

QFD difuso para la toma de decisiones multicriterio – Ejemplo de aplicación

Fuzzy QFD for multicriteria decision making – Application example

Juan Carlos Osorio Gómez¹

¹ Profesor Asociado, Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística,
Universidad del Valle, Cali, Colombia. Grupo de investigación en producción y logística. juan.osorio@correounivalle.edu.co

Recibido 5/05/11, Aceptado 15/11/2011

Resumen

Recientemente, la función de despliegue de la calidad QFD (por sus siglas en inglés) ha pasado de ser una herramienta de la gestión de calidad, para convertirse en una herramienta que facilita los procesos de toma de decisión en ambientes multicriterio. Este artículo presenta una discusión sobre la aplicación del QFD integrado con elementos de la lógica difusa para la toma de decisiones en ambientes multicriterio y se desarrolla con un ejemplo asociado a las decisiones de selección de personal, en el cual se muestra la utilidad de la herramienta y se logra tomar una decisión que considera todas las valoraciones del equipo decisor, asociadas tanto a los criterios y características utilizadas para tomar la decisión, como a las alternativas existentes en el proceso. Con respecto a dichas valoraciones, la lógica difusa permite manejar la ambigüedad y vaguedad inherentes a las calificaciones verbales presentadas en este tipo de procesos.

Palabras clave: Despliegue de la función de calidad, Lógica difusa, Selección de personal, Toma de decisiones multicriterio, Herramientas de calidad.

Abstract

Recently, the quality function deployment - QFD has gone from being a tool of quality management into a tool that facilitates decision-making processes in multi-environments. This article presents a brief discussion on the application of QFD integrated with elements of fuzzy logic to multicriteria decision making, and it's showed with personal selection example which shows the usefulness of the tool and reach a decision that considers all team ratings decision maker, associated with both the criteria and characteristics used to make the decision, as the alternatives in the process. With regard to these valuations, fuzzy logic can handle ambiguity and vagueness inherent in this type of process.

Keywords: Quality function deployment, Fuzzy logic, Personal selection, Multicriteria decision making, Quality tools.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque inicialmente la función de despliegue de la calidad surgió como herramienta para el diseño y desarrollo de productos, su aplicación ha trascendido al marco de los problemas multicriterio. Adicionalmente, esta herramienta ha sido combinada exitosamente con elementos de la lógica difusa, con lo cual se han podido obtener resultados que involucran la subjetividad y ambigüedad presente en los juicios lingüísticos de los encargados de tomar las decisiones de manera que se logran resultados más cercanos a la realidad. En este trabajo se presenta de manera general una metodología multicriterio usando QFD difuso, la cual se ilustra a partir de un típico ejemplo de decisión multicriterio como lo es la selección de una persona para cubrir un cargo en la estructura organizacional de la compañía, que en el caso concreto del ejemplo, corresponde al cargo de jefe de logística de una empresa manufacturera.

Para el desarrollo del artículo es necesario primero introducir algunos elementos teóricos relativos al QFD, la lógica difusa y el QFD difuso. Posteriormente, se presentará la metodología general y al mismo tiempo se ilustrará dicha metodología con el ejemplo de aplicación. Se busca con la aplicación del ejemplo, aclarar el desarrollo de la metodología; sin embargo, es importante aclarar que la metodología puede ser aplicada en cualquier situación siempre y cuando se trate de un proceso de decisión multicriterio en el que tomen parte más de un encargado decisor.

2. LA FUNCIÓN DE DESPLIEGUE DE LA CALIDAD (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT -QFD)

Fue presentada por primera vez en 1966 en el Japón y su primera aplicación formal fue desarrollada en 1972 [1] [2]. Aunque inicialmente fue concebida como herramienta para el diseño y desarrollo de productos, la función de despliegue de la calidad ha trascendido estas aplicaciones y hoy por hoy puede considerarse como una importante herramienta en el ámbito de los problemas de decisión multicriterio.

Según [2] se pueden mencionar los siguientes campos de aplicación del QFD; desarrollo de productos, administración de la calidad, análisis de las necesidades del cliente, diseño de productos, planificación del producto y del proceso, planificación general, planificación estratégica, planificación de procesos de negocios, de calidad de servicios, ingeniería concurrente, ingeniería de calidad e ingeniería simultánea, toma de decisiones, administración, trabajo en equipo, programación de actividades, costeo y otros. Dos trabajos importantes para ampliar la información sobre el QFD son [2][3].

Está claro entonces, que el QFD es una herramienta versátil, que ha demostrado su utilidad en casi todas las funciones organizacionales. Lo que se muestra en este artículo, es como a través de la utilización del QFD con elementos de la lógica difusa, se pueden tomar acertadamente decisiones del tipo multicriterio. Por tanto, es importante tocar algunos elementos fundamentales de la lógica difusa.

3. LÓGICA DIFUSA

Aunque muchos autores atribuyan los inicios de la lógica difusa al matemático Lotfi A. Zadeh, otros autores [4] atribuyen los inicios de esta lógica al matemático ruso Vasilev, quien publicó a partir de 1909 una serie de artículos en los que desarrolló una lógica trivalente, que él llamó lógica aristotélica.

En 1965, Zadeh publicó el artículo "Fuzzy Sets (Information and Control)" que marcó un hito histórico y proporcionó el nombre a la disciplina. Pero recién a mediados de los 70's los conjuntos difusos "Fuzzy Sets" tuvieron una aplicación práctica cuando se diseñó un controlador borroso para un motor de vapor. Desde entonces, se ha asociado a los términos "Lógica Difusa" cualquier sistema matemático que se base en los conjuntos difusos [4].

La modelación difusa permite la definición de métricas con las que se puede acceder a los factores intangibles y tratar con medidas heterogéneas. Además, lo que se busca a través de la matemática borrosa es describir y formalizar la realidad empleando modelos flexibles que interpreten las leyes que rigen el comportamiento humano y las relaciones entre los hombres [5].

La lógica difusa, permite expresar matemáticamente los valores intermedios a los que puede acudir un evaluador de determinada "situación" o "problema" de tipo cualitativo, en el cual, no se sentiría satisfecho al calificar con solo dos valores, falso (0) o verdadero (1), sabiendo que en la vida real, es un evento que no se puede definir como totalmente verdadero o totalmente falso, si no que tiene un grado de verdad o falsedad, que puede variar de 0 a 1. En esencia, con esta lógica se amplían las opciones frente a una situación, pues en lugar de los extremos 0 y 1, se tiene el intervalo entre ellos para emitir un juicio.

Los conjuntos difusos se manejan a partir de números difusos, los cuales pueden ser representados por funciones triangulares o trapezoidales [4]. En el caso específico de este artículo se utilizarán los números difusos triangulares.

4. METODOLOGÍA QFD DIFUSA

La metodología que se presenta a continuación está sustentada fundamentalmente en el trabajo de Bevilacqua [6], sin

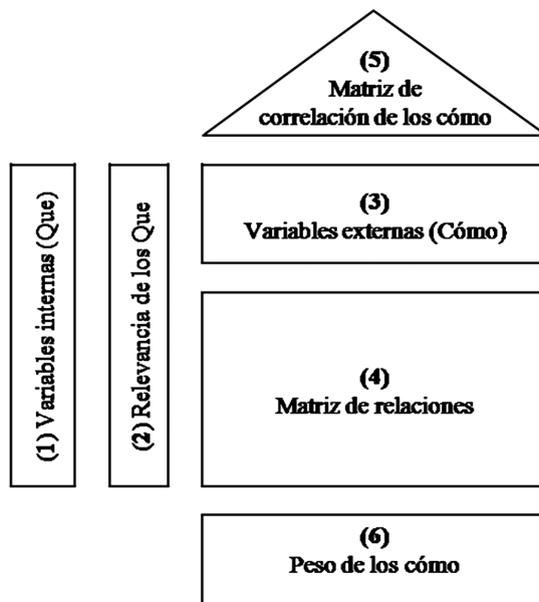
embargo, se pueden encontrar aplicaciones recientes de QFD difuso en [7-13]. Aplicaciones locales y específicas de la metodología se pueden encontrar en [14-16]. Para el desarrollo de la misma es necesario incluir un grupo multidisciplinario, que permita definir correctamente los objetivos del proceso que se desea trabajar y los parámetros de control que guíen el buen desarrollo del sistema lo cual permitirá garantizar la coherencia y fiabilidad de los resultados.

Con respecto a este equipo, deberá estar conformado por las personas responsables del proceso que posean conocimiento y experiencia en el área de la decisión. En el caso específico del ejemplo, se tiene la necesidad de contratar un jefe de logística, para ello se ha conformado un equipo decisor con las personas de la compañía que ocupan los puestos directamente afectados y relacionados con el cargo en mención, ellos son: gerente general (GG), jefe de recursos humanos (JRH) y gerente comercial (GC).

4.1 Identificar los “Que” o variables internas

El equipo multidisciplinario debe definir el conjunto de atributos básicos que deben cumplir las alternativas que se están examinando para satisfacer todos los requerimientos establecidos por la compañía con respecto a la decisión que se quiere tomar. Estos se deben ubicar en la matriz 1 del método QFD, la cual aparece en la figura 1. Para el ejemplo que se va a desarrollar, estos “que” son: conocimiento en el área, conocimiento en el manejo logístico, nivel de inglés, manejo de software de inventarios, manejo de personal, y conocimientos en comercio exterior (importaciones y exportaciones).

Figura 1. Modelo matricial QFD-Fuzzy. [20]
Figure 1. Matricial Model Fuzzy QFD [20]



4.2 Identificar los criterios relevantes para la evaluación: “Cómo” o variables externas

Estos criterios son definidos por el equipo multidisciplinario a través de su conocimiento y experiencia. Corresponden a un conjunto de atributos o criterios con los que se evalúa a todos los posibles candidatos permitiendo realizar una futura escala de clasificación. Estos constituyen la matriz 3 que se observa en la figura 1.

Para el caso que se viene desarrollando, se consideran estos “Cómo”, como los elementos de perfil que deben tener los candidatos al cargo de jefe de logística:

- Ingeniero Industrial o Administrador
- Experiencia en el área de logística
- Especialista en logística
- Excel Avanzado
- Idioma Inglés
- Experiencia en cargos directivos
- Conocimiento en SAP
- Conocimiento en comercio exterior

4.3 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 “que”, por medio de una variable lingüística; y es aquí donde se introducen los elementos asociados a la lógica difusa, ya que cada una de estas variables se representa a través de un número difuso. Para el caso ejemplo, se emplean cinco niveles de calificación los cuales a su vez se representan por números difusos triangulares tal como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1. Variables lingüísticas para la calificación
Table 1. Linguistic variables for the score

Calificación (Variable lingüística)	Número difuso triangular
Muy Bajo “MB”	(0,1,2)
Bajo “B”	(2,3,4)
Medio “M”	(4,5,6)
Alto “A”	(6,7,8)
Muy Alto “MA”	(8,9,10)

En la Tabla 2 se pueden ver las calificaciones del caso. Allí se observa, por ejemplo, que para el Gerente General el nivel de importancia asociado al conocimiento en el área y el manejo de personal es Muy Alto, pero no es igual para el Gerente comercial. Ahora bien, para determinar la importancia relativa o peso de cada “que” una vez estén asig-

nadas las calificaciones de todos los miembros del equipo multidisciplinario se aplica la ecuación 1:

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

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

Donde q es el número de "Que's" y n el número de miembros del equipo multidisciplinario. Cada elemento del vector 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 No. 2 del modelo QFD (ver Figura 1).

Tabla 2. Calificación de la importancia relativa de las variables internas para el caso de estudio.

Table 2. Score the relative importance of internal variables for the study case.

	Gerente General	Jefe de Recursos Humanos	Gerente Comercial	
QUE'S	Conocimientos en el área	MA	A	A
	Conocimientos en manejo logístico	A	A	A
	Nivel de Inglés	A	M	MA
	Manejo de software de inventarios	A	M	MA
	Manejo de personal	MA	MA	M
	Conocimientos en comercio exterior	M	M	MA

Se pueden observar en la tabla 3 los resultados para el caso de estudio. En este caso, $q = 6$ y $n = 3$. Se procede a continuación a ilustrar el cálculo del peso definitivo para el criterio Conocimiento en el área:

$$Peso_{\text{conocimientos en el área}} = \frac{1}{3} \otimes ((8,9,10) \oplus (6,7,8) \oplus (6,7,8))$$

$$Peso_{\text{conocimientos en el área}} = \frac{1}{3} \otimes ((8 + 6 + 6), (9 + 7 + 7), (10 + 8 + 8))$$

$$Peso_{\text{conocimientos en el área}} = (7, 8, 9)^1$$

4.4 Determinar los niveles de correlación entre las 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.

Tabla 3. Peso de los QUE's
Table 3. Weight of What's

		Pesos de los Que's		
QUE'S	Conocimientos en el área	7	8	9
	Conocimientos en manejo logístico	6	7	8
	Nivel de Inglés	6	7	8
	Manejo de software de inventarios	6	7	8
	Manejo de personal	7	8	9
	Conocimientos en comercio exterior	5	6	7

Cada miembro del equipo multidisciplinario es responsable de emitir un juicio sobre el impacto que tiene cada uno de los "Como" sobre cada uno de los "Que". Dichas opiniones deben ser expresadas empleando las variables lingüísticas presentadas en la tabla 1, y serán cuantificadas por medio de los números difusos.

Para determinar el impacto total de cada "Como" sobre cada "Que", consolidando las opiniones de los miembros del equipo multidisciplinario, se aplica la ecuación 2:

$$Correlación = \left\{ r_{ij}, \text{ donde } \begin{matrix} i = 1, \dots, q \text{ y} \\ j = 1, \dots, c \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

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

Donde c es el número de "Como's" y q y n ya fueron mencionados. En el caso específico, $c = 8$. De esta forma se consolida la matriz de relaciones 4 del modelo QFD (ver Figura 1), donde cada elemento representa el valor de correlación consolidado entre cada y y cada x y está representado por un número triangular difuso definido por el conjunto $r_{ij} = (r_{ij\alpha}, r_{ij\beta}, r_{ij\gamma})$.

Para el caso específico, y tal como se aprecia en la tabla 4 se puede observar que por ejemplo los miembros del equipo han considerado que la relación entre el conocimiento en el área y el hecho de ser ingeniero industrial es Alta, Media y Muy Alta respectivamente. De allí, que el valor de r_{ij} correspondiente (Correlación conocimiento en el área - Ingeniero Industrial o Administrador) sea:

$$r_{ij} = \frac{1}{3} \otimes ((6,7,8) \oplus (4,5,6) \oplus (8,9,10))$$

$$r_{ij} = \frac{1}{3} \otimes ((6 + 4 + 8), (7 + 5 + 9), (8 + 6 + 10))$$

$$r_{ij} = (6, 7, 8)$$

Es importante notar que cada miembro puede expresar libremente su opinión frente a esta relación y no importan las diferencias entre ellos, pues de lo que se trata es que

¹ Estos cálculos corresponden a la suma y multiplicación de números difusos triangulares. Para más información se puede ver [4].

todas las opiniones sean consideradas al momento de tomar la decisión.

4.5 Cuantificar la importancia relativa de cada variable externa

El cálculo de la importancia relativa de cada una de las variables externas 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 a la ecuación 3, donde se asumen las convenciones habituales para q y c :

$$Peso_{como} = \{W_j, \text{donde } j = 1, \dots, c\},$$

$$W_j = \frac{1}{q} \otimes [(r_{j1} \otimes w_1) \oplus \dots \oplus (r_{jq} \otimes w_q)] \quad (3)$$

Cada elemento W_j , del vector $Peso_{como}$ representa la importancia relativa de cada variable externa 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 6 del modelo QFD (ver Figura 1).

Para el ejemplo, se presenta el cálculo de la variable Ingeniero Industrial o administrador:

$$W_j = \frac{1}{6} \otimes [(6,7,8) \otimes (7,8,9) \oplus (6,7,8) \otimes (6,7,8) \oplus (5,6,7) \otimes (6,7,8) \oplus (5,6,7) \otimes (6,7,8) \oplus (7,8,9) \otimes (7,8,9) \oplus (5,6,7) \otimes (5,6,7)]^2$$

$$W_j = \frac{1}{6} \otimes ((42, 56, 72) \oplus (36, 49, 64) \oplus (30, 42, 56) \oplus (30, 42, 56) \oplus (42, 56, 72) \oplus (25, 36, 49))$$

$$W_j = (34, 47, 62)$$

4.6 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 señalar el nivel de correlación entre pares de criterios que requieren un mejoramiento paralelo, con el fin de tener una perspectiva más integral y conocer, el efecto que un incremento o mejora de un criterio tiene sobre los demás.

A diferencia de las matrices anteriores, los valores registrados no aplican para cálculos matemáticos, si no que representan una guía y para indicar el nivel de correlación se emplean los símbolos definidos en la tabla 5 como se aprecia en la figura 2.

Tabla 4. Relación entre los Que`s y los Como`s (fragmento)
Table 4. Relationship between “What`s” and “How`s” (extract)

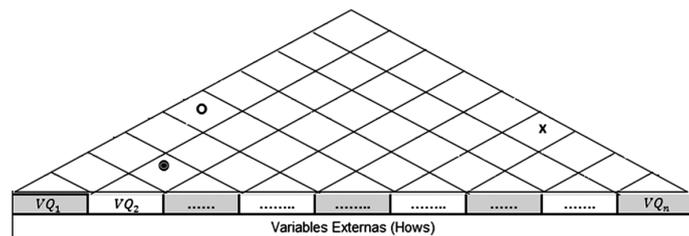
		Como`s									
		Ingeniero Industrial o Administrador			Experiencia en el área de logística			Especialización en logística			
CARGO		GG	JRH	GC	GG	JRH	GC	GG	JRH	GC	
Qué`s	Conocimientos en el área	A	M	MA	MA	A	MA	A	M	MA	...
	Conocimientos en manejo logístico	A	A	A	A	A	MA	MA	MA	MA	
	Nivel de inglés	M	M	MA	M	B	M	B	M	MB	
	Manejo de software de inventarios	A	M	A	A	A	MA	A	MA	MA	
	Manejo de personal	MA	A	A	A	M	M	B	B	B	
	Conocimientos en comercio exterior	M	A	M	A	MA	A	A	MA	A	

Tabla 5. Escala de Calificación de Matriz de Correlación de variables externas
Table 5. Grading scale Correlation Matrix of external variables

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

Figura 2. Matriz de correlación de variables externas. Techo del modelo QFD.

Figure 2. Correlation matrix of external variables. Roof of the QFD model.



4.7 Determinar el impacto final de cada alternativa sobre los atributos considerados

Una vez se consolida la ponderación final para cada variable externa, cada uno de los miembros del comité decisor valora al conjunto de alternativas potenciales en relación a cada variable externa, como se muestra en tabla 6, para finalmente combinar estos resultados con las ponderaciones pertinentes y determinar una clasificación final de las alternativas.

Del mismo modo, que las matrices anteriores, los juicios son expresados en términos lingüísticos y posteriormente cuantificados 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:

$$CA = \left\{ CA_{hj}, \text{ donde } h = 1, \dots, p, \right. \\ \left. j = 1, \dots, c \right\} \quad (4)$$

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

Donde p es el número de alternativas, 5 candidatos para el cargo; y c y n ya fueron mencionados anteriormente. es la evaluación difusa expresada por el miembro n del equipo decisor para la alternativa h con relación a la variable externa j . A continuación se presenta el cálculo de la relación entre el candidato 1 (C1) y la característica Ingeniero Industrial o Administrador:

$$CA_{C1 \text{ Ingeniero industrial o administrador}} = \frac{1}{3} \otimes ((6, 7, 8) \oplus (4, 5, 6) \oplus (8, 9, 10))^3$$

$$CA_{C1 \text{ Ingeniero industrial o administrador}} = \frac{1}{3} \otimes ((6 + 4 + 8), (7 + 5 + 9), (8 + 6 + 10))$$

$$CA_{C1 \text{ Ingeniero industrial o administrador}} = (6, 7, 8)$$

Tabla 6. Calificación de las alternativas en función de las variables externas por cada miembro del grupo decisor.

Table 6. Qualification of the alternatives in terms of external variables for each decision maker.

		COMO'S									
		Ingeniero Industrial o Administrador			Experiencia en el área de logística			Especialización en logística			
		Cargo	GG	JRH	GC	GG	JRH	GC	GG	JRH	GC
Candidatos	C1	A	M	MA	A	M	MA	A	M	MA	
	C2	MA	MA	MA	A	A	A	A	A	A	
	C3	B	M	MB	M	M	MA	M	M	MA	
	C4	A	MA	MA	A	M	A	A	M	A	
	C5	B	B	B	MA	A	A	MA	A	A	

La matriz final de clasificación de alternativas "CA" (tabla 7), contiene los valores consolidados CA_{hij} de las j th alternativas para las variables externas, cada elemento en esta matriz está definido por medio de la función de números difusos triangulares que se presenta a continuación:

$$CA_{hj} = (CA_{hij}, CA_{hij\beta}, CA_{hij\gamma})$$

Tabla 7. Número triangular difuso para la calificación de las alternativas en función de las variables externas
Table 7. Triangular fuzzy number for the rating of the alternatives in terms of external variables

	Car.1			Car.2			Car.3			Car.4			Car.5			Car.6			Car.7			Car.8 ¹		
C1	6	7	8	7	8	9	6	7	8	5	6	7	1	2	3	5	6	7	5	6	7	5	6	7
C2	6	7	8	7	8	9	8	9	10	7	8	9	3	4	5	5	6	7	5	6	7	5	6	7
C3	5	6	7	3	4	5	2	3	4	0	1	2	7	8	9	7	8	9	0	1	2	7	8	9
C4	5	6	7	7	8	9	7	8	9	7	8	9	1	2	3	1	2	3	7	8	9	2	3	4
C5	7	8	9	5	6	7	2	3	4	1	2	3	3	4	5	7	8	9	0	1	2	1	2	3

4.8 Clasificación final de las alternativas (ranking de alternativas)

Este paso representa el objetivo último del modelo QFD_fuzzy para la toma de la decisión y se resume en el cálculo del índice ID “Índice difuso de afinidad” para cada alternativa evaluada; este índice expresa el grado de satisfacción de cada alternativa con las variables analizadas.

El índice ID es un número triangular difuso obtenido a partir de la ecuación general 5:

$$ID = \{ID_h, \text{donde } h = 1, \dots, p\}, \quad (5)$$

$$ID_h = \frac{1}{c} \otimes [(CA_{h1} \otimes W_1) \oplus \dots \oplus (CA_{hc} \otimes W_c)]$$

De este modo el vector ID estará definido por la función, cuyos componentes son calculados a partir de las ecuaciones 6, 7 y 8. Los resultados para el caso de estudio se pueden apreciar en la tabla 8.

$$ID_{h\alpha} = \frac{1}{c} \sum_{j=1}^c CA_{hj\alpha} * W_{j\alpha} \quad (6)$$

$$ID_{h\beta} = \frac{1}{c} \sum_{j=1}^c CA_{hj\beta} * W_{j\beta} \quad (7)$$

$$ID_{h\gamma} = \frac{1}{c} \sum_{j=1}^c CA_{hj\gamma} * W_{j\gamma} \quad (8)$$

Finalmente para obtener una calificación consolidada (no difusa) se recurre al enfoque de defusificación de números difusos triangulares definido por Facchinetti tal como se presenta en la ecuación 9:

$$\frac{FN_{\alpha} + 2 * FN_{\beta} + FN_{\gamma}}{4} \quad (9)$$

Tabla 8. Ranking de los candidatos en números difusos triangulares

Table 8. Ranking of applicants in triangular fuzzy numbers

Alternativas	Calificación final (número difuso triangular)		
C1 (Candidato 1)	145	245	381 ⁴
C2 (Candidato 2)	164	272	417
C3 (Candidato 3)	110	197	316
C4 (Candidato 4)	131	225	355
C5 (Candidato 5)	100	180	292

Una vez se cuenta con la calificación final se procede a realizar un escalafón de calificaciones de mayor a menor, que determinará la alternativa seleccionada, donde la mejor calificada será la primera opción a la hora de tomar la

decisión. Sin embargo, es recomendable un límite inferior, de manera que las alternativas con calificación por debajo de este límite sean descartadas. Para el caso en mención, el ranking se presenta en la tabla 9, donde es evidente que el candidato más preparado es el candidato 2 y que también es una opción viable el candidato 1. Otro elemento destacable, es que el candidato 5 no debería ser considerado pues se encuentra muy por debajo de los dos mejor calificados.

Tabla 9. Ranking de los candidatos
Table 9. Ranking of applicants

Alternativas	Calificación final
C2 (Candidato 2)	281
C1 (Candidato 1)	254
C4 (Candidato 4)	234
C3 (Candidato 3)	205
C5 (Candidato 5)	188

5. CONCLUSIONES

- Es importante destacar que una herramienta como la función del despliegue de la calidad (QFD) que inicialmente fue concebida para las actividades de diseño y desarrollo de productos, se convierta en la actualidad en un importante instrumento para la toma de decisiones multicriterio.
- Otro elemento destacable es el uso de la lógica difusa, la cual permite incorporar los elementos subjetivos y vagos expresados en los juicios de los expertos, de manera que al final se tenga una calificación que recoja las opiniones de todos los participantes.
- La organización que decida utilizar el modelo aquí presentado debe considerar que la conformación del equipo decisor es fundamental para el éxito del proceso. Se requiere que aquellas personas que integrarán dicho equipo sean realmente conocedoras tanto del proceso que se va a efectuar como de las alternativas (proveedores, candidatos, equipos) que se estén evaluando.
- Aunque el ejemplo presentado en este artículo involucra solamente evaluaciones subjetivas (cualitativas), el modelo puede involucrar elementos cuantitativos en algunos apartes. Ello implica un ajuste en el método, pero dicho ajuste puede realizarse sin comprometer el éxito del resultado.

REFERENCIAS

[1] Sangüesa M, Mateo R y Ilzarbe L. Teoría y práctica de la calidad 1ª edición. Ed Thomson. Madrid, España, 2006.

² Se ha utilizado en la tabla la abreviatura Car.No para referirse a los Como’s presentados en el apartado 4.2

- [2] Chan L-K, Wu M-L. Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research* Vol 143, No 3, 463–497, 2002
- [3] Carnevalli J. A., Cauchick P. Review, analysis and classification of the literature on QFD—Types of research, difficulties and benefits. *International Journal of Production Economics*. Vol 114, No 2, 737– 754, 2008
- [4] Lazzari L; Machado E; Pérez R. Teoría de decisión fuzzy 1ª edición. Ed. Macchi. Buenos Aires, Argentina, 1998.
- [5] Tsai M-T, Wu H-L y Liang W-K. Fuzzy Decision Making for Market Positioning and Developing Strategy for Improving Service Quality in Department Stores. *Quality and Quantity*. Vol. 42, No 3, 303 -319, 2008.
- [6] Bevilacqua. M., Ciarapica F.E., Giacchetta G. A fuzzy-QFD approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol 12, No 1, 14-27, 2006.
- [7] Bottani E y Rizzi A. Strategic management of logistics service: A fuzzy QFD approach. *International Journal of Production Economics*. Vol 103, No 2, 585–599, 2006.
- [8] Bottani E. A fuzzy QFD approach to achieve agility. *International Journal of Production Economics*. Vol 119, No 2, 380–391, 2009.
- [9] Celik M, Selcuk C, Kahraman C, Deha E. An integrated fuzzy QFD model proposal on routing of shipping investment decisions in crude oil tanker market. *Expert Systems with Applications*. Vol 36, No 3, 6227–6235, 2009.
- [10] Sohn So Y, Choi I S. Fuzzy QFD for supply chain management with reliability consideration. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol 22, No 3, 327 – 334, 2001.
- [11] Chen L-H, Ko W-C. A fuzzy nonlinear model for quality function deployment considering Kano’s concept. *Mathematical and Computer Modelling*. Vol. 48, No 3, 581–593, 2008.
- [12] Liu H-T. The extension of fuzzy QFD: From product planning to part deployment. *Expert Systems with Applications*. Vol 36, No 8, 11131–11144, 2009.
- [13] Amin S H, Razmi J. An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation. *Expert Systems with Applications* Vol 36, No 4, 8639–8648, 2009.
- [14] Arango D C., Rúales C E. (2008). Selección de proveedores mediante el despliegue de la función de calidad difuso. Trabajo de grado de pregrado. Programa de Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Cali – Colombia.
- [15] Arias D J y Peña M A (2010). Formulación de un modelo para priorización de despacho de producto terminado en empresas manufactureras usando QFD fuzzy. Trabajo de grado de pregrado. Programa de Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Cali – Colombia.
- [16] Giraldo P. y Martínez L. (2009). Propuesta de mejoramiento para el programa de ingeniería industrial de la universidad del valle utilizando QFD-fuzzy. Trabajo de grado de pregrado. Programa de Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Cali – Colombia.