros y 3) alianza estratégica. Las comparaciones por pares se obtuvieron a través de una encuesta llevada a cabo con personal de la empresa y directivos del sector.

### 3. Metodología

La metodología aplicada a una empresa industrial colombiana considera el desarrollo de un modelo que combina el AHP difuso y la TOPSIS, con el fin de seleccionar un aliado estratégico para la operación de carga terrestre. El AHP difuso ayuda a establecer el nivel de importancia entre los criterios y subcriterios definidos para la selección, a partir de una comparación cualitativa entre ellos, que posteriormente se traslada a una escala numérica que permite realizar los cálculos matemáticos. La TOPSIS se utiliza para priorizar las alternativas y seleccionar la mejor, en este caso, el mejor proveedor para constituir la alianza estratégica. Esta técnica se basa en las distancias positivas y negativas de las alternativas con respecto a una solución ideal.

En la [figura 1](#) se muestra el esquema metodológico y posteriormente se enumeran los pasos para su implementación ([Urbano y Muñoz, 2013](#)).

#### 3.1. Construcción del modelo jerárquico

El modelo para la selección se sustenta en un conjunto de criterios estándares que permiten valorar y comparar la capacidad de los operadores para prestar el servicio de transporte de manera efectiva y su potencial para convertirse en un buen aliado estratégico. En este sentido, se realizó un análisis de los criterios sugeridos en 63 artículos, cuya frecuencia se resume en la [tabla 1](#).

Considerando los criterios de mayor frecuencia, se define el modelo jerárquico que se muestra en la [figura 2](#).

En la fase inicial del modelo jerárquico ([fig. 2](#)) se define la meta u objetivo principal, en este caso, la selección de un operador de transporte como potencial aliado estratégico. Seguidamente, se presentan los criterios con sus respectivos subcriterios y por último, las alternativas, que corresponden a 3 proveedores que actualmente prestan el servicio de transporte para la empresa.

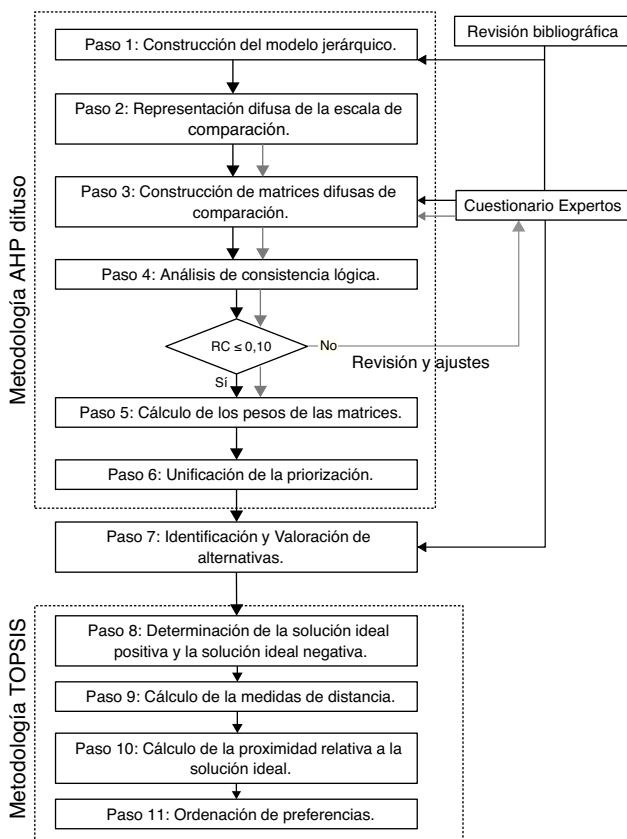


Figura 1. Esquema metodológico.

Fuente: [Urbano y Muñoz \(2013, p. 83\)](#).

Tabla 1

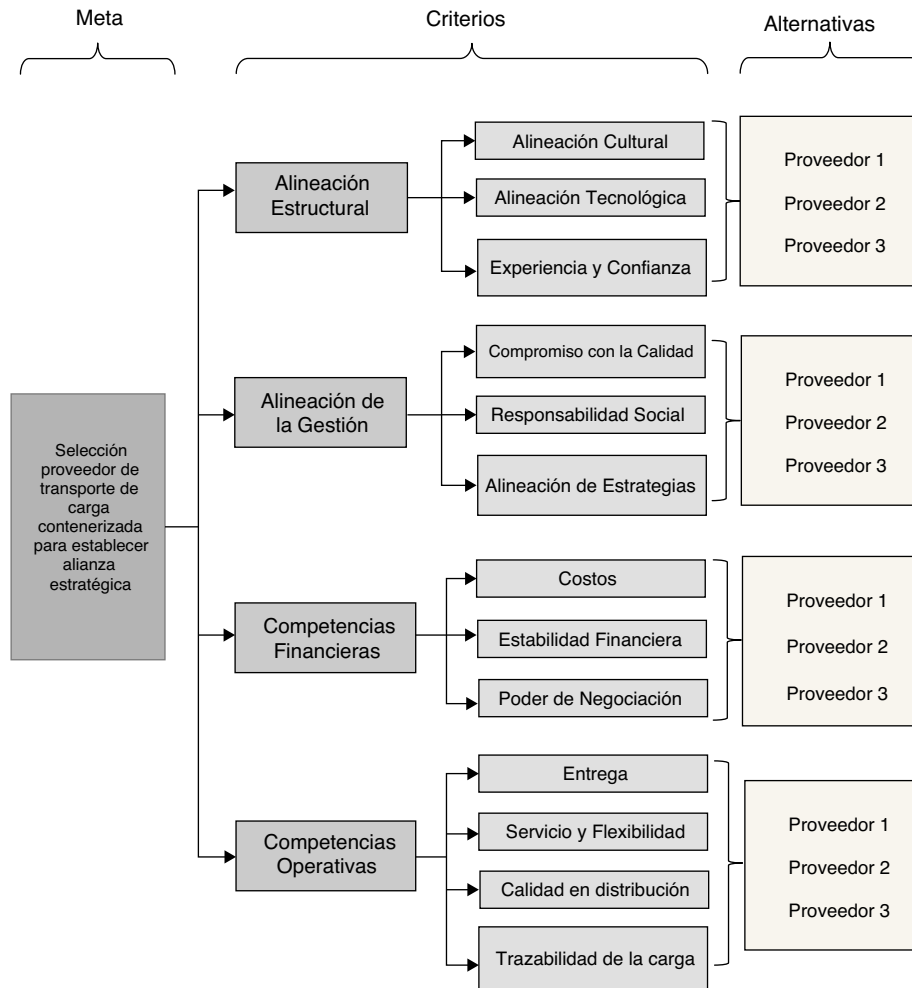
Frecuencia de aparición de criterios en la revisión bibliográfica

Criterio	Frecuencia	% de frecuencia
Finanzas	41	10,99
Calidad	38	10,19
Costo	37	9,92
Entrega	36	9,65
Tecnología	31	8,31
Servicio	30	8,04
Relación	27	7,24
Confianza y experiencia	25	6,70
Producción	22	5,90
Gestión	18	4,83
Localización	13	3,49
Riesgos	11	2,95
Producto	9	2,41
SGC	7	1,88
Responsabilidad social y ambiental	6	1,61
Nuevos proyectos	6	1,61
Flexibilidad	6	1,61
Cadena de suministro	4	1,07
Conflictos	3	0,80
Reacción al cambio	2	0,54
Otro	1	0,27
Total	373	100,00

Fuente: [Urbano y Muñoz \(2013, p. 84\)](#).

A continuación, se presenta la respectiva caracterización ([Urbano y Muñoz, 2013](#)) para los criterios y subcriterios definidos:

- a) Alineación estructural: cubre los aspectos relacionados con la compatibilidad cultural y tecnológica de las empresas involucradas. Igualmente considera el interés y compromiso para formar y mantener una alianza.



**Figura 2.** Modelo jerárquico de criterios y subcriterios para la selección de aliado estratégico.

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 85).

- **Alineación cultural:** afinidad entre las formas de afrontar la operación del día a día, resolver problemas y adaptarse a los cambios.
  - **Alineación tecnológica:** capacidad de implementación e integración tecnológica para facilitar la comunicación y el intercambio de información.
  - **Experiencia y confianza:** conocimiento mutuo, reputación en el sector y compromiso de la alta gerencia con la alianza.
- b) **Alineación de la gestión:** comprende los aspectos relacionados con la afinidad entre los estilos de gestión de las empresas involucradas, incluyendo el sistema de gestión de calidad y los programas de responsabilidad social empresarial.
- **Compromiso con la calidad:** conocimiento y aplicación de los aspectos propios de la operación de transporte de carga contenerizada (certificaciones, normas, reglamentaciones, estándares de calidad, etc.). Compatibilidad entre los sistemas y prácticas de la gestión y aseguramiento de la calidad.
  - **Responsabilidad social:** afinidad entre las políticas y programas de responsabilidad social y ambiental de las empresas involucradas.
  - **Alineación de estrategias:** afinidad entre los objetivos estratégicos y las estrategias de ambas organizaciones.
- c) **Competencias financieras:** evalúa los aspectos relacionados con la situación financiera y el poder de negociación de los socios potenciales. Considera, además, la evaluación de los costos de la operación logística y del establecimiento de la alianza.
- **Costos:** costos de la operación logística, considerando aspectos como descuentos y condiciones de pago.
  - **Estabilidad financiera:** capacidad y estabilidad financiera de los aliados potenciales.
  - **Poder de negociación:** capacidad para influir favorablemente en los resultados de una negociación.
- d) **Competencias operativas:** estos criterios comprenden las actividades y habilidades propias de la operación logística que serán desarrolladas por el proveedor de transporte de carga contenerizada, para que la empresa usuaria del servicio logre una ventaja competitiva en la cadena de suministro. Incluye aspectos como entrega, servicio, flexibilidad y calidad en la distribución.
- **Entrega:** capacidad para entregar la cantidad correcta de productos, en el lugar preciso y en el momento adecuado.
  - **Servicio y flexibilidad:** capacidad para ofrecer soluciones flexibles y personalizadas, responder adecuadamente ante variaciones en la demanda o el entorno y satisfacer requerimientos específicos del usuario.
  - **Calidad en la distribución:** capacidad para garantizar condiciones de seguridad en la entrega del producto y reducir la posibilidad de daños o funcionamiento defectuoso.
  - **Trazabilidad de la carga:** capacidad para conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria del producto durante la prestación del servicio.



**Tabla 2**  
Escala difusa para efectuar comparaciones

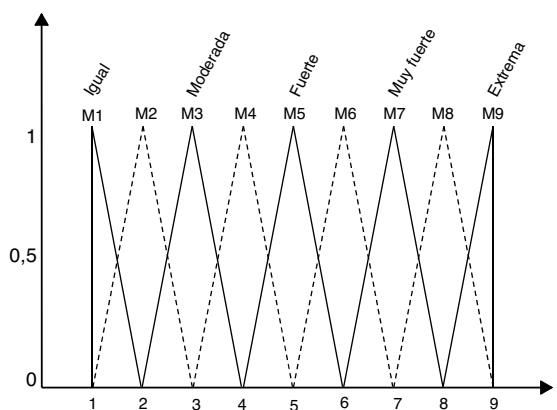
Representación	Escala numérica	Escala difusa	Escala verbal	Explicación
M1	1	(1, 1, 2)	Igualmente preferido o importante	Los 2 elementos contribuyen en igual medida al objetivo
M3	3	(2, 3, 4)	Moderadamente preferido o importante	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un elemento sobre el otro
M5	5	(4, 5, 6)	Fuertemente preferido o importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un elemento sobre el otro
M7	7	(6, 7, 8)	Preferencia o importancia muy fuerte o demostrada	Un elemento es mucho más favorecido que el otro; su predominancia se demostró en la práctica
M9	9	(8, 9, 9)	Extremadamente preferido o importante	Preferencia clara y absoluta de un criterio sobre otro
M2, M4, M6, M8	2, 4, 6, 8	(1, 2, 3), (3, 4, 5), (5, 6, 7), (7, 8, 9)	Valores intermedios	Intermedia entre valores anteriores

Fuente: adaptado de Herrera y Osorio (2006, p. 73).

**Tabla 3**  
Matriz de comparación de criterios (experto 1), empleando números triangulares

Experto 1	Alineación estructural			Alineación de la gestión			Competencias financieras			Competencias operativas		
Alineación estructural	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1	1	2	1/8	1/7	1/6
Alineación de la gestión	2	3	4	1	1	1	2	3	4	1	1	2
Competencias financieras	1/2	1	1	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1/4	1/3	1/2
Competencias operativas	6	7	8	1/2	1	1	2	3	4	1	1	1

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 90).



**Figura 3.** Representación gráfica de la escala difusa.  
Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p.71).

3.2. Representación difusa de la escala de comparación

Con el modelo jerárquico se procede a realizar la conversión de la escala de Saaty a una escala de números triangulares difusos, como se muestra en la tabla 2.

La primera columna de la tabla 2 corresponde a los números triangulares M1, M3, M5, M7 y M9, los cuales representan los juicios verbales de la cuarta columna que van desde igual hasta extremadamente preferido o importante. Los valores intermedios están representados por los números triangulares M2, M4, M6 y M8. En la escala verbal se utiliza el término *importancia* cuando se comparan criterios entre sí y *preferencia* cuando se comparan alternativas.

La figura 3 muestra la representación gráfica de los números triangulares de la escala de comparación difusa, en la que el número triangular corresponde a  $M_t = (l_t, m_t, u_t)$ ;  $t = 1, 2, \dots, 9$ ; donde  $l_t$  y  $u_t$  representan el límite superior e inferior del número difuso  $M_t$  respectivamente, y  $m_t$  es el valor medio del mismo.

Considerando  $\Delta$  para representar un grado difuso del juicio donde  $m_t - l_t = u_t - m_t = \delta$ , un mayor valor de  $\delta$  indica un mayor

grado difuso del juicio. Sin embargo, cuando  $\delta = 0$ , el juicio no corresponde a un número difuso. Este valor, por lo general, debe ser mayor o igual a 1/2. Para la representación difusa de este trabajo, el valor de  $\delta$  es igual a uno, debido a la practicidad que representa, aclarando que su escogencia depende de la complejidad de la decisión.

3.3. Construcción de matrices difusas de comparación

Para facilitar la comparación por pares de los elementos del modelo jerárquico (criterios y subcriterios), se diseñó un cuestionario que fue diligenciado por 8 expertos, incluyendo directivos a nivel de gerencia y jefatura de empresas que utilizan los servicios de transporte de carga (rol cliente) y de empresas especializadas en prestar el servicio de transporte de carga (rol proveedor), con la finalidad de considerar los juicios de los actores involucrados en la alianza.

Las matrices de comparación con la escala difusa se construyeron por nivel de jerarquía y por cada experto, como se requiere en el AHP difuso. En el ejemplo de la tabla 3, el experto 1 consideró que el criterio *alineación de la gestión* es moderadamente importante frente al criterio *alineación estructural*. Esta calificación corresponde al valor (2, 3, 4) en la escala difusa y el juicio inverso sería (1/2, 1/3, 1/4).

3.4. Análisis de consistencia lógica

La consistencia se refiere a la congruencia de los juicios y relaciones establecidas por los expertos, a través del proceso de comparación por pares. En el caso del AHP difuso, antes de realizar el análisis, es necesario convertir las matrices difusas en matrices con números reales o nítidos, utilizando el método de *defuzzificación*, que indica que un número difuso triangular denotado de la forma  $M = (l, m, u)$  puede convertirse en un número real con la siguiente ecuación:

$$M_{real} = \frac{(l + 4m + u)}{6} \tag{1}$$

**Tabla 4**  
Ejemplo análisis de consistencia lógica para la matriz de comparación de criterios

Experto 1	Alineación estructural	Alineación de la gestión	Competencias financieras	Competencias operativas
<i>Matriz consistente</i>				
Alineación estructural	1	0,347222222	1,166666667	0,143849206
Alineación de la gestión	3	1	3	1,166666667
Competencias financieras	0,916666667	0,347222222	1	0,347222222
Competencias operativas	7	0,916666667	3	1
Suma	11,91666667	2,611111111	8,166666667	2,657738095
Lambda máx.	IC	RC		
4,195260977	0,06508699	0,07231888		

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 90-91).

**Tabla 5**  
Cálculo del grado sintético difuso para la matriz de comparación de criterios

Grado sintético difuso			
Alineación estructural (AE)	0	0	1/5
Alineación de la gestión (AG)	18/95	1/3	5/9
Competencias financieras (CF)	0	1/9	1/7
Competencias operativas (CO)	2/7	1/2	5/7

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 91).

**Tabla 6**  
Cálculos de comparaciones de números difusos de matriz de comparación de criterios

Aplicación de los principios de comparación de números difusos					
AE-AG	0,94123	AG-AE	1	CF-AE	1
AE-CF		AG-CF	1	CF-AG	1
AE-CO		AG-CO	0,61437	CF-CO	1
				CO-AE	1
				CO-AG	1
				CO-CF	1

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 91).

**Tabla 7**  
Vector de peso normalizado para los criterios

Vector de peso normalizado	
AE	0,2647174
AG	0,17278985
CF	0,28124637
CO	0,28124637

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 91).

Una vez defuzzificadas las matrices, se calcula el índice de consistencia con el método del AHP tradicional. En caso de detectar inconsistencias, se deben revisar los juicios de los expertos y repetir el proceso. En la tabla 4 se presenta la matriz de consistencia del experto 1, para los criterios comparados.

### 3.5. Cálculo de los pesos de las matrices

Se aplicó el método de análisis extendido que se utiliza en una etapa posterior a la aplicación del AHP difuso para examinar el grado en que un objeto puede satisfacer la meta global, es decir, mide el grado de satisfacción de un criterio con respecto al objetivo global. Büyükköçkan, Kabraman y Ruan (2004) resumen los pasos claves para la aplicación de este método. Se inicia con el cálculo del valor de extensión sintética difusa o grado sintético difuso, de la matriz (tabla 5). En seguida, se aplican los principios de comparación de números difusos para determinar el grado de posibilidad de que un número difuso pueda ser mejor que otros, obteniendo así los vectores de peso (tabla 6). Finalmente, se realiza la normalización para obtener el vector de peso normalizado de dicha matriz (tabla 7).

### 3.6. Unificación de la priorización

De la valoración de los criterios y subcriterios se obtuvieron 8 matrices, una por cada experto, a partir de las cuales se construyó el vector normalizado unificado que se muestra en la tabla 8 y que representa el consolidado de las opiniones de los expertos.

Una vez obtenidos los vectores normalizados y unificados de cada criterio, se ponderaron con los calculados para los subcriterios, de lo cual resultan los pesos definitivos de cada subcriterio que se presentan en la tabla 9.

### 3.7. Aplicación de Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

La TOPSIS se fundamenta en el supuesto de que las alternativas que se evalúan pueden representarse por puntos en un espacio euclidiano  $n$ -dimensional, de tal forma que la mejor alternativa será aquella que tenga la distancia más corta a una alternativa identificada como solución ideal positiva y la peor alternativa será la que tenga la distancia más larga, y será identificada como antiideal o negativa. Esta técnica utiliza la distancia euclidiana para calcular las distancias entre las alternativas y las soluciones positiva y negativa, como se muestra a continuación.

$$d_E(x, y) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \tag{2}$$

Según García (2009), al tener el vector normalizado ponderado de la matriz de decisión, se determina la solución ideal positiva (conjunto de valores  $\bar{A}^+$ ) y la solución ideal negativa (conjunto de valores  $\bar{A}^-$ ) especificada por:

$$\bar{A}^+ = \{ \bar{v}_1^+, \dots, \bar{v}_n^+ \} = \left\{ \left( \max_i \bar{v}_{ij}, j \in J \right) \left( \min_i \bar{v}_{ij}, j \in J' \right) \right\} \tag{3}$$

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

$$\bar{A}^- = \{ \bar{v}_1^-, \dots, \bar{v}_n^- \} = \left\{ \left( \max_i \bar{v}_{ij}, j \in J' \right) \left( \min_i \bar{v}_{ij}, j \in J \right) \right\} \tag{4}$$

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

Donde  $j$  está asociado con los criterios de beneficio. Después se calculan las medidas de distancia, que equivalen a la

**Tabla 8**  
Vector unificado para los criterios

Vector normalizado unificado	
AE	0,201482121
AG	0,192787347
CF	0,22799489
CO	0,377735642

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 92).

**Tabla 9**  
Pesos de criterios y subcriterios

Criterio	Peso del criterio %	Subcriterio	Peso del subcriterio %
Alineación estructural	20,15%	Alineación cultural	4,68
		Alineación tecnológica	5,45
		Experiencia y confianza	10,01
Alineación de la gestión	19,28%	Compromiso con la calidad	9,64
		Responsabilidad social	3,72
		Alineación de estrategias	5,92
		Costos	11,10
Competencias financieras	22,80%	Estabilidad financiera	6,93
		Poder de negociación	4,76
		Entrega	15,12
Competencias operativas	37,77%	Servicio y flexibilidad	6,98
		Calidad en la distribución	10,58
		Trazabilidad de la carga	5,09

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 93).

**Tabla 10**  
Solución con método AHP Difuso y TOPSIS

	PR	Ranking
Proveedor 1	1,000	1
Proveedor 2	1,000	1
Proveedor 3	0,000	2

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 94).

separación de cada alternativa de la solución ideal positiva  $\bar{A}^+$ , dada como:

$$\bar{d}_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (5)$$

Y la separación de cada alternativa de la solución ideal negativa  $\bar{A}^-$  definida como:

$$\bar{d}_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (6)$$

En este caso se utiliza la distancia euclidiana  $m$ -multidimensional. Por último, se realiza el cálculo de la proximidad relativa a la solución ideal  $\bar{R}_i$ :

$$\bar{R}_i = \frac{\bar{d}_i^-}{\bar{d}_i^+ + \bar{d}_i^-}, i = 1, \dots, m \quad (7)$$

De tal forma que:

- Si  $\bar{R}_i = 1 \rightarrow A_i = \bar{A}^+$
- Si  $\bar{R}_i = 0 \rightarrow A_i = \bar{A}^-$

Por consiguiente, cuanto más próximo es el valor de  $\bar{R}_i$  a 1, implica una mayor prioridad de la alternativa  $i$ -ésima.

Con los pesos de los subcriterios presentados en la tabla 9 y los pesos de las alternativas de la tabla 10, se desarrolló el algoritmo de la TOPSIS, generando la solución que se presenta en la tabla 10.

#### 4. Análisis de resultados

Tal como se ilustra en la tabla 9, en el primer nivel de jerarquía, el criterio valorado con la mayor importancia es *competencias operativas* con un porcentaje del 37,77%, seguido por *competencias financieras* con un 22,80%; *alineación estructural* con 20,15% y finalmente *alineación en la gestión* con el 19,28%. Lo anterior permite inferir que, si bien el objetivo principal es la selección de un proveedor de transporte para conformar una alianza estratégica y

**Tabla 11**  
Relación de subcriterios más importantes

Subcriterios	Pesos %
Entrega	15,12
Costos	11,10
Calidad en la distribución	10,58
Experiencia y confianza	10,01
Compromiso con la calidad	9,64
Servicio y flexibilidad	6,98
Estabilidad financiera	6,93

Fuente: Urbano y Muñoz (2013, p. 95).

que la comparación de los criterios se realiza teniendo en cuenta este objetivo, los aspectos más significativos, según los expertos, corresponden a las actividades y habilidades propias de la operación logística, es decir, la capacidad del proveedor para brindar un servicio competitivo para la cadena de suministro de la empresa. Estos aspectos están valorados por encima de variables como las relacionadas con la compatibilidad cultural y tecnológica y los estilos de gestión, que son elementos fundamentales al momento de establecer una alianza.

En el segundo nivel de jerarquía, 7 de los 13 subcriterios totales obtuvieron las mayores puntuaciones, que representan el 70,38% del global, como se muestra en la tabla 11.

Se observa que 3 de los subcriterios de la tabla 11 hacen parte del criterio *competencias operativas* (entrega, calidad en la distribución y servicio y flexibilidad) y 2 del criterio de *competencias financieras* (costos y estabilidad financiera). Estos resultados reflejan nuevamente la relevancia que los expertos otorgan a las actividades propias de la prestación del servicio, seguidas por los aspectos financieros.

Al analizar los resultados del nivel 3 (alternativas) que se presentan en la tabla 10, se evidencia que los proveedores obtuvieron valoraciones muy parejas, incluso 2 de ellos con el mismo puntaje (proveedor 1 y 2), lo que denota que están en igualdad de condiciones para competir. Esto coincide con la realidad de la empresa, toda vez que la persona encargada de administrar los proveedores manifiesta que las empresas proveedoras que ocupan el primer lugar en la clasificación tienen capacidades competitivas y tamaños similares, y las condiciones del proveedor 3 no son muy distintas de las de los 2 primeros.

Con respecto al análisis de la consistencia de los juicios emitidos por los expertos, el modelo permite detectar estos inconvenientes en una etapa temprana del procesamiento, así los expertos pueden adquirir una mayor comprensión del problema y realizar nuevamente su valoración, afinando sus apreciaciones y mejorando la calidad de los juicios.



## 5. Conclusiones y recomendaciones

En general, las empresas requieren implementar y consolidar procesos de selección de proveedores cada vez más exigentes, bajo esquemas de asociatividad, alianzas y relaciones estables y duraderas, con el fin de incrementar la productividad y competitividad de toda la cadena de valor. Tarea compleja y difícil, que implica considerar las necesidades y requerimientos de los actores involucrados, lo que la convierte en un problema de decisión multicriterio que debe ser abordado desde el nivel estratégico de la organización.

El modelo propuesto representa significativamente la realidad de la problemática descrita, mediante una amplia revisión bibliográfica, un proceso de validación con expertos y su aplicación en una empresa real y se constituye como una herramienta matemática que contribuye a disminuir la subjetividad e incertidumbre propias del proceso de toma de decisiones, al combinar adecuadamente el AHP difuso y la TOPSIS.

Un proceso riguroso de selección exige disponer de un conjunto de alternativas (proveedores) que, además de prestar el servicio requerido, tengan características homogéneas que permitan realizar comparaciones equitativas. Se recomienda, entonces, desarrollar una estrategia tipo *Request for Information* para recopilar información clave de los proveedores potenciales, que sirva como filtro para identificar los candidatos a participar en el proceso de selección del aliado estratégico.

El modelo planteado es de fácil implementación, toda vez que el procesamiento de datos y el análisis de soluciones se puede realizar en Excel y, si bien el modelo ha sido concebido para proveedores estratégicos, es susceptible de modificaciones y ajustes de acuerdo con el tipo de proveedor y las condiciones de la empresa que desee aplicarlo. Se debe tener en cuenta que dichos ajustes deben ser realizados por un equipo de expertos, con cualidades analíticas y que tengan amplios conocimientos del servicio que se requiere y de las necesidades de la empresa.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Bruno, G., Esposito, E., Genovese, A. y Passaro, R. (2012). AHP-based approaches for supplier evaluation: Problems and perspectives. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 18(3), 159–172.
- Büyükoğuzkan, G., Kabraman, C. y Ruan, D. (2004). A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection. *International Journal of General Systems*, 33(2), 259–280.
- Büyükoğuzkan, G., Feyzioğlu, O. y Nebol, E. (2008). Selection of the strategic alliance partner in logistics value chain. *International Journal Production Economics*, 113(1), 148–158.
- Chan, F. y Chan, H. K. (2010). An AHP model for selection of suppliers in the fast changing fashion market. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(9), 1195–1207.
- Chan, F. y Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega The International Journal of Management science*, 35(4), 417–431.
- Çelebi, D., Bayraktar, D. y Bingöl, L. (2010). Analytical Network Process for logistics management: A case study in a small electronic appliances manufacturer. *Computers and Industrial Engineering*, 58(3), 432–441.
- Departamento Nacional de Planeación. (2007). *Política Nacional de Transporte Público Automotor de Carga. CONPES N.º 3489*. Bogotá D.C., Colombia: DNP.
- Deshmukh, A. J. y Chaudhari, A. (2011). A review for supplier selection criteria and methods. En K. Shah, V. R. Lakshmi Gorty, y A. Phirke (Eds.), *Communications in computer and information science, technology systems and management* (Vol. 145) (pp. 283–291). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Dowlatshahi, S. (2000). Designer-buyer-supplier interface: Theory versus practice. *International Journal of Production Economics*, 63(2), 111–130.
- Famuyiwa, O., Monplaisir, L. y Nepal, B. (2008). An integrated fuzzy-goal-programming based framework for selecting suppliers in strategic alliance formation. *International Journal of Production Economics*, 113(2), 862–875.
- Gadde, L. y Hulthén, K. (2009). Improving logistics outsourcing through increasing buyer-provider interaction. *Industrial Marketing Management*, 38(9), 633–640.
- García, M.S. (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y «Soft Computing». [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia.
- González, S., Mataix, C. y Carrasco, J. (2006). *Modelo de decisión multicriterio para la selección de un operador logístico con el que formar una alianza estratégica*. España: X Congreso de Ingeniería de Organización, Valencia.
- Hafeeza, K., Malak, N. y Zhang, Y. B. (2007). Outsourcing non-core assets and competences of a firm using analytic hierarchy process. *Computers and Operations Research*, 34(12), 3592–3608.
- Herrera, M. F. y Osorio, J. C. (2006). Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP difuso. *Estudios Gerenciales*, 22(99), 66–88.
- Ho, W., XiaoWei, X. y Prasanta, K. (2009). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16–24.
- Ho, W., He, T., Man Lee, C. y Emrouznejad, A. (2012). Strategic logistics outsourcing: An integrated QFD and fuzzy AHP approach. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10841–10850.
- İşiklar, G., Alptekin, E. y Büyükoğuzkan, G. (2007). Application of a hybrid intelligent decision support model in logistics outsourcing. *Computers and Operations Research*, 34(12), 3701–3714.
- Jayaram, J. y Tan, K. C. (2010). Supply chain integration with third-party logistics providers. *International Journal of Production Economics*, 125(2), 262–271.
- Kilinci, O. y Asli, S. (2011). Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9656–9664.
- Kudla, N. y Klaas-wissing, T. (2012). Sustainability in shipper-logistics service provider relationships: A tentative taxonomy based on agency theory and stimulus-response analysis. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 18, 218–231.
- Kulak, O. y Kahraman, C. (2005). Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process. *Information Sciences*, 170(2–4), 191–210.
- Liu, X. W. y Kang, Z. W. (2011). Research on supplier selection in supply chain management. *Communication in Computer and Information Science*, 208, 292–297.
- Liu, H. T. y Wang, W. K. (2009). An integrated fuzzy approach for provider evaluation and selection in third-party logistics. *Expert Systems with Applications*, 36(3 Part 1), 4387–4398.
- Mayer, K. y Teece, D. (2008). Unpacking strategic alliances: The structure and purpose of alliance versus supplier relationships. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 66(1), 106–127.
- Peng, J. (2012). Selection of logistics outsourcing service suppliers based on AHP. *Energy Procedia*, 17(Part A), 595–601.
- Pi, W. N. y Low, C. (2006). Supplier evaluation and selection via Taguchi loss functions and an AHP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27(5), 625–630.
- Reuven, L. (2008). Using the analytic hierarchy process to rank foreign suppliers based on supply risks. *Computers and Industrial Engineering*, 55(2), 535–542.
- Saldarriaga, D. L. (2010). Herramientas efectivas para gestionar el transporte. *Zona Logística*, (52), 18–22.
- Sarache, W., Castrillón, O. y Ortiz, L. (2009). Selección de proveedores: una aproximación al estado del arte. *Cuadernos de Administración*, 22(38), 145–167.
- Urbano, L. y Muñoz, S. (2013). *Modelo de decisión multicriterio para la selección y evaluación del desempeño de un aliado estratégico en la operación de carga terrestre*. [Tesis de maestría]: Universidad del Valle.
- Yew Wong, C. y Karia, N. (2010). Explaining the competitive advantage of logistics service providers: A resource-based view approach. *International Journal of Production Economics*, 128(1), 51–67.
- Zouggari, A. y Benyoucef, L. (2012). Simulation based fuzzy TOPSIS approach for group multi-criteria supplier selection problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(3), 507–519.