



Received: 25-02-2017
Accepted: 04-03-2017

Una metodología basada en números difusos para la evaluación de criterios evaluables mediante un juicio de valor

A methodology based on fuzzy numbers for the evaluation of evaluable criteria through a value judgment

José Luis Fuentes-Bargues, M^a Carmen González-Cruz, Laura Ruíz-Alvárez, Rafael Ernesto Prieto-Gómez

Universitat Politècnica de València. (jofuebar@dpi.upv.es)

Resumen— La adjudicación de un contrato por parte de una administración pública depende de criterios de adjudicación evaluables mediante fórmulas y de criterios evaluables mediante juicios de valor. Los primeros disponen de fórmulas definidas mientras que los segundos siempre tienen un sesgo subjetivo porque dependen del técnico que realiza la valoración. Con objeto de minimizar las consecuencias de las arbitrariedades o incertidumbres en la evaluación de los criterios evaluables mediante un juicio de valor se puede recurrir a la lógica difusa. La lógica difusa, borrosa o fuzzy es el razonamiento matemático que permite calcular de forma exacta las magnitudes correspondientes a conceptos vagos o situaciones poco previsibles para poder tener control sobre ellas. El objetivo del presente trabajo es desarrollar una metodología que permita a los órganos de contratación la evaluación de los criterios evaluables mediante un juicio de valor mediante la utilización de la lógica difusa.

Palabras clave— Lógica difusa; Contratación pública; Juicio de Valor.

Abstract- The award of a contract by a public administration depends on criteria assessed by formulae and criteria assessed by value judgements. For the former, various predetermined formulae can be employed while for the criteria assessed by value judgements will always contain some subjective bias by the individual who performs the evaluation. In order to minimize the consequences of the arbitrariness or uncertainties in the evaluation of criteria assessed by value judgments is possible to use the fuzzy logic. Diffuse, fuzzy or fuzzy logic is the mathematical reasoning that allows to calculate accurately the magnitudes corresponding to vague concepts or situations that are not very predictable to have control over them. The objective of this paper is to show a methodology which permits to the contracting authority to evaluate the criteria assessed by value judgments through fuzzy numbers.

Index Terms— Fuzzy logic; Public procurement; Value judgement.

I. INTRODUCCIÓN

La contratación pública en los países desarrollados supone aproximadamente valores entre el 10 y el 15% del Producto Interior Bruto (GTN, 2006; OECD, 2009), llegando incluso en ocasiones a valores superiores, siendo uno de los pilares fundamentales del sector construcción (Wong et al., 2008; Fuentes et al. 2015).

La adjudicación de un contrato por parte de una administración depende de una serie de criterios de valoración. En la Unión Europea, la Directiva 2014/24/CE (European Union, 2014) regula la contratación pública en la Unión Europea y el Real Decreto Legislativo 3/2011 (España, 2011) en España. En estas normas se determinan los criterios de adjudicación, tales como el precio, la calidad, el valor técnico, las características estéticas y funcionales, las características medioambientales, el coste de funcionamiento, la rentabilidad, el servicio postventa, la asistencia técnica, la fecha de entrega, el plazo de ejecución, etc., siendo en definitiva aquellos que permitan seleccionar al poder adjudicador la oferta económicamente más ventajosa (economically most advantageous tender, EMAT).

La oferta más ventajosa atendiendo a varios criterios de adjudicación es el procedimiento que tradicionalmente se ha denominado concurso, mientras que la oferta más ventajosa atendiendo únicamente a un solo criterio, que necesariamente es el precio, es el procedimiento que tradicionalmente se ha denominado subasta. Si se utilizan varios criterios de valoración, éstos se dividen entre criterios evaluables mediante fórmulas y criterios evaluables mediante un juicio de valor. Los primeros disponen de unas fórmulas de puntuación previamente determinadas en el pliego de cláusulas administrativas y la puntuación obtenida será la resultante de la aplicación de la fórmula sobre la oferta correspondiente. Los criterios evaluables mediante un juicio de valor tienen siempre un sesgo subjetivo porque dependen del técnico que realice la valoración.

Respecto al criterio económico y sus fórmulas de puntuación (Economic Scoring Formulae, ESF) se han desarrollado muchos trabajos que analizan su comportamiento y establecen pautas o recomendaciones de uso (Waara et al., 2006; Ballesteros-Pérez et al., 2012, 2013; Fuentes-Bargues et al., 2013a). Otro de los aspectos analizados respecto al criterio económico han sido las ofertas desproporcionadas (Abnormally Low Tenders, ALT), definidas como aquellas propuestas que son demasiado bajas para proporcionar un nivel normal de beneficio y no se puede explicar en base a los métodos de construcción, a la solución técnica escogida, a la

originalidad del trabajo o a las condiciones favorables del licitador. Algunos autores han analizado las expresiones matemáticas o herramientas que determinen que licitaciones son anormales o peligrosas (Skitmore, 2002; Ballesteros-Pérez et al., 2013; Fuentes-Bargues et al., 2013b).

En cambio la utilización de criterios evaluables mediante un juicio de valor aumenta la complejidad y la discrecionalidad de las valoraciones, sobre todo cuando los mismos se refieren a características del objeto del contrato que no pueden medirse, cuantificarse y evaluarse de manera automática mediante la aplicación de fórmulas predeterminadas. Con objeto de minimizar las consecuencias de las arbitrariedades o incertidumbres en la evaluación de los criterios evaluables mediante un juicio de valor se puede recurrir a la lógica difusa. La lógica difusa, borrosa o fuzzy es el razonamiento matemático que permite calcular de forma exacta las magnitudes correspondientes a conceptos vagos o situaciones poco previsibles para poder tener control sobre ellas (Zadeh, 1965).

El uso de valores lingüísticos se ha utilizado previamente en contratación pública. Nguyen en 1985 aplicó los conjuntos borrosos para la evaluación de ofertas de los contratistas. Lam et al. en 2005 aplicaron la teoría de los conjuntos borrosos para la evaluación y selección de contratistas basada en el coste, la información de los presupuestos y de las experiencias previas. En 2008, Bendaña et al. desarrollaron una herramienta basada en número difusos para proyectos tipo diseño-licitación-construcción del sector privado. Nieto et al. en 2012 desarrollaron un método para la pre-cualificación de contratistas de proyectos de construcción.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una metodología que permita a los órganos de contratación la evaluación de los criterios evaluables mediante un juicio de valor mediante la utilización de la lógica difusa. Esta comunicación se divide en cinco apartados. En el apartado 2 se definen los conceptos principales de lógica difusa. En el apartado 3 se desarrolla la metodología y en el apartado 4 se aplica a un caso numérico. En el apartado quinto se presentan las Conclusiones del artículo.

II. TEORÍA DE LOS CONJUNTOS DIFUSOS

A. Conjuntos Difusos

Se define como conjunto difuso o borroso (Zadeh, 1965) aquel que permite describir el grado de pertenencia o inclusión de un elemento o el valor de una variable) al concepto dado por la etiqueta que le da nombre, es decir en términos matemáticos se representa mediante la expresión $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$, donde U es el conjunto universal, x es un elemento de U , A es un conjunto difuso de U y $\mu_A(x)$ es la función de pertenencia de A en x . Cuanto mayor sea el valor de $\mu_A(x)$, mayor es el grado de pertenencia de x en A .

José Luis Fuentes, M^a Carmen González y Rafael Ernesto Prieto pertenecen al Departamento de Proyectos de Ingeniería, Universitat Politècnica de València.

Laura Ruíz está en el Máster en Dirección y Gestión de Proyectos, Universitat Politècnica de València.

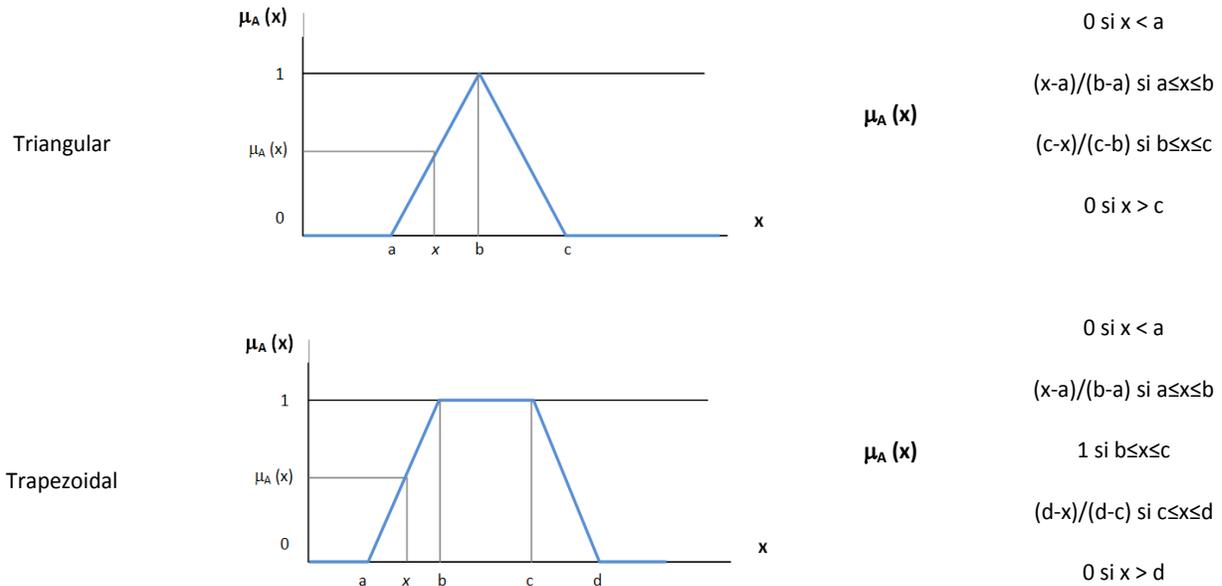


Fig. 1. Funciones de Pertenencia Triangulares y Trapezoidales. Fuente: (Zadeh, 1975).

B. Números difusos

Un número difuso (Dubois y Prade, 1978) es un conjunto difuso definido como $A = \{x, \mu_A(x)\}$, donde x es un elemento del conjunto de números reales y la función de pertenencia $\mu_A(x) \in [0, 1]$, que cumple las siguientes propiedades: (i) Constante en $(-\infty, a]$: $\mu_A(x)=0 \quad x \in (-\infty, a]$; (ii) Estrictamente creciente en el intervalo $[a, b]$; (iii) Constante en $[b, c]$: $\mu_A(x)=1 \quad x \in [b, c]$; (iv) Estrictamente decreciente en $[c, d]$; y (v) Constante en $[d, \infty)$: $\mu_A(x)=0 \quad x \in [d, \infty)$; donde a, b, c, d son números reales y eventualmente $a = -\infty, o b = c, o a = b, o c = d o d = \infty$.

Existen diversos tipos de números difusos y la mayor simplicidad de sus funciones de pertenencia se traduce en una menor complejidad en los cálculos, por eso los más habituales son los números difusos triangulares y trapezoidales, definidos con tres o cuatro parámetros respectivamente (Figura 1).

C. Valores Lingüísticos

Se denomina variable lingüística (Zadeh, 1975) a aquella variable que puede tomar por valores los términos del lenguaje natural. Tales términos encajan perfectamente con la idea de un adjetivo calificativo: alto, bajo, moderado, etc. Una variable lingüística no toma valores numéricos sino valores difusos, que a su vez engloban valores numéricos, es decir se produce un proceso que se denomina “fuzzificación”.

D. Operaciones aritméticas con números difusos

Las operaciones aritméticas entre dos números difusos trapezoidales $A_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ y $A_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ se definen como:

Suma difusa:

$$A_1 \oplus A_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \tag{2}$$

Resta difusa:

$$A_1 \ominus A_2 = (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2) \tag{3}$$

Producto difuso:

$$A_1 \otimes A_2 \approx (a_1 \cdot a_2, b_1 \cdot b_2, c_1 \cdot c_2, d_1 \cdot d_2) \tag{4}$$

Cociente difuso:

$$A_1 \oslash A_2 \approx \left(\frac{a_1}{d_2}, \frac{b_1}{c_2}, \frac{c_1}{b_2}, \frac{d_1}{a_2} \right) \tag{5}$$

La multiplicación y el cociente entre números difusos trapezoidales no es un número difuso trapezoidal, si bien en la mayoría de las aplicaciones prácticas se aproxima a un número trapezoidal. Por otra parte, el producto de un escalar por un número difuso se define como:

$$A_1 \cdot k = (a_1 \cdot k, b_1 \cdot k, c_1 \cdot k, d_1 \cdot k) \quad \text{si } k > 0 \tag{6}$$

$$A_1 \cdot k = (d_1 \cdot k, c_1 \cdot k, b_1 \cdot k, a_1 \cdot k) \quad \text{si } k < 0 \tag{7}$$

E. Sistemas difusos

Un sistema difuso es entendido como una caja negra activada por una serie de variables de entrada y que responde de una forma concreta mediante un conjunto de salidas con las que se toman ciertas acciones de control o de decisión (Zadeh, 1975). El núcleo del sistema difuso son una serie de reglas “IF-THEN” que se basan en el conocimiento o en los razonamientos del lenguaje humano.

La estructura general de un sistema difuso constará de cuatro módulos básicos (Figura 2). En primer lugar un módulo procesador de entradas o difusor, una base de reglas que representan el conocimiento de lo que el sistema es capaz de hacer, un motor de inferencia que a partir del conjunto de reglas permite obtener resultados y un módulo defuzzificador

que permite convertir el conjunto difuso resultante en un valor numérico que define el resultado del sistema completo.

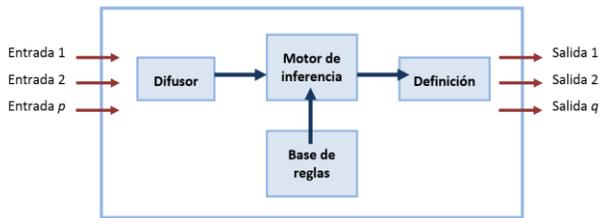


Fig. 2. Sistema Difuso.

Los operadores lógicos que intervienen en el control borroso son: AND, OR y THEN. Para modelar el operador conectivo AND en lógica difusa puede utilizarse cualquier t-norma (Zimmermann, 1991) pero la más admitida en la práctica es la t-norma “min”, que se traduce en que el grado de verdad de la ocurrencia simultánea de dos antecedentes es igual al de aquel que tenga menor grado de pertenencia a su etiqueta lingüística (Dubois y Prade, 1994). Para el operador implicación THEN el operador más utilizado es también el “min”. Para el operador conectivo OR puede usarse cualquier t-conorma (Zimmermann, 1991) pero la más admitida es la “max”.

La conversión del conjunto difuso resultante en un valor numérico es clave a la hora de aplicar la lógica difusa a la resolución de problemas concretos para obtener un valor ordinario o abrupto. El método más empleado es el del Centroide, es decir, el valor que reparte áreas iguales a ambos lados, aunque existen otros modelos, como el del Promedio Ponderado y el de Pertenencia de la Media de Máximos, donde se calcula la media de los valores que maximizan el conjunto A.

La ganancia de energía obtenida para nuestro captador paraboloidal con motor Stirling empleando las ecuaciones

anteriores se puede ver en la Figura 5.

III. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología propuesta a continuación supone para los órganos de contratación una herramienta para la evaluación de criterios evaluables mediante un juicio de valor, de manera que a partir de la puntuación determinista se puede cubrir todo el espectro numérico de la valoración del criterio y conseguir una reducción de la incertidumbre que genera la selección de un valor determinista. En este caso se ha desarrollado para tres de los criterios más utilizados, pero podría ajustarse para más o para otros criterios. El proceso para desarrollar esta metodología se ha estructurado en las siguientes fases:

- A. Estudios previos
- B. Selección de las variables de entrada y salida
- C. Determinación de las funciones de pertenencia
- D. Elaboración de las reglas de inferencia
- E. Selección del método de defuzzificación

A. Estudios previos.

Fuentes-Bargues (Fuentes, 2013) en el estudio realizado sobre cien pliegos de contratación pública determinó que los principales criterios evaluables mediante un juicio de valor eran la Memoria Constructiva (en 30,03% de los pliegos se utilizó), el Programa de Trabajos (11,07%), los Criterios Medioambientales (11,07%) y los Trabajos o Mejoras adicionales (8,67%). Siguiendo el formato de éste análisis se procedió a realizar un estudio sobre pliegos de contratación de obras de edificación. La muestra se compuso de 40 procedimientos de licitación desarrollados entre 2010 y 2015 en la Comunidad Valenciana, Región de Murcia y Andalucía. Los criterios evaluables más utilizados mediante un juicio de valor fueron la Planificación de los Trabajos (25%), Mejoras en el Proyecto (26%) y Estudio del Proyecto licitado (mediciones, memoria, etc.) con un 20%.

TABLA I

ETIQUETAS LINGÜÍSTICAS PARA LAS VARIABLES DE LA METODOLOGÍA				
Variables lingüísticas		Etiquetas lingüísticas – Intervalo difuso		
Variables de entrada	Planificación de los trabajos	Bajo [0, 10]	Medio [50]	Alto [90, 100]
	Mejoras del proyecto	Bajo [0, 10]	Medio [50]	Alto [90, 100]
	Estudio del proyecto	Bajo [0, 10]	Medio [50]	Alto [90, 100]
Variable de salida	Calificación del contratista	Malo [0, 10]	Medio [50]	Bueno [90, 100]

TABLA II

EJEMPLO DE FUNCIÓN TRIANGULAR PARA LA VARIABLE PLANIFICACIÓN		
ETIQUETA	REPRESENTACIÓN	FUNCIÓN
BAJA		$\mu_A(x)$ $\begin{cases} 1 & \text{si } x < 20 \\ (50-x)/30 & \text{si } 20 \leq x \leq 50 \\ 0 & \text{si } x > 50 \end{cases}$
MEDIA		$\mu_A(x)$ $\begin{cases} (x-20)/30 & \text{si } 20 \leq x \leq 50 \\ (80-x)/30 & \text{si } 50 \leq x \leq 80 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$
ALTA		$\mu_A(x)$ $\begin{cases} 0 & \text{si } x < 50 \\ (x-50)/30 & \text{si } 50 \leq x \leq 80 \\ 0 & \text{si } x > 80 \end{cases}$

TABLA III
REGLAS DE INFERENCIA

IF			THEN
Variables de Entrada y Etiquetas Lingüísticas			Variable de Salida y Etiqueta Lingüística
Planificación (Criterio A)	Estudio (Criterio B)	Mejoras (Criterio C)	Calificación (Z)
ALTA	BAJO	BAJAS	REGULAR
ALTA	MEDIO	BAJAS	REGULAR
ALTA	BAJO	MEDIAS	REGULAR
ALTA	ALTO	BAJAS	BUENA
ALTA	MEDIO	MEDIAS	REGULAR
ALTA	BAJO	ALTAS	BUENA
ALTA	ALTO	MEDIAS	BUENA
ALTA	MEDIO	ALTAS	BUENA
ALTA	ALTO	ALTAS	BUENA
BAJA	BAJO	BAJAS	MALA
BAJA	MEDIO	BAJAS	MALA
BAJA	BAJO	MEDIAS	MALA
BAJA	ALTO	BAJAS	REGULAR
BAJA	MEDIO	MEDIAS	REGULAR
BAJA	BAJO	ALTAS	REGULAR
BAJA	ALTO	MEDIAS	REGULAR
BAJA	MEDIO	ALTAS	REGULAR
BAJA	ALTO	ALTAS	BUENA
MEDIA	BAJO	BAJAS	MALA
MEDIA	MEDIO	BAJAS	REGULAR
MEDIA	BAJO	MEDIAS	REGULAR
MEDIA	ALTO	BAJAS	REGULAR
MEDIA	MEDIO	MEDIAS	REGULAR
MEDIA	BAJO	ALTAS	REGULAR
MEDIA	ALTO	MEDIAS	BUENA
MEDIA	MEDIO	ALTAS	BUENA
MEDIA	ALTO	ALTAS	BUENA

B. Selección de las variables de entrada y salida.

Dado los resultados obtenidos en estos análisis de pliegos se seleccionaron como variables de entrada del sistema los tres criterios que en ambos estudios tienen más influencia y son:

- Planificación de los trabajos: Se valorará la concepción global del proyecto y su calidad. Análisis y estudio de la ejecución de la obra y la organización constructiva de la misma, detallando la forma y procedimiento de su realización, cómo se realiza y la optimización de los procesos de la empresa para asegurar su correcta ejecución. Propuesta de plan de trabajo, cronograma y estudio del plazo de la obra establecido con su justificación y condicionantes que permitan su cumplimiento, incluyendo el estudio de las actividades críticas, la justificación del plazo de la obra y los condicionantes externos que puedan influir en el cumplimiento de dicho plazo.
- Mejoras en el proyecto: El objeto de éste apartado es presentar una serie de mejoras valoradas que completan la actuación. La ejecución de estas mejoras se considera de gran interés para el desarrollo de la actividad objeto del proyecto. Se deja abierto el capítulo de mejoras, entendiéndose como mejoras la utilización de las partidas del proyecto, mejoras adicionales que el licitador pueda proponer y que se podrán tener en cuenta o no en función de si representan una mejora significativa para el desarrollo de la actividad objeto del proyecto.

- Estudio del proyecto (mediciones, memorias, etc.): Estudio comparativo de las mediciones y presupuesto del proyecto y la revisión realizada por la empresa licitadora, con la justificación de las diferencias detectadas. Estudio y exposición de la relación de servidumbres y flujos necesarios para la correcta implantación de la obra. Como consecuencia del grado de conocimiento del proyecto, su ubicación, el entorno inmediato, los accesos y salidas, el licitador propondrá de manera sencilla y clara el proceso de ejecución de las obras acorde con el proyecto, la posibilidad de establecer diferentes fases, contemplando en cualquier caso, las posibles afecciones que pudieran representar, directas o indirectas, sobre el tráfico existente en la zona y el propio de la obra, así como de vecinos, peatones que acceden a la zona industrial próxima como los vinculados a la obra.

La variable de salida del sistema es una clasificación o puntuación del contratista para la adjudicación de un proyecto determinado. Esto es representado por variables lingüísticas como “mala”, “regular” o “buena” donde se muestra la idoneidad de la empresa.

C. Determinación de las funciones de pertenencia.

Las funciones de pertenencia, al igual que posteriormente las reglas de inferencia, se han elaborado por los autores de la comunicación junto con la consulta a dos técnicos de estudios de dos empresas constructoras, a un técnico del departamento de contratación de una universidad y a un técnico de

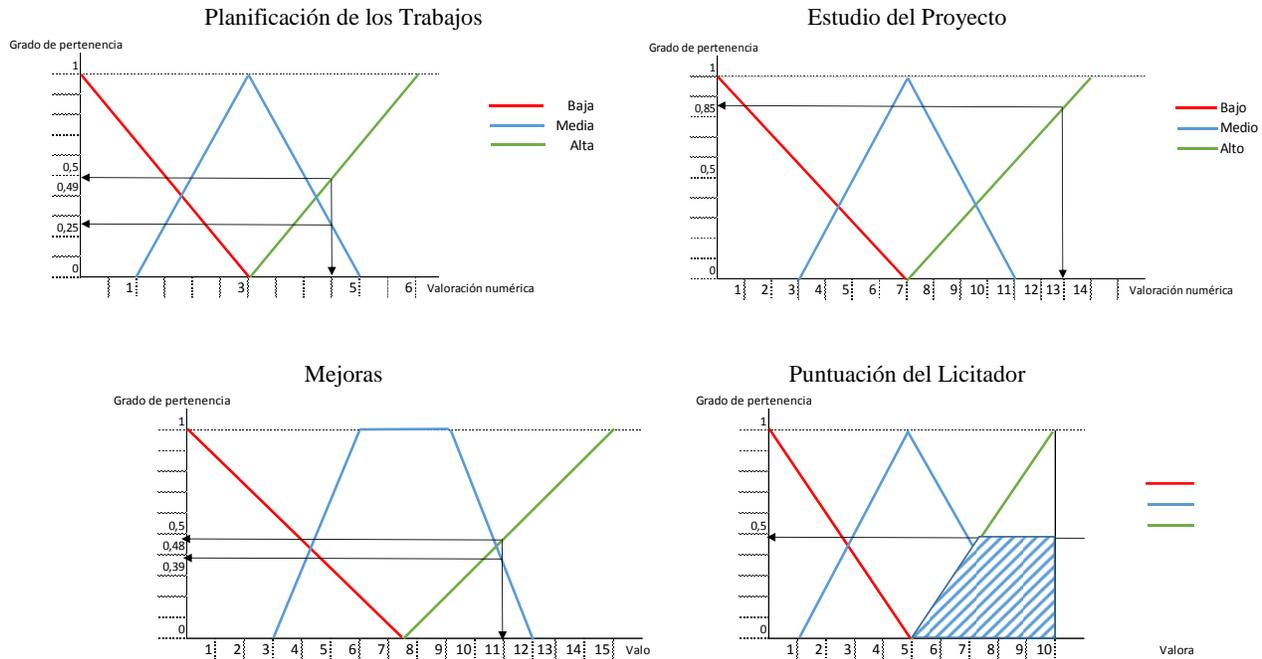


Fig. 3. Funciones de Pertenencia Variables Lingüísticas Ejemplo.

contratación de un órgano contratante regional. Las variables de entrada y la variable de salida se han modelado como variables lingüísticas. Para cada variable se han utilizado tres etiquetas lingüísticas (bajo, medio y alto) con valores numéricos en el intervalo [0, 100] (Tabla 1) y se han representado mediante números difusos triangulares y trapezoidales (Tabla 2).

D. Elaboración de las reglas de inferencia

Posteriormente, junto con el equipo de expertos, se elaboran las reglas de inferencia “IF-THEN” que serán el motor del sistema borroso. Dado que en el método propuesto se han determinado tres variables de entrada con tres particiones lingüísticas cada una, se dispondrá de un total de veintisiete reglas (Tabla 3).

El siguiente paso es combinar estas reglas en un único sistema. Los antecedentes del sistema tienen grados de pertenencia que ya han sido calculados en la etapa de fuzzyficación. Debido a que los conectores utilizados son del tipo AND (Y), se utilizará el operador “min” para la agregación de dichos antecedentes (inputs).

Una vez realizado esto, se determinará la salida fuzzy comparando las fuerzas de todas las reglas que tienen el mismo consecuente, es decir, que expresan la misma acción de salida. En este caso se utilizará el operador “max”.

De esta forma obtendremos un conjunto borroso cuya función de pertenencia representa el grado de pertenencia de que se obtenga un resultado determinado.

E. Selección del método de defuzzificación

En la defuzzificación el objetivo final es encontrar las salidas definidas o abruptas. Se utilizará el método del centroide o centro de gravedad, el cual determina el centro de gravedad del conjunto salida, resultante de la unión de las contribuciones de todas las reglas válidas (Yager, 1980).

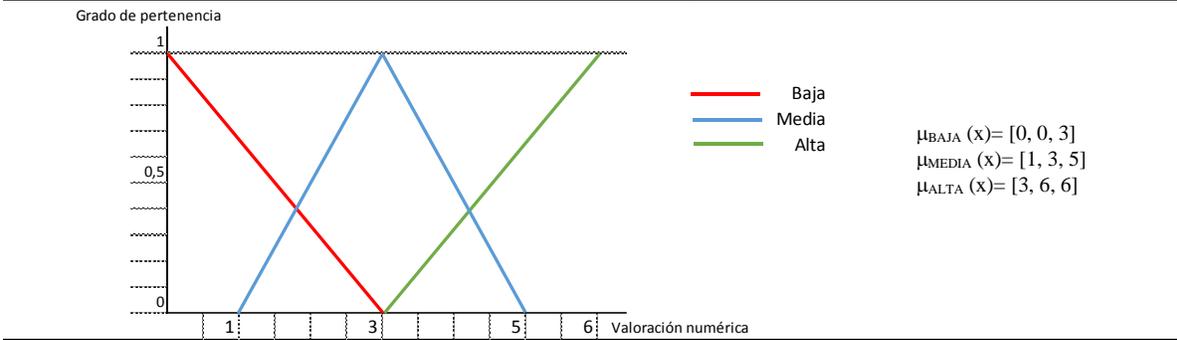
$$Y = \frac{\int_0^1 x \cdot y_i(x) d(x)}{\int_0^1 y_i(x) d(x)} \quad (8)$$

IV. CASO NUMÉRICO

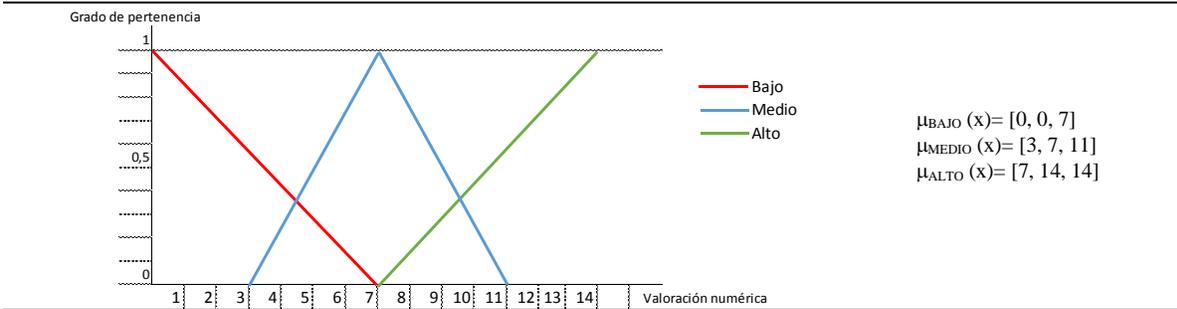
En este apartado se aplica la metodología a un caso numérico. En un pliego de licitación se indica que los criterios de evaluación mediante un juicio de valor son “Planificación de los Trabajos” con un peso de 6 puntos (sobre 100) en el global de la licitación, “Mejoras” con un peso de 15 puntos y “Estudio del proyecto y comparativo de mediciones” con 14 puntos. La calificación o puntuación del contratista indica que tendrá una escala entre 0 y 10 puntos. Una vez definidas las variables de entrada y salida del sistema, y su puntuación, se establecen las funciones de transferencia de las mismas (Tabla 4).

En este caso las funciones de pertenencia variarán en los tres casos, adaptando el universo de discurso a la máxima puntuación otorgada. Las etiquetas lingüísticas para las variables de entrada son “alto”, “medio” y “bajo”. Las

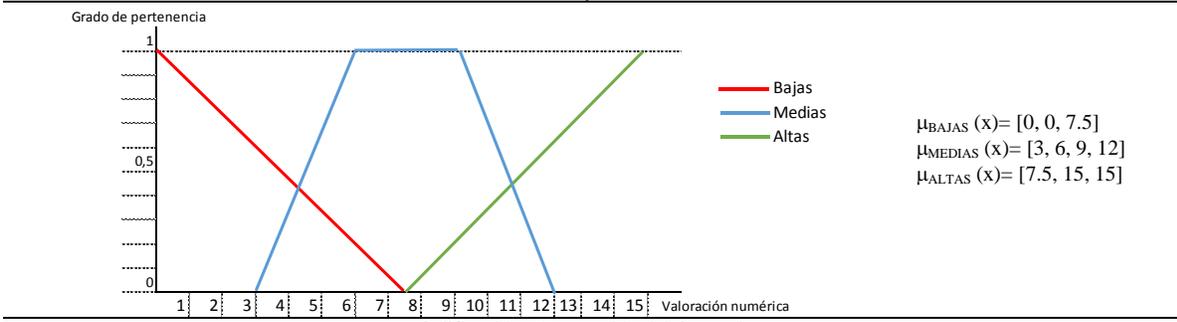
TABLA IV
FUNCIONES DE PERTENENCIA VARIABLES LINGÜÍSTICAS EJEMPLO
Planificación de los Trabajos



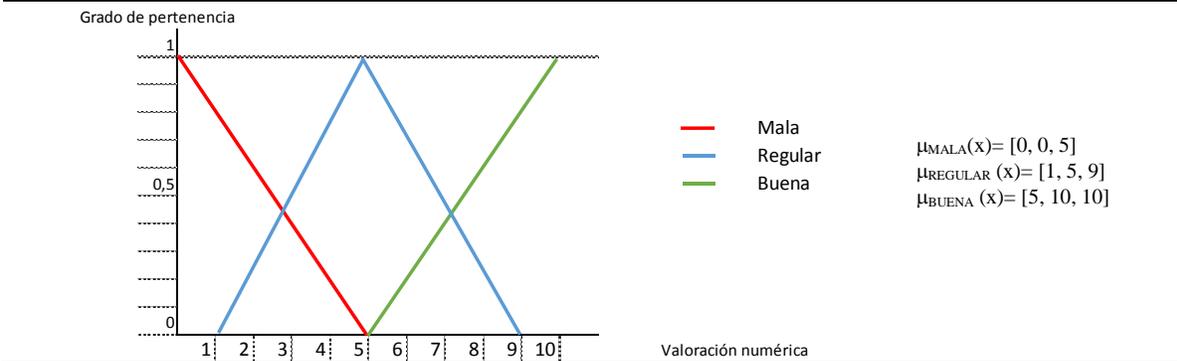
Estudio del proyecto



Mejoras



Calificación o Puntuación del Contratista



etiquetas para la variable de salida son “mala”, “regular” o “buena”. Las funciones de pertenencia utilizadas son triangulares y trapezoidales.

Una vez definidas las funciones de pertenencia y con las reglas de inferencia definidas en la Tabla 3 se procedería a la puntuación de los licitadores. Por ejemplo, para una licitador i, se analiza la documentación presentada y se puntuaría ésta de acuerdo a un método determinista mediante: 4,5 puntos (sobre

6) para “Planificación de los Trabajos”, 13 puntos (sobre 14) para “Estudio del Proyecto” y 11 puntos (sobre 15) para “Mejoras”. Mediante las funciones de pertenencia ajustadas a los pesos de los criterios (Figura 3), se convertiría los valores deterministas en valores numéricos que responderían a su proporción según las correspondientes etiquetas lingüísticas de cada uno de los criterios.

Con la entrada de los datos anteriores se activan las reglas

de inferencia siguientes:

- Regla 7: Si A es *alta* (0,49) Y B es *alto* (0,85) Y C es *medias* (0,39) ENTONCES Z es *buena*
- Regla 9: Si A es *alta* (0,49) Y B es *alto* (0,85) Y C es *altas* (0,48) ENTONCES Z es *buena*
- Regla 25: Si A es *media* (0,25) Y B es *alto* (0,85) Y C es *medias* (0,39) ENTONCES Z es *buena*
- Regla 27: Si A es *media* (0,25) Y B es *alto* (0,85) Y C es *altas* (0,48) ENTONCES Z es *buena*

Para la agregación de los antecedentes (inputs) se utiliza operador “min”. De esta manera se pueden producir diversas combinaciones dependiendo de los diferentes grados de pertenencia:

- Regla 7 = $\mu_{ALTA}(4,5) \wedge \mu_{ALTO}(13) \wedge \mu_{MEDIAS}(11) = \min\{0,49, 0,85, 0,39\} = 0,39$
- Regla 9 = $\mu_{ALTA}(4,5) \wedge \mu_{ALTO}(13) \wedge \mu_{ALTAS}(11) = \min\{0,49, 0,85, 0,48\} = 0,48$
- Regla 25 = $\mu_{MEDIA}(4,5) \wedge \mu_{ALTO}(13) \wedge \mu_{MEDIAS}(11) = \min\{0,25, 0,85, 0,39\} = 0,25$
- Regla 27 = $\mu_{MEDIA}(4,5) \wedge \mu_{ALTO}(13) \wedge \mu_{ALTAS}(11) = \min\{0,25, 0,85, 0,48\} = 0,25$

Para obtener una única salida del proceso de control debemos agregar estos consecuentes y puesto que se trata de una operación disyuntiva del tipo OR, utilizamos para ello el operador MAX.

$$\mu_{BUENA} = \text{Max} \{0,39, 0,48, 0,25, 0,25\} = 0,48$$

Para obtener el resultado final se procede a defuzzificar el consecuente borroso inferido. Para ello, utilizamos el método del centro de gravedad y la puntuación obtenida por el licitador es de 7,3 (sobre 10). De esta manera se procedería con cada uno de los licitadores que participen en el procedimiento de contratación.

V. CONCLUSIONES

La aplicación de la lógica difusa en contratación pública permite establecer procedimientos de valoración para los criterios evaluables mediante un juicio de valor, bien a través de variables lingüísticas o bien a través de valores deterministas, que abarquen todo el espectro posible de puntuaciones y permitan reducir la incertidumbre y arbitrariedad del proceso.

Una de las ventajas de los métodos de valoración de criterios basados en la lógica difusa es que el sistema puede aprender y evolucionar a medida de que se disponen de más datos, ajustando las reglas de inferencia o incrementando el número de etiquetas lingüísticas de cada una de las variables de entrada, permitiendo obtener resultados que modelicen mejor la subjetividad de los evaluadores.

REFERENCIAS

Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M.C., Pastor-Ferrando, J.P., Fernández-Diego, M. (2012). The iso-Score Curve

Graph. A new tool for competitive bidding. *Automation in Construction*, 22, 481-490.

Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M.C., Cañavate-Grimal, A. (2013). On competitive bidding: Scoring and position probability graphs. *International Journal of Project Management*, 31(3), 434-448.

Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M.C., Cañavate-Grimal, A., Pellicer, E. (2013). Detecting abnormal and collusive bids in capped tendering. *Automation in construction*, 31, 215-229.

Bendaña, R., Del Caño, A., De la Cruz, P. (2008). Contractor selection: fuzzy control approach. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35 (5), 473-486.

Dubois, D., Prade, H. (1994). Fuzzy Sets: A Convenient Fiction for Modeling Vagueness and Possibility. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 2, 6-21.

España (2011). Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de Noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 276, 16 Noviembre 2011, 117729-117914.

European Union (2014). Directive 2014/24/CE of the European Parliament and of the Council of 26th February 2014, on public procurement and repealing Directive 2004/18/EC. *Official Journal of the European Union*, 28th March 2014, L 94, 65-242.

Fuentes-Bargues, J.L., González-Gaya, C., González-Cruz, M.C. (2015). La contratación pública de obras: situación actual y puntos de mejora. *Informes de la Construcción*, Vol. 67, nº 537. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.130>.

Fuentes-Bargues, J.L., González-Gaya, C. (2013). Analysis of the Scoring Formula of Economic Criteria in Public Procurement. *International Journal of Economic Behavior and Organization*, 1(1), 1-12.

Fuentes-Bargues, J.L., González-Gaya, C. (2013). Determination of Disproportionate Tenders in Public Procurement. *Journal of Investment and Management*, Vol. 2, No. 1, 1-9.

Fuentes Bargues, J.L. (2013). Propuesta metodológica para la determinación del criterio de adjudicación económico de los concursos públicos. Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

GTD (2006). Global Trade Negotiations. Obtenido de: <<http://www.progressivestates.org>>. Acceso: Septiembre 2013.

Lam, K.C., Ng, S.T., Tiesong, H., Skitmore, M., Cheung, S.O. (2000). Decision support system for contractor pre-qualification-artificial neural network model. *Engineering Construction and Architectural Management*, 7 (3), 251-266.

- Nguyen, V.U. (1985). Tender evaluation by fuzzy sets. *Journal of construction Engineering and Management*, 111, 231 - 243.
- Nieto-Morote, A., Ruz-Vila, F. (2012). A fuzzy multi-criteria decision-making model for construction contractor prequalification. *Automation in Construction*, 25, 8-19.
- OECD Observer (2009) (Organisation for Economic Co-operation and Development).. Bribery in Procurement, Methods, Actors and Counter-Measures.
- Skitmore, R. (2002). Identifying non-competitive bids in construction contract auctions. *OMEGA: International Journal of Management Science*, 30, 443-449.
- Waara F., Bröchner J., (2006). Price and Nonprice Criteria for Contractor Selection. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(8), 797-804.
- Wong J.M.W., Chiang Y.H., Ng T.S. (2008). Construction and economic development: the case of Hong Kong. *Construction Management and Economics*, 26(8), 813-824.
- Yager, R.R. (1980). On a general class of fuzzy connectives. *Fuzzy Sets & Systems*, 4, 235-242.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information Control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. Part I. *Information Science*, 8, 199-249; Part II. *Information Science* Vol. 8, 301-357; Part III, *Information Science* Vol. 9, 43-80.
- Zimmermann, H.J. (1991). *Fuzzy Set Theory—and Its Application*. 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.