

***AHP Topsis* para la selección de proveedores considerando el riesgo asociado a la calidad**

AHP Topsis for supplier selection considering the risk of quality

Juan Carlos OSORIO Gómez [1](#); Jorge Luis GARCÍA Alcaraz [2](#); Diego Fernando MANOTAS Duque [3](#)

Recibido: 12/12/2017 • Aprobado: 15/01/2018

Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

El problema de selección de proveedores es un problema complejo que integra muchos atributos, muchos de los cuales se encuentran en conflicto o es difícil de medir. En este artículo se presenta una metodología multicriterio para seleccionar proveedores que integra el riesgo asociado a la calidad, está basada en las técnicas AHP difuso y TOPSIS. Además, ha sido validado con los datos de un caso real para la selección de un proveedor de empaques en la fabricación de bombas hidráulicas.

Palabras-Clave: Selección de proveedores, Riesgo en la Cadena de Suministro, AHP difuso, TOPSIS

ABSTRACT:

The supplier's selection is a critical activity for organizations. It has been widely accepted in academic literature that this problem has a clear strategic nature. We have developed a multicriterio approach to select suppliers in the field of supply chain considering the risks in quality to which the company may be exposed in connection with the selection. The model integrates Fuzzy Analytic Hierarchy Process with TOPSIS. The model has been validated in a real case.

Keywords: Supplier selection, supply chain risk, Fuzzy AHP, TOPSIS

1. Introducción

La gestión efectiva de la cadena de suministro (CS) involucra acciones, tanto a nivel de las organizaciones que la componen, como una adecuada coordinación entre los eslabones. Una actividad fundamental para que la gestión de la CS sea efectiva está relacionada con las decisiones acerca de los proveedores de materias primas y servicios, ya que de éstos dependen algunos resultados operativos de las organizaciones. Es por esto, que la problemática asociada a la selección de los proveedores ha ocupado el interés de los investigadores y se han desarrollado varios trabajos en los cuales se plantean múltiples metodologías y métodos para tomar esta decisión de la mejor manera posible.

Por otro lado, la gestión de los riesgos en la CS es un tema que viene creciendo en interés, tanto en el entorno industrial como en lo académicos. Para disminuir ese riesgo es importante iniciar su gestión desde el proceso de selección de proveedores, debido a que esta decisión está relacionada directamente con elementos que pueden incrementar o generar riesgos para la CS en su conjunto.

De acuerdo con (Chai, Liu, & Ngai, 2013), la selección de proveedores ha recibido una atención considerable debido al importante efecto en el éxito de la gestión de las CS. Por su parte (Hosseininasab & Ahmadi, 2015) definen que es una actividad estratégica y que establecer relaciones de largo plazo con los proveedores es muy benéfico para el comprador, ya que se obtienen ventajas tales como la estabilidad de sus planes futuros, la confiabilidad en cuanto a calidad de productos y tiempo de servicio, un mejor entendimiento de la CS, descuentos potenciales y una mejor utilización de los inventarios.

La elección de los proveedores no debe depender únicamente de su elegibilidad en el momento de la toma de decisiones, ya que es esencial predecir y analizar los últimos cambios y futuros de los proveedores, y eso justifica la necesidad de evaluar periódicamente y reemplazar los contratos existentes. La condición general del mercado tiene efectos distintivos y consecuencias sobre diferentes proveedores, por lo que es importante evaluar las relaciones con los mismos y sus cambios relativos en el tiempo, para asegurar una adecuada gestión de la CS (Hosseininasab & Ahmadi, 2015).

De acuerdo con (Liu, Zhou, & Zhu, 2011), la selección de proveedores es de suma importancia en la gestión de la CS y una tendencia moderna en la gestión de compras es reducir el número de éstos y establecer relaciones de largo plazo fundamentada en la confianza mutua, por lo que para disminuir el riesgo en este proceso, las empresas deben considerar todos los aspectos relacionados con el desempeño de su proveedor y no solamente la calidad o el precio.

Por lo anterior, se observa que a la hora de seleccionar un proveedor se deben considerar más de un criterio relacionado con dicha decisión. El problema se hace más complejo cuando se aprecia que estos criterios se encuentran en conflicto y que si bien, es posible encontrar un proveedor que responda de la mejor manera a un criterio, no hay en la mayoría de los casos, un proveedor que sea el mejor en todos los criterios analizados. Esta situación típica de la toma de decisiones multicriterio requiere entonces herramientas especializadas que permitan a la compañía tomar la mejor decisión global, es decir, aquella decisión que responda de la mejor manera al conjunto de criterios considerados.

Con respecto al tema del riesgo, el proceso de evaluar proveedores potenciales debe incluir el riesgo de interrupciones en la cadena operativa del productor, asociado a las características de cada uno de sus proveedores. El riesgo relacionado con las características de los proveedores involucra la desviación entre las expectativas del productor y el desempeño real de los proveedores (Levary, 2007, 2008).

De acuerdo con (Wu, Zhang, Wu, & Olson, 2010), en la actualidad, la selección de los proveedores no depende solamente del costo o la calidad, sino que existe una gran cantidad de factores asociados al riesgo que deben ser incorporados en la decisión, algunos de los cuales han sido identificados. Específicamente, (De Boer, Labro, & Morlacchi, 2001) presenta una importante revisión sobre los criterios utilizados en este proceso de toma de decisiones.

Otras revisiones importantes y que deben ser consideradas cuando se trata el tema de la selección de proveedores considerando el riesgo son (Govindan, Rajendran, Sarkis, & Murugesan, 2013; Ho, Xu, & Dey, 2010; Igarashi, de Boer, & Fet, 2013), ya que como lo menciona (Pfohl, Gallus, & Thomas, 2011), en la actualidad cada actividad de negocio está conectada con los riesgos y éstos no pueden ser eliminados, por lo tanto, las organizaciones necesitan administrar todos los factores que los incrementan y reducen, lo que permitirá lograr obtener ventajas estratégicas al mínimo costo (Borghesi; Gaudenzi, 2013). Así pues, la gestión del riesgo se ha convertido en la clave para evitar las pérdidas del negocio (Wee, Blos, & Yang, 2012).

Dentro de los riesgos operacionales se pueden ubicar los riesgos de suministro, es decir, aquellos riesgos asociados a las actividades propias del suministro por parte de los

proveedores a las organizaciones. Dentro de los principales trabajos en los cuales se consideran los riesgos de suministro se pueden mencionar (Avelar-Sosa, García-Alcaraz, & Castrellón-Torres, 2014; Elmsalmi & Hachicha, 2013; Mand, Singh, & Singh, 2013; Ouabouch & Amri, 2014).

Respecto a la utilización de técnicas multicriterio para la selección de proveedores considerando el riesgo en el proceso, se observó en la revisión de la literatura, que la herramienta más utilizada es el AHP (tanto solo como combinado) (Daim, Udbye, & Balasubramanian, 2013; Jayant, Gupta, Garg, & Khan, 2014; Kilincci & Onal, 2011; Kull & Talluri, 2008; Lee, 2009; Levary, 2007, 2008) seguido de TOPSIS (Mehralian, Gatari, Morakabati, & Vatanpour, 2012; Rouyendegh (Babek Erdebilli) & Saputro, 2014; Shemshadi, Toreihi, Shirazi, & Tarokh, 2011), sobre estos trabajos es importante mencionar que no solamente utilizan las herramientas planteadas, sino que además involucran el riesgo en el proceso de toma de decisión.

2. Metodología

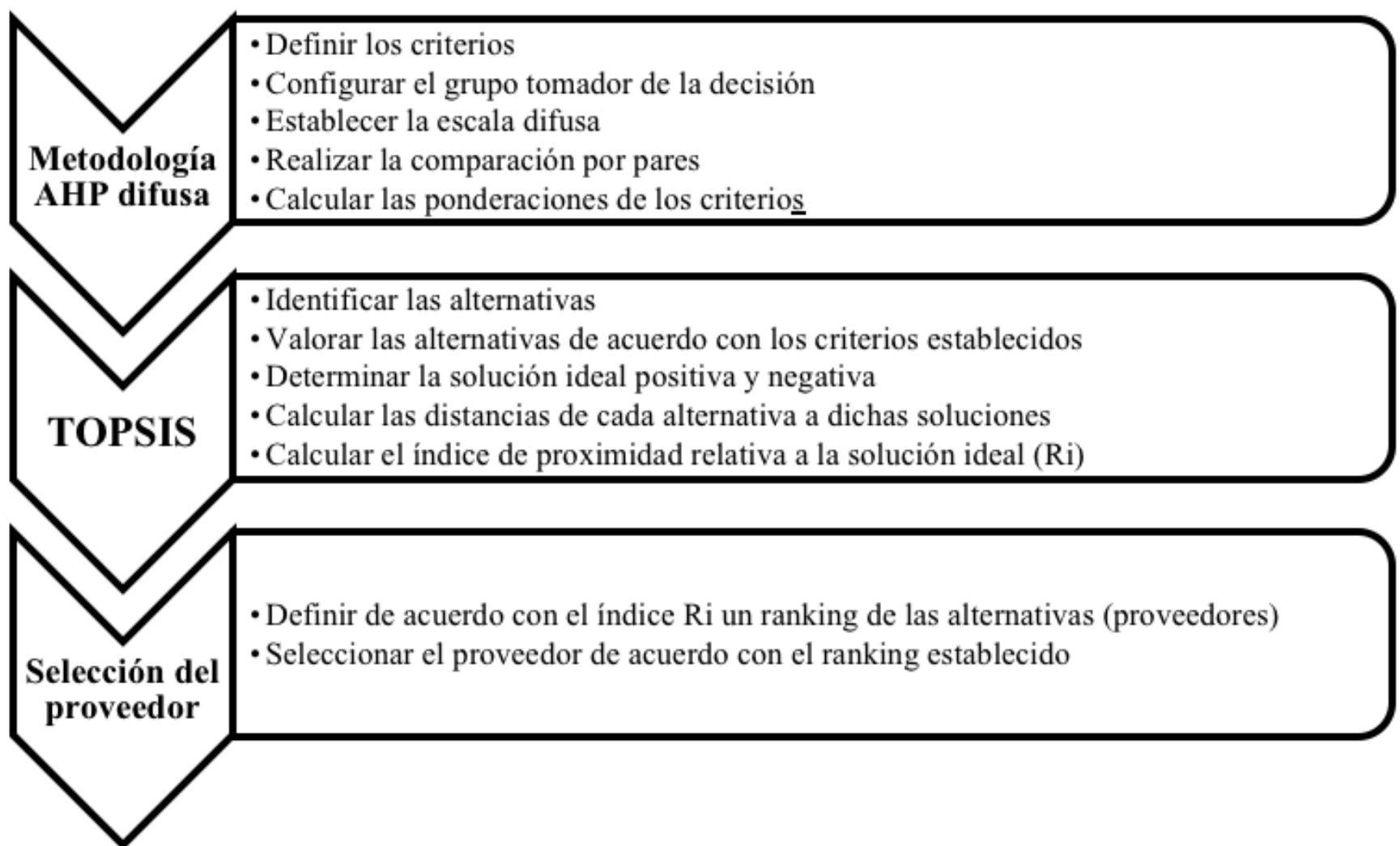
Se ha propuesto una metodología que combina dos importantes herramientas multicriterio de amplia utilización en los problemas de selección de proveedores, tales como el AHP difuso y TOPSIS. Se ha elegido la técnica AHP difuso debido a que de acuerdo con la revisión realizada es de las técnicas más usadas, recientemente se puede mencionar el trabajo de (Dweiri, Kumar, Khan, & Jain, 2016) quienes utilizan el AHP para un sistema de soporte a la toma de decisiones en la selección de proveedores para la industria automotriz.

Adicionalmente, estas técnicas han demostrado no sólo su utilidad para tomar la decisión, sino también la sencillez del modelo, mismo que involucra elementos matemáticos complejos que se han desarrollado de manera tal que la organización tome la decisión en un proceso sistemático y sencillo, lo cual es ampliamente requerido en el sector industrial (García Alcaraz, 2012) .

La utilización del AHP difuso permite establecer el nivel de importancia que tendrán los atributos del proveedor en la toma de decisión (Chan & Kumar, 2007; Kilincci & Onal, 2011; Lee, 2009). La técnica TOPSIS se utiliza para ordenar las alternativas y seleccionar la mejor de ellas; en este caso, el mejor proveedor para la organización. Esta selección se realiza, determinando las distancias positivas y negativas de las alternativas, frente a una solución ideal y seleccionando aquel proveedor que posea el mejor indicador, es decir, aquel que se encuentre lo más cerca posible de la solución positiva y lo más lejos de la solución negativa (Shemshadi et al., 2011; Swain, 2014).

En la Figura 1 se muestra el esquema metodológico propuesto, el cual se divide en tres fases: la aplicación del AHP difuso, la aplicación del TOPSIS y la selección final de los proveedores. Cada una de estas fases tiene un propósito y unas actividades que deben realizarse.

Figura 1
Esquema Metodológico.



Fuente: los autores

2.1. Metodología AHP difusa

Se utiliza el AHP difuso para establecer la ponderación de los criterios que serán considerados en la decisión, y para su obtención se desarrollan las siguientes actividades:

- 1.** Establecer los criterios que serán considerados. Es fundamental que la organización tenga claridad sobre cuáles son los criterios que serán evaluados en los candidatos a proveedor. Estos criterios deben responder a las necesidades de la organización y abarcar todos sus intereses. En esta propuesta además de los criterios tradicionales se ha incluido un criterio de riesgo que contemple los posibles efectos “nocivos” para la organización por consecuencia de sus proveedores (Levary, 2007, 2008).
- 2.** Integración de un grupo de decisión. Una vez definidos los criterios se integra un grupo de expertos (realmente estos dos pasos pueden ser paralelos y apoyar la definición de los criterios con el concepto de los expertos seleccionados).
- 3.** Ponderación de criterios. Cuando se tiene establecido el grupo de expertos y se han definido los criterios, se procede a ponderarlos mediante AHP, en el cual los expertos comparan por pares los criterios establecidos y definirán la importancia de los mismos. En este momento se utiliza la escala verbal que se presenta en la Tabla 1 y que ayuda a que los expertos mediante variables lingüísticas manifiesten sus preferencias entre los pares de criterios.

Aunque existen diferentes técnicas de AHP difuso relacionadas con el uso de números difusos triangulares para la comparación por pares, en este trabajo se aplica el método de Buckley, cuyos pasos son:

Los expertos realizan la comparación de los criterios haciendo uso de las variables lingüísticas usando los términos que se presentan en la tabla 1. Si no hay consenso entre los involucrados se calcula la media geométrica tal como lo plantea Saaty en su propuesta original.

Tabla 1
Escala de comparación para el AHP difuso

Escala Saaty	Escala Difusa	Escala difusa reciproca	Escala verbal
1	(1,1,1)	(1, 1, 1)	Igual importancia de ambos criterios.
3	(2,3,4)	(1/4, 1/3, 1/2)	Moderada importancia de un criterio sobre otro.
5	(4,5,6)	(1/6, 1/5, 1/4)	Fuerte importancia de un criterio sobre el otro.
7	(6,7,8)	(1/8, 1/7, 1/6)	Muy fuerte importancia de un criterio sobre el otro.
9	(8,9,9)	(1/9, 1/9, 1/8)	Extrema importancia de un criterio sobre el otro.
2, 4, 6, 8	(1,2,3) (3,4,5) (5,6,7) (7,8,9)	(1/3, 1/2, 1) (1/5, 1/4, 1/3) (1/7, 1/6, 1/5) (1/9, 1/8, 1/7)	Valores intermedios.

Fuente: (Herrera Umaña & Osorio Gómez, 2006)

La media geométrica de los valores de comparación difusos de cada criterio se calcula como se muestra en la ecuación 1.

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{1/n}, \quad i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

El peso difuso de cada criterio puede ser hallado a partir de la ecuación 2 a través de los siguientes sub-pasos:
Encontrar el vector suma de los \tilde{r}_i .

Encontrar el factor inverso del vector suma para números difusos triangulares.

Para encontrar el peso de los criterios (\tilde{w}_i), multiplicar cada \tilde{r}_i con el vector inverso hallado en el paso anterior.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} = (lw_i, mw_i, uw_i) \quad (2)$$

Como \tilde{w}_i es un número difuso triangular es necesario convertirlo en un número nítido, para lo cual se utilizará la ecuación 3. (Chen, Wang, & Chang, 2006).

$$M_i = \frac{l+4m+u}{6} \quad (3)$$

Una vez el número \tilde{w}_i es llevado a números nítidos, se normaliza mediante la ecuación 4.

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (4)$$

Es así como se define el vector N_i que equivale al peso relativo de los criterios de decisión, los cuáles serán utilizados en la segunda fase de la metodología.

La media geométrica de los valores de comparación difusos de cada criterio se calcula como se muestra en la ecuación 1.

El peso difuso de cada criterio puede ser hallado a partir de la ecuación 2 a través de los siguientes sub-pasos:

Encontrar el vector suma de los \tilde{r}_i .

Encontrar el factor inverso del vector suma para números difusos triangulares.

4. Se finaliza el proceso al valorar la consistencia lógica tal como lo plantea (Saaty, 1990). El resultado de esta primera fase será la ponderación de cada uno de los criterios definidos para la selección de los proveedores.

2.2. Aplicación del TOPSIS

Una vez obtenidas las ponderaciones de los criterios, se procede con la metodología TOPSIS para establecer el ranking de los proveedores. TOPSIS inicia con la evaluación de cada alternativa, es decir, se definen los valores de cada uno de los criterios definidos para los posibles proveedores. Esta definición puede ser cuantitativa de acuerdo con los datos que posea la organización o que los proveedores potenciales le suministren, o bien, cualitativa de acuerdo con el conocimiento que tengan los expertos de la empresa acerca de los posibles proveedores. En las características de las diferentes alternativas se representan como se indica en la ecuación 5, donde se tienen J criterios cuantitativos y L atributos cualitativos.

$$FDM = [OV, VST] = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^K \end{matrix} \begin{bmatrix} x^1_1 & \dots & x^1_J & x^1_{J+1} & \dots & x^1_{J+L} \\ x^2_1 & \dots & x^2_J & x^2_{J+1} & \dots & x^2_{J+L} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ x^K_1 & \dots & x^K_J & x^K_{J+1} & \dots & x^K_{J+L} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Las valoraciones en cada una de las alternativas son normalizadas. En este punto es importante mencionar que existen diferentes aproximaciones para la normalización, y que para esta propuesta se ha utilizado la normalización de acuerdo con la ecuación 6 que se presenta a continuación, basada en la norma euclidiana.

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n f_{ij}^2}} \quad (6)$$

Dónde:

r_{ij} es el valor normalizado para la calificación de la alternativa i frente al criterio j .

f_{ij} es el valor del indicador de cada alternativa i frente a cada indicador j .

Teniendo los valores normalizados se construye la matriz normalizada y ponderada con los pesos o niveles de importancia de los criterios establecidos en la fase 1 mediante la aplicación del AHP difuso. Se definen la solución ideal positiva y la solución ideal negativa, las cuales se integran con los mejores y peores valores de los criterios, respectivamente. Teóricamente, se desea tener la mínima distancia a la solución ideal positiva y la máxima distancia a la solución ideal negativa, tal como se indica en la ecuación 7 y ecuación 8.

$$A^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_{J+L}^+) \quad (7)$$

$$A^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_{J+L}^-) \quad (8)$$

Con los valores normalizados, se procede a calcular las distancias euclidianas de cada una de las alternativas (los posibles proveedores) a las soluciones ideal positiva y ideal negativa, tal como se indica en la ecuación 9 y ecuación 10, respectivamente.

$$\rho(A^k, A^+) = \|w \times (TA^k - TA^+)\| \quad (9)$$

$$\rho(A^k, A^-) = \|w \times (TA^k - TA^-)\| \quad (10)$$

Finalmente, se calcula el índice de proximidad relativa RC_i para cada una de las alternativas y se ordenan de menor a mayor, de acuerdo con la ecuación 11. Es importante aclarar en este punto, que si en el numerador se considerara la distancia a la solución ideal negativa el ordenamiento debería realizarse de mayor a menor, pues finalmente lo que se busca es tener la alternativa que esté lo más próxima posible a la solución ideal positiva y lo más lejano posible a la solución ideal negativa. En el caso de la ecuación 11 los valores más cercanos a cero son los que cumplen esta condición.

$$RC(A^+, A^i) = \frac{\rho(A^k, A^+)}{\rho(A^k, A^+) + \rho(A^k, A^-)} \quad (11)$$

2.3. Selección del proveedor

De acuerdo con el ranking establecido en la fase anterior, el encargado de tomar la decisión debe seleccionar al proveedor que mejor responda a todos los criterios establecidos de acuerdo con la importancia definida por la empresa para dichos criterios.

Si bien la idea básica es seleccionar el proveedor con menor puntaje, es importante aclarar que los demás valores le suministran información valiosa al encargado de tomar la decisión, pues en el caso de que se requiera más de un proveedor o que no se logren las negociaciones con el mejor valorado, se puede plantear si seleccionar el segundo del ranking (cuando sus valores no estén muy lejanos) o conseguir un nuevo conjunto de candidatos para volver a realizar el proceso de selección.

Finalizadas las tres fases, la compañía contará con un conjunto de proveedores potenciales valorados y tendrá los elementos necesarios para tomar la decisión. En el siguiente apartado se muestra una aplicación real de la metodología propuesta.

3. Resultados

Para la validación de la metodología propuesta se ha planteado el siguiente problema que ha sido planteado inicialmente por (García Alcaraz, 2012):

“Una empresa que se dedica a la fabricación de bombas sumergibles tiene que ensamblar varios componentes en su línea de producción. Dentro de ese proceso debe emplear un empaque que une dos corazas que mantienen un sistema eléctrico funcionando bajo el agua. La falla de este empaque se detecta por el corto circuito que se genera e inhabilita a la bomba, dejándola fuera de servicio. Para repararla, la bomba debe ser extraída para llevar a cabo el cambio de empaque y reemplazar el sistema eléctrico averiado. La empresa ha estado enfrentando problemas muy frecuentes con sus clientes dentro del plazo de garantía del equipo que ha vendido, lo que afecta su imagen, prestigio, pérdida de ventas y consecuentemente, pérdidas económicas en sus estados financieros. El porcentaje de bombas que debe reparar dentro del plazo de garantía por tal defecto es del 4%, con una inversión de \$28 583.89 pesos mexicanos por cada bomba dañada. Se procede entonces a aplicar la metodología propuesta en el capítulo anterior para proponer un proveedor para dicho empaque”.

3.1. Aplicación del AHP difuso

El primer paso entonces es la definición de los criterios frente a los cuales se toma la decisión. Con respecto a esto, existen en la literatura una gran cantidad de criterios, tanto cualitativos como cuantitativos que dependen en gran medida de la organización y sus políticas sobre los proveedores. En este caso particular y de acuerdo con el caso planteado se han asumido los siguientes criterios del caso propuesto en (García Alcaraz, 2012):

Servicio: Considera aspectos relacionados con la rapidez del servicio, la capacidad de respuesta tanto en la atención de pedidos como en la atención de solicitudes del cliente, entre otros; de acuerdo con la calificación de la empresa, son deseables valores altos en el servicio.

Confiabilidad (Riesgo de calidad): Se define como la probabilidad que el producto desempeñe su función en el tiempo y condiciones esperadas. En el caso de estudio se evalúa en horas de vida de acuerdo con pruebas realizadas. Se buscan valores altos, es decir el proveedor cuyas bombas tengan más horas de vida antes de la falla. Esta confiabilidad representa la probabilidad de que el proveedor no falle y por tanto el complemento de dicha confiabilidad equivale al riesgo que asume la empresa de que al fallar su proveedor se presenten problemas en sus operaciones. Por tanto, se considerará aquí el riesgo operacional al que está expuesta la compañía debido a la “falta” de confiabilidad de su proveedor. Si bien dicho riesgo no será cuantificado más allá del valor de confiabilidad establecido, es importante mencionar que a los expertos se les hizo claridad sobre este criterio y que está asociado al riesgo de la cadena como un todo.

Administración: Este atributo es subjetivo y se obtiene a partir de las valoraciones de los integrantes del grupo de decisión; de acuerdo con la escala utilizada por la organización, se

desean valores altos de este criterio.

Calidad: Se refiere a la calidad del producto y es medido por la cantidad de defectos (en porcentaje) que el cliente reporta en sus procesos, este atributo se busca minimizar.

Costo: Se refiere al costo del producto que será comprado. Está expresado en unidades monetarias y los valores mínimos son deseados.

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

Los valores de cada uno de los criterios para los seis proveedores que se están estudiando se pueden ver en la tabla 2.

Tabla 2
Valores de cada uno de los criterios para los posibles proveedores

Prov.	Costo	Calidad	Servicio	Administración	Tecnología	Confiabilidad
P1	185	6,5	6,2	6,8	6,4	12850
P2	290	7,5	7	7,4	7,2	13695
P3	310	7,6	6,8	7,6	7,6	12870
P4	245	6,5	7,4	7,2	7,8	11385
P5	325	7,55	7,2	8	7,2	11235
P6	235	6,85	7,6	7,6	8,2	12585

Fuente: (García Alcaraz, 2012)

Dando inicio al proceso del AHP difuso, se conformó el grupo de expertos, en este caso las personas de la organización involucradas con el proceso de compra y con la utilización de las bombas. Con los criterios definidos, se procedió a realizar la comparación por pares de la importancia relativa de acuerdo con el criterio, conocimiento y experiencia del grupo de expertos obteniéndose las siguientes ponderaciones para los criterios: Servicio 13.74%, confiabilidad 28%, administración 10.2%, calidad 16.79%, costo 21.18% y tecnología 10.09%. Adicionalmente el valor de consistencia lógica fue 0.054 lo que quiere decir que la matriz es consistente y por lo tanto los resultados son válidos. Con estos resultados se continúa con la segunda fase de la metodología propuesta la cual consiste en la aplicación del TOPSIS.

3.2. Aplicación del topsis

Partiendo de los valores presentados en la Tabla 2 y mediante la normalización establecida en la ecuación 6 se obtiene la matriz normalizada. Esta matriz se ponderó con los pesos definidos en la aplicación del AHP difuso y se obtuvo la matriz normalizada ponderada que se presenta en la Tabla 3. Adicionalmente en esta tabla se presentan la solución ideal positiva y la solución ideal negativa para cada uno de los criterios. Es importante destacar que en la definición de estas soluciones debe considerarse si lo que se busca con el criterio es tener valores altos (como el caso de la confiabilidad medida en horas promedio de duración) o valores bajos (como el caso de la calidad medida en porcentaje de defectuosos).

Tabla 3
Matriz normalizada ponderada y soluciones ideal negativa y positiva

Prov.	Costo	Calidad	Servicio	Administración	Tecnología	Confiabilidad
P1	0,0594	0,0627	0,0493	0,0381	0,0355	0,1178
P2	0,0931	0,0724	0,0557	0,0414	0,0400	0,1256
P3	0,0995	0,0734	0,0541	0,0425	0,0422	0,1180
P4	0,0786	0,0627	0,0589	0,0403	0,0433	0,1044
P5	0,1043	0,0729	0,0573	0,0448	0,0400	0,1030
P6	0,0754	0,0661	0,0605	0,0425	0,0455	0,1154
Sol. ideal positiva	0,0594	0,0627	0,0605	0,0448	0,0455	0,1256
Sol. ideal negativa	0,1043	0,0734	0,0493	0,0381	0,0355	0,1030

Se procede luego a calcular las distancias de cada una de las alternativas (los proveedores) a las soluciones ideales, tanto positiva como negativa, y se calcula el índice de proximidad relativa (RCi) para generar un ranking descendente en función de dicho índice. Es importante destacar que lo que se busca es tener la alternativa con los valores más cercanos a 0. Se obtiene entonces los resultados presentados en la Tabla 4 donde se aprecia que el valor menor de RCi lo tiene el proveedor 1 seguido por el proveedor 6.

Tabla 4
Resultado del TOPSIS

Proveedor	P6	P1	P4	P2	P3	P5
RCi	0,1759	0,2722	0,4882	0,5749	0,7007	0,8202

3.3. Selección del proveedor

Si bien es cierto que el menor puntaje ha sido obtenido por el proveedor No 6 (P6), los valores de RCi son relativamente altos para los proveedores 4, 2, 3 y 5 si se considera que el ideal sería un valor de 0, por tanto, dentro de estos posibles candidatos la mejor alternativa es el proveedor 6 seguido del proveedor 1. Si no se puede realizar el proceso con estos dos proveedores, valdría considerar otras alternativas en el futuro que permitiesen obtener un mejor valor, es decir, que cumplan de mejor manera frente al global de los criterios establecidos por la empresa.

Con esta metodología entonces, se han incorporado los elementos subjetivos de los expertos con los elementos cuantitativos de los criterios involucrados. Además, se ha incorporado el riesgo en la decisión, esta vez, considerando la confiabilidad del proveedor y el efecto que podría tener una falla del producto en el proceso.

4. Conclusiones

Aunque todavía quedan muchos elementos asociados al riesgo operacional en la cadena de suministro, este trabajo presenta una primera aproximación a su incorporación en una de las decisiones más importantes de las organizaciones actuales: la selección de sus proveedores,

donde, si bien existen elementos cuantitativos asociados a la selección de los proveedores, es importante involucrar en estas decisiones los juicios de los expertos, puesto que el conocimiento adquirido a lo largo de su trayectoria es un elemento determinante a la hora de tomar decisiones.

Se ha realizado la selección del mejor proveedor considerando todos los criterios relevantes para la compañía y de acuerdo con la importancia definida por los expertos involucrados en el proceso de toma de decisiones. Esta es una ventaja de la metodología propuesta, ya que, aunque es fácil de replicar, los resultados que ella brinda son resultados a la medida de las organizaciones dado que considera los criterios y ponderaciones de acuerdo con los intereses propios de cada compañía.

Se ha incorporado el riesgo en la decisión, específicamente el riesgo de calidad de cada uno de los proveedores involucrados. Es un primer paso que debe ser ampliado en futuros trabajos en los cuales no solamente se incluya este tipo de riesgo, sino también otros que puedan ser importantes para la empresa y la cadena en la que dicha organización participa.

Se han considerado en el proceso de evaluación, tanto criterios cuantitativos como cualitativos y se ha realizado una selección global que, si bien no puede ser denominada como óptima, es la que mejor responde a todos los criterios involucrados en el proceso considerando las alternativas existentes.

Referencias bibliográficas

- Antonio Borghesi; Barbara Gaudenzi. (2013). Risk management. How to Assess, Transfer and Communicate Critical Risks. doi:10.1016/B978-075066842-2/50007-3
- Chai, J., Liu, J. N. K., & Ngai, E. W. T. (2013). Expert Systems with Applications Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems With Applications*, 40(10), 3872–3885. doi:10.1016/j.eswa.2012.12.040
- Chan, F. T. S., & Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35, 417–431. doi:10.1016/j.omega.2005.08.004
- Chen, S. H., Wang, S. T., & Chang, S. M. (2006). Some properties of graded mean integration representation of L-R type fuzzy numbers. *Tamsui Oxford Journal of Information and Mathematical Sciences*, 22(2), 185–208.
- Daim, T. U., Udbye, A., & Balasubramanian, A. (2013). Use of analytic hierarchy process (AHP) for selection of 3PL providers. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(1), 28–51. doi:10.1108/17410381311287472
- De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, 75–89. doi:10.1016/S0969-7012(00)00028-9
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., & Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273–283. doi:10.1016/j.eswa.2016.06.030
- Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2013). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 98, 66–83. doi:10.1016/j.jclepro.2013.06.046
- Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16–24. doi:10.1016/j.ejor.2009.05.009
- Hosseinasab, A., & Ahmadi, A. (2015). Selecting a supplier portfolio with value , development , and risk consideration. *European Journal of Operational Research*, 245(1), 146–156. doi:10.1016/j.ejor.2015.02.041
- Igarashi, M., de Boer, L., & 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(4), 247–263. doi:10.1016/j.pursup.2013.06.001

- Jayant, A., Gupta, P., Garg, S. K., & Khan, M. (2014). TOPSIS-AHP based approach for selection of reverse logistics service provider: A case study of mobile phone industry. *Procedia Engineering*, 97, 2147–2156. doi:10.1016/j.proeng.2014.12.458
- Kilincci, O., & Onal, S. A. (2011). Expert Systems with Applications Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. *Expert Systems With Applications*, 38(8), 9656–9664. doi:10.1016/j.eswa.2011.01.159
- Kull, T. J., & Talluri, S. (2008). A Supply Risk Reduction Model Using Integrated Multicriteria Decision Making. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55(3), 409–419. doi:10.1109/TEM.2008.922627
- Lee, a. H. I. (2009). A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2879–2893. doi:10.1016/j.eswa.2008.01.045
- Levary, R. R. (2007). Ranking foreign suppliers based on supply risk. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12, 392–394. doi:10.1108/13598540710826317
- Levary, R. R. (2008). Using the analytic hierarchy process to rank foreign suppliers based on supply risks. *Computers and Industrial Engineering*, 55, 535–542. doi:10.1016/j.cie.2008.01.010
- Liu, L., Zhou, Y., & Zhu, H. (2011). A conceptual framework for vendor selection based on supply chain risk management from a literature, 1(3), 1–8.
- Luis, J. (2012). Selección de proveedores basada en análisis dimensional, 58(3), 249–278.
- Mehralian, G., Gatari, A. R., Morakabati, M., & Vatanpour, H. (2012). Developing a suitable model for supplier selection based on supply chain risks: An empirical study from Iranian pharmaceutical companies. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 11(November 2011), 209–219.
- Pfohl, H., Gallus, P., & Thomas, D. (2011). Interpretive structural modeling of supply chain risks. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(9), 839–859. doi:10.1108/09600031111175816
- Rouyendegh (Babek Erdebilli), B. D., & Saputro, T. E. (2014). Supplier Selection Using Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP: A Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 3957–3970. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.874
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9–26.
- Shemshadi, A., Toreihi, M., Shirazi, H., & Tarokh, M. J. (2011). Supplier selection based on supplier risk: An ANP and fuzzy TOPSIS approach. *Science*, 1(1), 111–121.
- Swain, D. P. (n.d.). SUPPLIER SELECTION IN RISK CONSIDERATION: A FUZZY BASED TOPSIS, (110), 0–25.
- Umaña, H., Fernanda, M., Gómez, O., & Carlos, J. (2006). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21209903>.
- Wee, H. M., Blos, M. F., & Yang, W. (2012). Risk Management in Logistics. In *Handbook on Decision Making* (pp. 285–305). Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-25755-1_15
- Wu, D. D., Zhang, Y., Wu, D., & Olson, D. L. (2010). Fuzzy multi-objective programming for supplier selection and risk modeling: A possibility approach. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 774–787. doi:10.1016/j.ejor.2009.01.026

1. Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Profesor Titular. Grupo de Investigación en Logística y Producción. Juan.osorio@correounivalle.edu.co

2. Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Profesor Investigador. jorge.garcia@uacj.mx

3. Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Profesor Titular. Grupo de Investigación en Logística y Producción. diego.manotas@correounivalle.edu.co

[Índice]

[En caso de encontrar un error en esta página notificar a [webmaster](#)]