

SELECCIÓN DE PROVEEDORES USANDO EL DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD DIFUSA

JUAN CARLOS OSORIO*
DIANA CAROLINA ARANGO**
CHRISTIAN ERNESTO RUALES***

RESUMEN

Este trabajo plantea una metodología multicriterio para la selección de los proveedores enmarcada en un proceso de certificación con el enfoque de la norma ISO 9001:2000, utilizando QFD-difuso como herramienta para la toma de decisiones. El modelo contempla las necesidades y expectativas del comprador y considera como elemento fundamental del proceso el conocimiento que tiene la compañía tanto de los materiales y procesos como de los proveedores candidatos para ser seleccionados. Este modelo fue aplicado en una empresa manufacturera en Colombia.

PALABRAS CLAVE: certificación de proveedores; decisión multicriterio; norma ISO 9001:2000; QFD difuso.

SUPPLIER SELECTION USING FUZZY QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

ABSTRACT

This paper presents a multicriteria methodology for supplier selection framed in a certification process with the approach of ISO 9001:2000 standard, using fuzzy QFD as a tool for decision making. The model takes

* Ingeniero Industrial y Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad del Valle. Profesor Asociado, Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística, Universidad del Valle. Cali, Colombia. josorio@pino.univalle.edu.co

** Ingeniera Industrial, Universidad del Valle. Coordinador de Almacenes, Fanalca S. A. Yumbo, Colombia. carolf85_05@yahoo.com

***Ingeniero Industrial y Especialista en Finanzas, Universidad del Valle. Coordinador de Calidad, EMAS Empresa Metropolitana de Aseo de Pasto. Pasto, Colombia. cerch85@hotmail.com

into account the needs and expectations of the buyer and considers as a fundamental element of the process the knowledge that the company has about has both about the materials and processes, and candidate suppliers to be selected. This model was applied in a manufacturing company in Colombia.

KEYWORDS: supplier certification; multicriteria decision; ISO 9001:2000 standard; fuzzy QFD.

SELEÇÃO DE FORNECEDORES USANDO O DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO DE QUALIDADE DIFUSA

RESUMO

Este trabalho propõe uma metodologia multicritério para a seleção dos fornecedores enquadrada em um processo de certificação com a focagem da norma ISO 9001:2000, utilizando QFD difuso como ferramenta para a tomada de decisões. O modelo contempla as necessidades e expectativas do comprador e considera como elemento fundamental do processo o conhecimento que a empresa tem tanto dos materiais e processos como dos fornecedores candidatos para ser selecionados. Este modelo foi aplicado em uma empresa manufatureira na Colômbia.

PALAVRAS-CÓDIGO: certificação de fornecedores; decisão multicritério; norma ISO 9001:2000; QFD difuso.

1. INTRODUCCIÓN

Las compañías son conscientes de que garantizar productos de calidad y servicios acordes con las exigencias del cliente no solamente es posible con la optimización de sus procesos internos, sino que debe incluir los procesos externos relacionados con las entradas de materiales e insumos a la empresa. De allí, la necesidad de contar con proveedores confiables que permitan un buen desempeño del proceso en general.

Según la norma ISO 9001, la organización debe evaluar y seleccionar los proveedores en función de su capacidad para suministrar productos de acuerdo con los requisitos de la organización; deben establecerse los criterios para la selección, la evaluación y la reevaluación y deben mantenerse los registros de los resultados de las evaluaciones y de cualquier acción necesaria que se derive de ellas.

Con un modelo de certificación de proveedores se forjará una relación de trabajo en equipo, fomentando el entendimiento mutuo cliente-proveedor, al mismo tiempo que se reconocerá la independencia de cada una de las partes.

De conformidad con esto, se plantea una metodología utilizando el despliegue de la función de calidad difusa (QFD por sus siglas en inglés) para el proceso de selección de los proveedores. Se busca dotar a la organización de una herramienta multicriterio para la toma de decisiones. Específicamente, esta metodología integra información del proveedor que el personal responsable de la empresa considera importante para el buen desempeño de su labor y el mejoramiento mutuo.

Se presentan en la sección 2 elementos teóricos sobre la selección de proveedores y algunos modelos importantes para considerar, en la sección 3 se muestra el modelo propuesto que integra el QFD difuso. Finalmente, en la sección 4 se exponen las conclusiones y se plantean futuras aplicaciones.

2. SELECCIÓN DE PROVEEDORES Y PRINCIPALES MODELOS

La selección de proveedores puede verse como una toma de decisión multicriterio, en la cual se necesitan herramientas que aporten una mejor comprensión de los factores que influyen en la decisión, así como de las preferencias existentes.



La evaluación de desempeño del proveedor debe ser un proceso flexible, que permita evaluar las diferentes características de calidad y oportunidad de un producto o servicio prestado y la gestión de un proveedor. La empresa debe hacer seguimiento y acompañamiento a los planes de mejora que se generen de las evaluaciones hechas al proveedor y llevar control sobre toda la información generada por estos procesos, para decidir acerca de futuras negociaciones con los proveedores y la certificación (Herrera y Osorio, 2006).

El desarrollo de un programa de certificación de proveedores presume que la organización fije determinadas reglas de operación con el proveedor, de modo que se pueda definir un programa de trabajo para facilitar los intercambios, establecer políticas adecuadas de formas y plazos de pago, tiempos de entrega y especificaciones técnicas de calidad.

El proceso de selección de proveedores es un problema típico multicriterio que involucra factores tanto cualitativos como cuantitativos. Para abordarlo algunos autores han asumido gran variedad de técnicas, desde la programación lineal de múltiples objetivos hasta métodos probabilísticos (Ghodsypour y O'Brien, 2001; Amid, Ghodsypour y O'Brien, 2006; Farzipoor, 2007; Liao y Rittscher, 2007a, 2007b; Sanayei *et al.*, 2008; Amid, Ghodsypour y O'Brien, 2009; Guneri, Yucel y Ayyildiz, 2009; Kheljani, Ghodsypour y O'Brien, 2009; Wu *et al.*, 2009). Al fundamentarse en datos puramente matemáticos, estas técnicas presentan desventajas notorias cuando son requeridas para considerar factores cualitativos, que son muy importantes en la selección de proveedores, en especial cuando se necesita desarrollar estrategias de dirección y gestión de la cadena de abastecimiento, por ello se diseñan combinaciones de estos métodos matemáticos con herramientas multicriterio tales como el Analytic Hierarchy Process (AHP) (Ghodsypour y O'Brien, 1998; Handfield *et al.*, 2002; Dulmin y Mininno, 2003; Chan y Kumar, 2007; Ng, 2008; Kokangul y Susuz, 2009; Lee *et al.*, 2009). En los últimos años se encuentran también algunos planteamientos destacados con respecto al

uso de Quality Function Deployment –QFD– (Amin y Razmi, 2006; Bevilacqua, Ciarapica y Giacchetta, 2006).

Entre estos últimos, se ha tomado el modelo de Bevilacqua, Ciarapica y Giacchetta (2006), quienes proponen la integración de la lógica difusa y el QFD para captar la imprecisión inherente y facilitar el análisis de la información de la matriz HOQ (House of Quality). Aunque no es el primer trabajo en incorporar elementos difusos (Lee, 2009; Önüt, Kara e Işık, 2009; Zhang *et al.*, 2009), sí corresponde a unos pocos que integran el QFD y la lógica difusa para este problema específico (Amin y Razmi, 2006; Bevilacqua, Ciarapica y Giacchetta, 2006). El modelo se fundamenta en el análisis de las características internas de los proveedores, centrándose en las especificaciones de ingeniería críticas, los “CÓMO”, con el propósito de alcanzar las características deseadas de los productos, los “QUÉ”. La metodología desarrollada en este artículo considera estos elementos y hace parte integral de un sistema de certificación de proveedores diseñado para una empresa manufacturera de Colombia; sin embargo, se omite la información de dicha empresa por razones de confidencialidad, además, se considera que este trabajo puede tomarse como un referente general, fácilmente repetible en cualquier tipo de organización.

3. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES

El proceso de selección diseñado considera la aplicación de la teoría de la casa de la calidad o modelo QFD con integración de la lógica difusa; esto le permite a la compañía contar con una herramienta que correlaciona todos los factores críticos en el proceso de compras, partiendo de apreciaciones subjetivas de los conocedores e interesados en el proceso sobre la relevancia de cada uno de los criterios involucrados en la toma de decisiones.

El fundamento del proceso de selección desarrollado es el análisis de las características propias de cada proveedor relevantes para la compañía,

con el propósito de encontrar uno que alcance el cumplimiento de las especificaciones internas establecidas por ella.

El primer paso para el desarrollo del proceso de selección de proveedores propuesto es definir los criterios con que se evaluarán los proveedores, los cuales representan las variables críticas para la toma de decisiones. El grupo de variables definidas responde a todas las necesidades y preocupaciones que la compañía ha experimentado en su actividad de compras, así mismo se complementan con aquellas que en la literatura han sido expresadas como básicas en un modelo de selección.

El primer grupo de criterios definidos corresponde al conjunto de características internas que deben satisfacer los proveedores para entablar una relación de cooperación con la empresa; y el segundo grupo representa las características propias que deben integrar los productos o servicios suministrados.

Con los dos grupos de criterios establecidos, el equipo multidisciplinario de decisión emitirá apreciaciones de relevancia para cada proveedor analizado, que más tarde el modelo correlacionará para dar el resultado óptimo. Todos los criterios de selección definidos serán evaluados por medio de la información suministrada por los proveedores en el momento de su inscripción con la empresa, según sea la criticidad de la compra.

A continuación se describen cada uno de los criterios de selección enfocados al *proveedor*, que son requeridos por la compañía colombiana donde esta metodología fue desarrollada, los cuales representan las características internas con que deben contar los proveedores para entablar una relación de cooperación con la organización. Cabe anotar que, dependiendo de la organización, podrán incluirse otros y descartarse algunos de los que aquí se proponen. Del mismo modo se expone la forma como serán considerados por la compañía en el proceso de selección.

Sistema de gestión de calidad. El proveedor deberá demostrar su habilidad para establecer, documentar e implementar un sistema de gestión de calidad efectivo.

Capacidad administrativa. Se busca que los proveedores cuenten con madurez administrativa que les permita entablar una relación de cooperación basada en el mantenimiento de niveles óptimos de calidad, costos y servicios.

Desempeño comercial. La organización requiere un proveedor que sea rentable para la compañía, en términos de descuentos y plazos de pago. Esta flexibilidad propia de cada proveedor demuestra su estabilidad comercial y brinda un respaldo de confianza en términos económicos.

Estabilidad financiera. Se debe requerir que los proveedores tengan una posición financiera estable y sólida, lo cual es un buen indicador en el momento de hacer negociaciones a largo plazo; también ayuda para que los estándares de desempeño puedan ser mantenidos y que los productos continúen disponibles.

Tratamiento de quejas y reclamaciones. El proveedor debe desarrollar estrategias efectivas para resolver quejas e inquietudes, investigar sus causas y, por ende, mejorar el servicio prestado a la empresa de manera continua.

Posicionamiento geográfico, centros de distribución y soporte técnico. La organización debe contar con proveedores eficientes, indiferentemente de su procedencia, teniendo en cuenta que el posicionamiento geográfico puede influir en los tiempos de entrega, costo en fletes-seguros y documentación legal.

Procesamiento de la información en el manejo de pedidos en línea. Todos los proveedores deben contar con un sistema de manejo de la información confiable que permita observar el estado de cumplimiento de los pedidos de compra, remisiones y sistema de inventario.



Investigación y desarrollo. Se busca seleccionar proveedores que se encuentren fuertemente relacionados con la investigación y el desarrollo de sus productos.

Capacidad instalada de producción. El estudio de la capacidad es fundamental para la gestión empresarial en cuanto permite analizar el grado de uso de cada uno de los recursos en la organización y así tener oportunidad de optimizarlos.

Con respecto a los criterios que se exponen con el enfoque de *producto o servicio*, se cuentan todas las características esenciales que deben satisfacer los productos o servicios suministrados a la organización. Estos criterios son inherentes a cada producto suministrado y son de gran importancia dentro del modelo de selección, ya que deben ser evidenciados con pruebas específicas o indicadores de desempeño.

Especificaciones técnicas del producto. El proveedor deberá asegurar que el producto proporcionado cumple con todas las especificaciones de materiales incluidas en el plano del producto u orden de compra. Se requieren certificaciones de materiales que contengan los resultados medidos durante la producción.

Precio de venta. Se busca que los proveedores tengan un comportamiento estable en relación con la fluctuación del precio de los productos ofrecidos. Así mismo busca que los precios manejados por el proveedor sean competitivos según el mercado.

Desempeño logístico. Todo proveedor deberá asegurar que las actividades de desarrollo logístico se planean y se llevan a cabo durante las etapas del ciclo de vida del producto, de este modo garantizará la satisfacción de las especificaciones de la compañía respecto al cumplimiento de los pedidos y los tiempos de entrega.

Cumplimiento de órdenes de compra. Los proveedores deberán garantizar el cumplimiento de las órdenes de compra en relación con las especificaciones técnicas y con la cantidad solicitada.

Tiempos de entrega. Los proveedores potenciales deberán verificar si su capacidad logística les permite cumplir las exigencias de la compañía referentes al producto suministrado.

Servicio al cliente. Se tendrá presente el soporte comercial, técnico y logístico que el proveedor pueda suministrar.

Con estos criterios definidos, se procede a plantear la metodología para la selección de los proveedores. Para su desarrollo, es necesario por parte de la compañía incluir un grupo multidisciplinario, que permita definir correctamente los objetivos del proceso que se desea trabajar, así como los criterios de control que guíen correctamente el buen desarrollo del sistema y, por ende, la coherencia y fiabilidad de los resultados. Por lo tanto, el equipo multidisciplinario es el encargado de desarrollar los pasos 1, 2, 4, 6, 7 del modelo de selección de proveedores desde un punto de vista subjetivo.

Con respecto al equipo multidisciplinario, deberá estar formado por las personas responsables de las compras en la compañía; si dicho grupo es muy numeroso, se sugiere nombrar un comité de máximo 5 personas para que realicen las actividades propias de esta metodología. Aunque el criterio de cada uno es libre y tiene el mismo peso en la decisión, se precisa que cada uno de los integrantes tenga conocimiento real tanto de los productos y su incidencia en la compañía, como de los proveedores que se estén evaluando.

3.1 Paso 1: Identificar los “qué” o variables internas

El equipo multidisciplinario debe definir el conjunto de atributos básicos que deben cumplir los productos comprados para satisfacer todos los requisitos técnicos de calidad, capacidad y costo establecidos por la compañía. Éstos se deben ubicar en la matriz A del método QFD, la cual aparece en la figura 1.

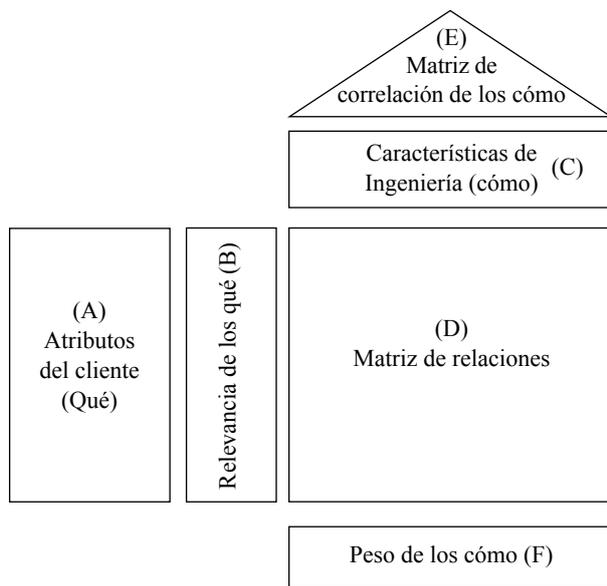


Figura 1. Modelo matricial Fuzzy QFD (NTC, 2000)

3.2 Paso 2: Identificar los criterios relevantes para la evaluación de los proveedores. “Cómo” o variables externas

Estos criterios son considerados las variables externas del modelo y se definen por el equipo multidisciplinario por medio de su conocimiento y experiencia. Corresponden a un conjunto de atributos o criterios con los que se evalúa a todos los posibles proveedores, permitiendo realizar una futura escala de clasificación. Su definición precisa es fundamental para el desarrollo del modelo de selección de proveedores. Los criterios definidos para la evaluación de los proveedores o variables externas constituyen la matriz F del método QFD, tal como se aprecia en la figura 1.

3.3 Paso 3: Determinar la importancia relativa de las variables internas

Cada uno de los integrantes del equipo multidisciplinario deberá determinar el nivel de importancia o peso de cada “qué”, por medio de una variable

lingüística tal como se ejemplifica en la tabla 1. En este caso se emplean cinco niveles de calificación:

- Muy Bajo: MB
- Bajo: B
- Medio: M
- Alto: A
- Muy Alto: MA

Para cuantificar las valoraciones dadas en términos lingüísticos por el equipo multidisciplinario, se hace uso de la lógica difusa, en particular de los números difusos triangulares siguiendo la función mostrada en la figura 2, donde:

$$MB \rightarrow (0, 1, 2); B \rightarrow (2, 3, 4); M \rightarrow (4, 5, 6); A \rightarrow (6, 7, 8); MA \rightarrow (8, 9, 10)$$

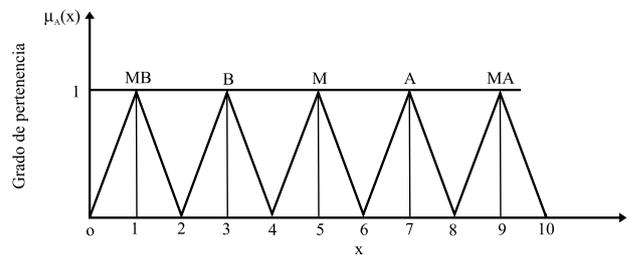


Figura 2. Escala lingüística de calificación de importancia relativa (Bevilacqua, Ciarapica y Giacchetta, 2006)

Tabla 1. Importancia relativa de las variables internas

Variables internas (Qués)	Miembros del equipo multidisciplinario			
	M_1	M_2	...	M_n
Q_1	MB	MA	...	A
Q_2	MB	M	...	B
\vdots			...	
Q_k	M	MA	...	A

De esta forma, la variable lingüística M contiene elementos de grado $XL = 4$ (mínimo valor tomado por la izquierda del eje X) a grado $XR = 6$ (máximo valor tomado a la derecha en el eje X), con



un máximo nivel de pertenencia en $XC = 5$ (valor central del número difuso triangular).

Ahora bien, para determinar la importancia relativa o peso de cada “qué”, una vez estén asignadas las calificaciones de todos los miembros del equipo multidisciplinario, se aplica la ecuación 1:

$$Peso_{Que} = \{w_i, \text{donde } i = 1, \dots, k\} \quad (1)$$

$$w_i = \frac{1}{n} \otimes (w_{i1} \oplus w_{i2} \oplus \dots \oplus w_{in})$$

Donde los operadores \oplus y \otimes corresponden a la suma y multiplicación de números difusos; k es el número de variables internas y n el número de miembros del equipo multidisciplinario. Cada elemento del vector $Peso_{Que}$ es un número difuso triangular definido por el conjunto $w_i = (w_{i\alpha}, w_{i\beta}, w_{i\gamma})$. Los pesos finales obtenidos al incorporar las apreciaciones de todos los miembros del equipo multidisciplinario forman la matriz de referencia B del modelo QFD (ver figura 1).

3.4 Paso 4: Determinar los niveles de correlación entre los “qué-cómo”, variables internas y externas

Este punto es fundamental para el desarrollo del modelo QFD, porque plantea el eslabón entre la definición de las variables internas y externas que afectan de igual forma el proceso de toma de decisiones.

Cada miembro del equipo multidisciplinario es responsable de emitir un juicio subjetivo sobre el impacto que tiene cada variable externa, o variable referente a los proveedores, sobre cada una de las variables internas, que constituyen el conjunto de requisitos de la empresa.

De nuevo las opiniones emitidas por los miembros del equipo multidisciplinario deben ser expresadas empleando una de las cinco variables lingüísticas descritas, como se ejemplifica en la tabla 2, para luego cuantificarlas por medio de los números difusos triangulares.

Para determinar el impacto total de cada variable externa sobre cada variable interna, consolidando las opiniones de los miembros del equipo multidisciplinario, se aplica la ecuación 2:

$$Correlación = \left\{ r_{ij}, \text{donde } i = 1, \dots, k, \right. \quad (2)$$

$$\left. j = 1, \dots, m \right\}$$

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \otimes (r_{ij1} \oplus r_{ij2} \oplus \dots \oplus r_{ijn})$$

Donde m es el número de variables externas y k y n son el número de variables internas y el número de miembros del equipo multidisciplinario, tal como se había dicho. De esta forma se consolida la matriz de relaciones D del modelo QFD (ver figura 1), donde cada elemento r_{ij} representa el valor de correlación consolidado entre cada i^o QUÉ y cada j^o CÓMO y está representado por un número triangular difuso definido por el conjunto $r_{ij} = (r_{ij\alpha}, r_{ij\beta}, r_{ij\gamma})$.

Tabla 2. Correlación entre las variables internas y externas

Variables Internas (Qués)	Variables externas (Cómos)									
	C_1			C_2			...	C_m		
	Miembros del equipo multidisciplinario									
	M_1	M_2	M_n	M_1	M_2	M_n	...	M_1	M_2	M_n
Q_1	MA	M	M	MA	B	B	...	B	A	M
Q_2	A	MA	A	MA	MB	MA	...	MB	MB	A
\vdots	B	M	B	B	A	M	...	M	A	M
Q_k	MA	B	MA	M	M	A	...	A	B	MA

3.5 Paso 5: Cuantificar la importancia relativa de cada variable externa “Cómo”

El cálculo de la importancia relativa de cada variable externa corresponde al promedio de los valores consolidados de correlación r_{ij} con los valores consolidados de la importancia relativa de cada variable interna w_i , de acuerdo con la ecuación 3, donde se acogen las convenciones habituales para k y m :

$$Peso_{como} = \{W_j, \text{donde } j = 1, \dots, m\}, \quad (3)$$

$$W_j = \frac{1}{k} \otimes [(r_{j1} \otimes w_1) \oplus \dots \oplus (r_{jk} \otimes w_k)]$$

Cada elemento W_j del vector $Peso_{como}$ representa la importancia relativa de cada variable externa o atributo de los proveedores y se encuentra definida por medio de la función de números difusos triangulares $W_j = (W_{j\alpha}, W_{j\beta}, W_{j\gamma})$, consolidando la matriz F del modelo QFD (ver figura 1).

3.6 Paso 6: Desarrollar la matriz de correlaciones entre las variables externas

Esta matriz corresponde al panel triangular de la figura 1 y permite a los miembros del comité de certificación señalar el nivel de correlación entre pares de criterios enfocados al proveedor que requieren un mejoramiento paralelo, con el fin de tener una perspectiva más integral del desarrollo de los proveedores.

Las relaciones establecidas en esta matriz permiten conocer el efecto que un incremento o mejora de un criterio tiene sobre los demás; ignorar estas interacciones podría llevar a que, en aras de lograr una mejora, se alteraran negativamente otros criterios iguales o más importantes, constituyéndose en una información crítica y fundamental para el mejoramiento de los proveedores.

A diferencia de las matrices anteriores, los valores registrados no se aplican para cálculos matemáticos, sino que representan una guía para el mejoramiento del proveedor seleccionado, por lo tanto, para indicar el nivel de correlación se emplean los símbolos definidos en la tabla 3, como se aprecia en la figura 3.

Tabla 3. Escala de calificación de matriz de correlación de variables externas

⊙	Correlación muy positiva	Ambos criterios se mueven en el mismo sentido
○	Correlación positiva	
X	Correlación negativa	Los criterios se mueven en sentido contrario
⊗	Correlación muy negativa	

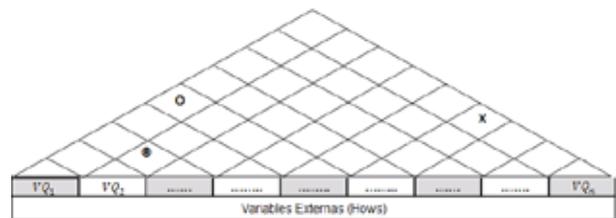


Figura 3. Matriz de correlación de variables externas. Techo del modelo QFD

3.7 Paso 7: Determinar el impacto de cada proveedor potencial sobre los atributos considerados

Una vez se consolida la ponderación final para cada variable externa, todos los miembros del comité decisorio valoran al conjunto de proveedores potenciales en relación con cada variable externa, como se muestra en la tabla 4, para combinar estos resultados con las ponderaciones pertinentes y determinar una clasificación final de los proveedores potenciales.

Del mismo modo que las matrices anteriores, los juicios se expresan en términos lingüísticos y después se cuantifican por medio de números difusos triangulares; así mismo, el valor consolidado de



los juicios emitidos por los miembros del comité de decisión se obtiene a partir de la ecuación 4:

$$RC = \left\{ RC_{hj}, \text{ donde } h = 1, \dots, p, \right. \\ \left. j = 1, \dots, m \right\} \quad (4)$$

$$RC_{hj} = \frac{1}{n} \otimes (rc_{hj1} \oplus \dots \oplus rc_{hjn})$$

Donde m es el número de variables externas, p el número de proveedores potenciales, n el número de miembros del equipo decisor y rc_{hjn} es la evaluación difusa expresada por el miembro n del equipo decisor para el proveedor h con relación a la variable externa j .

La matriz final de clasificación de proveedores "RC" contiene los valores consolidados RC_{hj} de los p proveedores para las m variables externas; cada elemento en esta matriz está definido mediante la función de números difusos triangulares que se presenta en la ecuación 5:

$$RC_{hj} = (RC_{hj\alpha}, RC_{hj\beta}, RC_{hj\gamma}) \quad (5)$$

3.8 Paso 8: Clasificación final de proveedores potenciales

Este paso representa el objetivo último del modelo fuzzy QFD para la selección de proveedores y se resume en el cálculo del índice IDA "índice difuso de afinidad" para los proveedores potenciales, que expresa el grado en que satisface cada proveedor las variables analizadas.

El índice IDA es un número triangular difuso obtenido a partir de la ecuación general 6:

$$IDA = \{IDA_h, \text{ donde } h = 1, \dots, p\}, \quad (6)$$

$$IDA_h = \frac{1}{m} \otimes [(RC_{h1} \otimes W_1) \oplus \dots \oplus (RC_{hm} \otimes W_m)]$$

El número difuso que representará al valor IDA para cada uno de los p proveedores estará dado por $IDA_h = (IDA_{h\alpha}, IDA_{h\beta}, IDA_{h\gamma})$, cuyos componentes se calculan a partir de las ecuaciones 7, 8 y 9:

$$IDA_{h\alpha} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m RC_{hj\alpha} * W_{j\alpha} \quad (7)$$

$$IDA_{h\beta} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m RC_{hj\beta} * W_{j\beta} \quad (8)$$

$$IDA_{h\gamma} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m RC_{hj\gamma} * W_{j\gamma} \quad (9)$$

Finalmente, para obtener una calificación consolidada de cada proveedor, se recurre al enfoque de "defusificación" o "desdifusificación" de números difusos triangulares definido por Facchinetti, tal como se aprecia en la ecuación 10:

$$CAL_h = \frac{IDA_{h\alpha} + 2 * IDA_{h\beta} + IDA_{h\gamma}}{4} \quad (10)$$

Una vez se cuenta con la calificación final de proveedores (CAL_h), se procede a realizar un escalafón de calificaciones de mayor a menor, que

Tabla 4. Calificación de matriz de correlación de variables externas

Proveedores	Variables externas (Cómos)									
	C_1			C_2			...	C_m		
	Miembros del equipo multidisciplinario									
	M_1	$M_2 \dots$	M_n	M_1	$M_2 \dots$	M_n	...	M_1	$M_2 \dots$	M_n
P_1	M	B	M	MA	B	MB	...	B	A	M
P_2	A	MB	A	MA	MB	MA	...	MB	MB	B
\vdots	B	M	B	B	A	M	...	M	A	M
P_p	MA	B	MA	M	M	A	...	A	B	MA

determinará el proveedor seleccionado; el proveedor con mejor calificación se denomina proveedor alfa y a partir de éste se derivan el resto de proveedores potenciales. Sin embargo, se establece un límite inferior, de manera que los proveedores con calificación por debajo de este límite sean descartados. Para el caso específico donde esta propuesta se aplicó, se consideró 158 como dicho límite, producto del ejercicio desarrollado y como política definida por el grupo decisor, pero es claro que este valor dependerá de cada empresa.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con el diseño de un modelo de selección de proveedores, empleando el método fuzzy QFD, el departamento de compras puede efectuar un análisis multicriterio, utilizando la subjetividad que pueden tener los juicios de valor, cuyo resultado es una selección eficiente y evidente.
- La metodología planteada permite que cada evaluador emita su juicio libremente y con respecto a su conocimiento; pero al integrar todos estos juicios entrega una solución que se presenta como la mejor para la organización, considerando todos los elementos de juicio de los participantes.
- La metodología puede sistematizarse valiéndose de una hoja de cálculo u otra aplicación más elaborada, con lo cual la empresa podrá tener la información actualizada y contará con un programa de seguimiento y mejoramiento continuos, así como también alimentará al proveedor sobre su gestión de suministro.
- Es claro que una metodología de éstas debe ser aplicada sólo para proveedores de materiales o insumos críticos para el proceso productivo o la prestación del servicio, pues requiere el concurso y tiempo de personal de la organización con conocimientos específicos sobre los procesos y los proveedores que se evalúan.
- Para el caso específico de la aplicación en la empresa manufacturera, la metodología fue aplicada con hojas electrónicas y le permitió la realización de una evaluación de sus proveedores de materia prima “crítica”, con mayor confianza y seguridad en los criterios utilizados.
- Esta metodología puede ser extendida a cualquier organización, ya sea del campo manufacturero o de los servicios. Y puede usarse también en ámbitos diferentes a la selección de proveedores, siempre y cuando el problema principal sea el de decidir en un marco multicriterio.

REFERENCIAS

- Amid, A.; Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C. (2006). "Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain". *International Journal of Production Economics*, vol. 104, No. 2 (December), pp. 394-407.
- Amid, A.; Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C. (2009). "A weighted additive fuzzy multiobjective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply chain". *International Journal of Production Economics*, vol. 121, No. 2 (October), pp. 323-332.
- Amin, S. H. and Razmi, J. (2006). "An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation". *Expert Systems with Applications*, vol. 36, No. 4 (May), pp. 8639-8648.
- Bevilacqua, M.; Ciarapica, F. E. and Giacchetta, G. (2006). "A fuzzy-QFD approach to supplier selection". *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 12, No. 1 (January), pp. 14-27.
- Chan, F. T. S. and Kumar, N. (2007). "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach". *Omega*, vol. 35, No. 4 (August), pp. 417-431.
- Dulmin, R. and Mininno, V. (2003). "Supplier selection using a multi-criteria decision aid method". *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 9, No. 4 (July), pp.177-187.
- Farzipoor, S. R. (2007). "A new mathematical approach for suppliers selection: Accounting for non-homogeneity is important". *Applied Mathematics and Computation*, vol. 185, No. 1 (February), pp. 84-95.
- Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C. (1998). "A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming".



- International Journal of Production Economics*, vol. 56-57 (September), pp. 199-212.
- Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C. (2001). "The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint". *International Journal of Production Economics*, vol. 73, No. 1 (August), pp. 15-27.
- Guneri, A. F.; Yucel, A. and Ayyildiz, G. (2009). "An integrated fuzzy-lp approach for a supplier selection problem in supply chain management". *Expert Systems with Applications*, vol. 36, No. 5 (July), pp. 9223-9228.
- Handfield, R.; Walton, S. V.; Sroufe, R. and Melnyk, S. A. (2002). "Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process". *European Journal of Operational Research*, vol. 141, No. 1 (August), pp. 70-87.
- Herrera, M. F. y Osorio, J. C. (2006). "Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP fuzzy". *Estudios Gerenciales*, vol. 99, No. 1 (junio), pp. 69-88.
- Kheljani, J. G.; Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C. (2009). "Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection". *International Journal of Production Economics*, vol. 121, No. 2 (October), pp. 482-493.
- Kokangul, A. and Susuz, Z. (2009). "Integrated analytical hierarch process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount". *Applied Mathematical Modelling*, vol. 33, No. 3 (March), pp. 1417-1429.
- Lee, A.H.I. (2009). "A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks". *Expert Systems with Applications*, vol. 36, No. 2 (March), pp. 2879-2893.
- Lee, A. H. I.; Kang, H. Y.; Hsu, C. F. and Hung, H. C. (2009). "A green supplier selection model for high-tech industry". *Expert Systems with Applications*, vol. 36, No. 4 (May), pp.7917-7927.
- Liao, Z. and Rittscher, J. (2007a). "A multi-objective supplier selection model under stochastic demand conditions". *International Journal of Production Economics*, vol. 105, No. 1 (January), pp. 150-159.
- Liao, Z. and Rittscher, J. (2007b). "Integration of supplier selection, procurement lot sizing and carrier selection under dynamic demand conditions". *International Journal of Production Economics*, vol. 107, No. 2 (June), pp. 502-510.
- Ng, W. L. (2008). "An efficient and simple model for multiple criteria supplier selection problem". *European Journal of Operational Research*, vol. 186, No. 3 (May), pp. 1059-1067.
- Norma Técnica Colombiana, NTC ISO 9001:2000. Bogotá: Icontec, 2001. 414 p.
- Önüt, S.; Kara, S. S. and Işik, E. (2009). "Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company". *Expert Systems with Applications*, vol. 36, No. 2 (March), pp. 3887-3895.
- Sanayei, A. S.; Mousavi, F.; Abdi, M. R. and Mohaghar, A. (2008). "An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming". *Journal of the Franklin Institute*, vol. 345, No. 7 (October), pp. 731-747.
- Wu, W.; Sukoco, B. M.; Li, C. and Chen, S. H. (2009). "An integrated multi-objective decision-making process for supplier selection with bundling problem". *Expert Systems with Applications*, vol. 36, No. 2 (March), pp. 2327-2337.
- Zhang, D.; Zhang, J.; Lai, K. K. and Lu, Y. (2009). "A novel approach to supplier selection based on vague sets group decision". *Expert Systems with Applications*, vol. 36, No. 5 (July), pp. 9557-9563.