

VALORACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS FUZZY DE DECISIÓN MULTICRITERIO, DE LOS FACTORES QUE CONFIGURAN EL ENTORNO DEL PROCESO PROYECTUAL.

Ana M^a Nieto Morote ^P, M^a del Socorro García Cascales.

RESUMEN

La resolución de un concurso de ideas y méritos para desarrollar un proyecto de rehabilitación y adaptación de un edificio implica planteadas diversas soluciones arquitectónicas es identificar la mejor solución en base a diversos criterios. No todos los criterios tienen la misma importancia por lo que es preciso establecer una medida de la influencia de los criterios en la valoración final de las alternativas planteadas. La dificultad de la valoración de la importancia relativa de cada criterio se basa en la naturaleza de los mismos, en general, se trata de criterios cualitativos por lo que suele resultar difícil establecer una puntuación. Para tratar este tipo de problemas se ha desarrollado un método de ponderación basado en la Teoría de los Conjuntos Difusos que permite abordarlos de una forma operativamente sencilla. A partir de las valoraciones comparativas de la importancia entre criterios dos a dos, efectuadas en términos lingüísticos, términos difusos o valoraciones precisas, se determina la valoración global de la importancia de cada criterio.

ABSTRACT

In this paper we present an approach for solving the weighting criteria assignment problem that is associated to many multicriteria decision analysis (MCDA) procedures.

Reviewing the literature on methods for determining the weights of criteria using fuzzy pairwise comparisons, we have noticed that these methods cannot be used in many problems because of:

- The fuzzy reciprocal judgement matrix must be positive.
- Data a_{ij} cannot be quoted in fuzzy form with a membership function .

- Due to the inconsistency in pairwise comparison, the equation systems that we have to solve could have several solutions and the convergence of the calculation is not guaranteed.

We propose a multi-expert method based on a hierarchical structure and fuzzy pairwise comparison for the decision criteria, with a pre-processing of the expert opinions to reduce the inconsistency of their comparisons. The most important properties of this new method are:

- The values for rating of criteria i with respect to criteria j can be expressed in linguistic terms.
- The values for W_i (weight of criteria i) can be crisp or fuzzy.
- There can be multiple decision-makers.
- The solutions are unique and easy to obtaining.

1.- INTRODUCCIÓN.

Para desarrollar sus actividades, la Universidad Politécnica de Cartagena contaba inicialmente con los edificios universitarios del Paseo Alfonso XIII. Este espacio resultaba insuficiente, debido a las necesidades de espacio creadas por las nuevas titulaciones a implantar, lo que obligó a buscar espacios para ubicar nuevos edificios universitarios. El Ayuntamiento de Cartagena optó por la implantación de la nueva sede universitaria en un Conjunto Histórico abandonado de gran valor artístico, situado en una de las zonas más degradadas de la ciudad. De este modo se conseguiría, no sólo dar solución al problema de necesidad de espacios de la Universidad sino que se lograría revitalizar la zona. Fruto de esta decisión ha sido la ya recuperación del mayor volumen construido del Conjunto Histórico, el Antiguo Hospital de Marina, que ahora se completa con la integración del Cuartel de Antiguones. La resolución del Concurso de Ideas y Méritos para desarrollar el proyecto de rehabilitación y adaptación del edificio del Cuartel de Antiguones no es más que dar respuesta a un problema de decisión multicriterio: planteadas diversas soluciones arquitectónicas es necesario identificar la mejor solución en base a diversos criterios.

2.- METODOLOGÍA PROPUESTA.

Para resolver el problema planteado anteriormente se siguen los siguientes pasos:

2.1.- Definición del grupo de expertos.

Para definir los criterios de decisión y establecer la valoración de la importancia relativa entre los mismos se ha constituido un grupo de siete expertos. Este grupo ha sido cuidadosamente seleccionado de forma que están representadas todas las disciplinas involucradas en proyectos tan particulares como la rehabilitación de antiguos edificios. Así el grupo lo forman un arqueólogo especializado en Patrimonio Arquitectónico, dos Arquitectos especialistas en estructuras, un ingeniero industrial especialista en instalaciones, el Director del Área de Urbanismo del Excmo Ayuntamiento de Cartagena, una aparejadora con experiencia en obras de rehabilitación y un arquitecto con experiencia en rehabilitación.

2.2.- Estructura jerárquica y comparación binaria entre criterios.

Las soluciones arquitectónicas del edificio, previsto para albergar la Biblioteca General de la Universidad y la Escuela Técnica Superior de Telecomunicaciones, deberán ser coherentes con la filosofía ligada al desarrollo del recinto del Hospital de Marina y además deberán tener en cuenta los siguientes criterios de intervención:

- Solución espacial interna: primarán los criterios de flexibilidad y adaptabilidad a las posibles modificaciones de uso futuro.
- Resolución arquitectónica externa y relación con el entorno.
- Rehabilitación estructural y constructiva que deberá plantearse mediante una actitud sensible respecto a la autenticidad tipológica e histórica de esta pieza monumental.
- Carácter y simbolismo: este edificio tendrá como uno de sus destinos fundamentales albergar la Biblioteca General Universitaria.

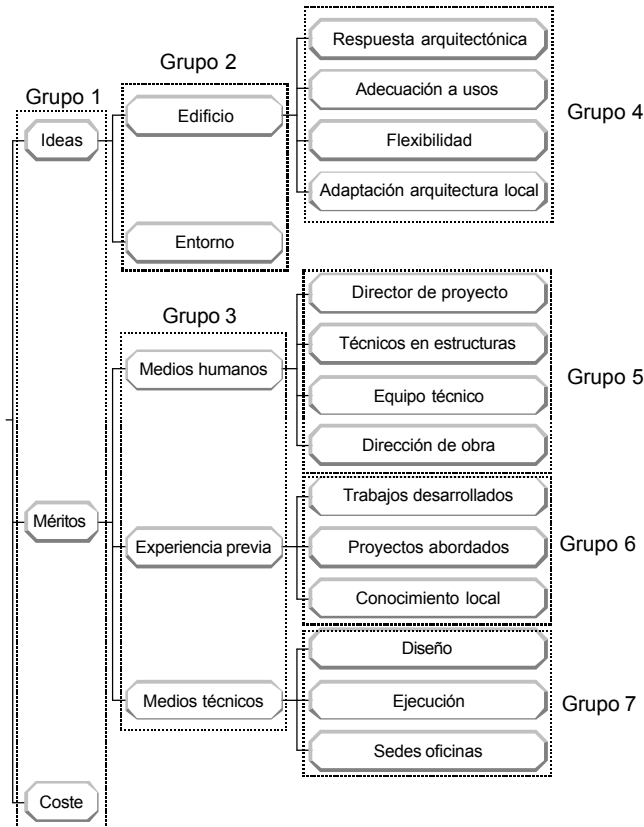


Figura 1: Criterios definidos y su estructura jerárquica.

Partiendo de esta información, el grupo de expertos define por consenso la estructura jerárquica de criterios de decisión mostrada en la Figura 1. Se establecen siete grupos, formados por criterios de un mismo nivel jerárquico que proceden de un mismo criterio del nivel inmediatamente superior. Los expertos deben comparar dos a dos, los criterios pertenecientes a un mismo grupo **empleando términos lingüísticos**.

G-3	Respuesta arquitectónica	Adecuación usos	Flexibilidad	Adaptación arquitectura local
Respuesta arquitectónica	-	Me	BMe	Mme
Adecuación usos	Ma	-	I	I
Flexibilidad	BMa	I	-	I
Adaptación arquitectura local	MMa	I	I	-

Tabla 1: Ejemplo de comparación binaria entre criterios utilizando términos lingüísticos.

Donde:

MuMa significa *Muchísimo más importante que*

MMa significa *Mucho más importante que*

BMa significa *Bastante más importante que*

Ma significa *Más importante que*

PMa significa *Un poco más importante que*

I significa *Igual de importante que*

MuMe significa *Muchísimo menos importante que*

MMe significa *Mucho menos importante que*

BMe significa *Bastante menos importante que*

Me significa *Menos importante que*

Pme significa *Un poco menos importante que*

2.3.- Conversión de los términos lingüísticos en conjuntos borrosos.

Se propone un sistema de aproximación numérica para convertir términos lingüísticos en sus correspondientes números difusos que consta de ocho escalas de conversión, propuestas mediante síntesis y modificación de los trabajos realizados entre otros por Baas y Kwakernaak (1977), Bonissone (1982) y Chen (1988). Los números difusos elegidos en este caso son subconjuntos borrosos $x \in [0,1] \rightarrow \mu(x) \in [0,1]$. La Tabla 2 recoge los términos lingüísticos utilizados en cada escala, y la Figura 2 muestra las funciones de pertenencia asociadas a los términos lingüísticos pertenecientes a las Escalas 6 y 8.

La determinación del número de escalas de conversión es bastante intuitivo. Dar pocas escalas sólo permitiría abordar el problema a modo de estudio previo, mientras que demasiadas escalas convertiría el sistema en complejo para utilizarlo. Miller (1965) apunta que "más de 7 o menos de 2" representan la mayor cantidad de información que un individuo puede dar sobre un objeto en la base de una valoración absoluta. En este caso, las escalas usadas consideran la teoría de Miller. Sólo es incumplida en la escala 8, puesto que se considera que este tipo de escala es aplicable a aquellos casos en los que el decisor está muy familiarizado con el contexto del problema.

En las escalas definidas, aunque el número de términos sea el mismo, los términos lingüísticos pueden ser diferentes. Además, el mismo término lingüístico tiene valores distintos en función de la escala. Esto refleja el hecho de que el mismo

término lingüístico posee diferentes significados para diferentes ocasiones (Figura 2). El principio de este sistema es seleccionar la escala más baja que contenga todos los términos empleados por el decisor *en todas* las comparaciones binarias y cuantificarlos utilizando los números difusos correspondientes.

Términos utilizados	1	2	3	4	5	6	7	8
Muchísimo menos importante								T
Mucho menos importante (MMe).			T		T	T	T	T
Bastante menos importante (BMe).							T	T
Menos importante (Me).		T	T	T	T	T	T	T
Un poco menos importante (PMe).				T	T	T	T	T
Igual de importante (I).	T	T	T	T		T	T	T
Un poco más importante (Pma).				T	T	T	T	T
Más importante (Ma).		T	T	T	T	T	T	T
Bastante más importante (BMa).							T	T
Mucho más importante (MMA).			T		T	T	T	T
Muchísimo más importante (MuMa).								T

Tabla 2: Categorías para clasificación de los expertos.

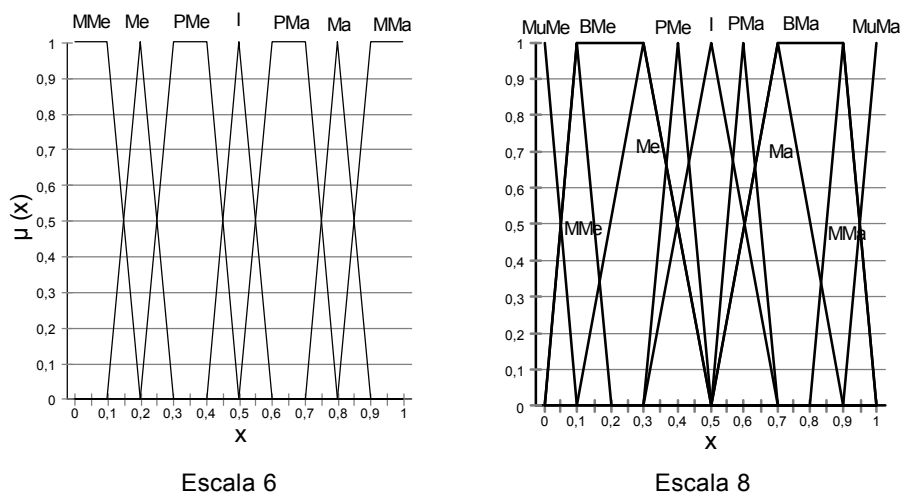


Figura 2: Funciones de pertenencia para los términos lingüísticos de las escalas 6 y 8.

Resumiendo, cada experto (e) valora mediante comparación, pares de criterios (i,j) pertenecientes a un mismo grupo (g). Cada una de esas valoraciones es cuantificada por un número difuso $v_e^g(i,j)^1$. Por ejemplo, las opiniones de los expertos sobre los criterios pertenecientes al Grupo 1 se muestran en la siguiente matriz, teniendo además en cuenta que puede haber parejas de criterios no valoradas por todos los expertos y que no se realiza la comparación de un criterio consigo mismo ya que en este caso no hay valoración borrosa posible (hemos considerado para este caso $v_e^g(i,j)=[0.5,0.5,0.5,0.5]$).

		[0, 0, 0, 0.2]		[0.8, 1, 1, 1]
		[0.9, 1, 1, 1]		[0.5, 0.6, 0.6, 0.7]
	[0.5, 0.5, 0.5, 0.5]	[0.5, 0.7, 0.7, 0.9]		[0.5, 0.7, 0.9, 1]
		[0.8, 0.9, 1, 1]		[0.7, 0.8, 0.8, 0.9]
		[0, 0, 0.1, 0.2]		[0.7, 0.8, 0.8, 0.9]
		[0.6, 0.8, 0.8, 1]		[0.8, 1, 1, 1]
		[0.9, 1, 1, 1]		[0.5, 0.7, 0.7, 0.9]
	[0.8, 1, 1, 1]			[0.8, 1, 1, 1]
	[0, 0, 0, 0.1]			[0, 0.1, 0.1, 0.2]
	[0.1, 0.3, 0.3, 0.5]		[0.5, 0.5, 0.5, 0.5]	[0.5, 0.6, 0.6, 0.7]
	[0, 0, 0.1, 0.2]			[0.4, 0.5, 0.5, 0.6]
	[0.8, 0.9, 1, 1]			[0.4, 0.5, 0.5, 0.6]
	[0, 0.2, 0.2, 0.4]			[0.8, 0.9, 1, 1]
	[0, 0, 0, 0.1]			
	[0, 0, 0, 0.2]			
	[0.3, 0.4, 0.4, 0.5]	[0, 0, 0, 0.2]		
	[0, 0.1, 0.3, 0.5]	[0.8, 0.9, 0.9, 1]		
	[0.1, 0.2, 0.2, 0.3]	[0.3, 0.4, 0.4, 0.5]		
	[0.1, 0.2, 0.2, 0.3]	[0.4, 0.5, 0.5, 0.6]		[0.5, 0.5, 0.5, 0.5]
	[0, 0, 0, 0.2]	[0.4, 0.5, 0.5, 0.6]		
	[0.1, 0.3, 0.3, 0.5]	[0, 0, 0.1, 0.3]		

Tratamiento de la inconsistencia de las valoraciones. Para números difusos como los definidos, considerando que se ha establecido para los complementarios la relación $v_{ij} = 1 - v_{ji}$ la consistencia se define como:

$$\frac{v_{ik} + v_{kj}}{2} \approx v_{ij} \quad (1)$$

Con objeto de disminuir la inconsistencia de los valores de $v_e^g(i,j)$ se plantea obtener nuevos valores de $v_e^g(i,j)$ a partir del valor original y de los valores $v_e^g(i,k)$ y $v_e^g(k,j)$

¹ Utilizamos una notación simplificada para expresar las valoraciones, sólo indicando qué valores del conjunto tienen un grado de pertenencia "0" (valores extremos) y qué valores del subconjunto tienen un grado de pertenencia "1" (valores centrales). Los números difusos se expresan mediante un vector $v = [a, b, c, d]$ para las trapezoidales y $v=[a, b, b, d]$ para las triangulares.

para $k \neq j$. Para cada valor k ($k \neq j$), se calculan los valores \exists y $($ que minimizan la expresión:

$$[v_e^g(i,k) \cdot \beta \oplus v_e^g(k,j) \cdot \alpha \oplus v_e^g(i,j)] \quad (2)$$

Una vez obtenidos los valores de \exists y $($ se recalculan los valores de $v_e^g(i,j)$ para cada k y se obtiene la media aritmética de las mismas, incluyendo el valor original.

2.4.- Integración de las opiniones de los expertos referentes a la comparación entre dos criterios y obtención del peso asociado a cada criterio relativo a su posición en la estructura jerárquica.

La valoración global de cada comparación binaria, se calcula como media aritmética de los valores suministrados por los expertos para cada posición (i,j) de la matriz correspondiente al grupo g obteniendo, un número difuso $v_g(i,j)$.

Para obtener el peso asociado a cada criterio relativo a su posición en la estructura jerárquica, utilizamos la solución propuesta por Crawford y Williams:

$$w_g^i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_g(i,j)^{1/n}, \quad j=1, \dots, n \quad (3)$$

2.5.- Obtención de pesos absolutos.

Para obtener la cuantificación global de un criterio se aplica el principio de la composición jerárquica de Saaty que extenderemos al caso de números difusos. A cada criterio se le ha asignado un peso difuso relativo al grupo al que pertenece en la estructura definida. Para cada uno de los criterios que son final de rama en la estructura citada, calcularemos su peso absoluto mediante el producto de los pesos relativos correspondientes a los criterios incluidos en esa rama. Por ejemplo, si queremos saber el peso absoluto (W) del criterio "Adecuación a usos", procederemos a definir los criterios que son precedentes del mismo, que según la Figura 1 son "Edificio" e "Ideas", y multiplicaremos sus pesos relativos (w):

$$W^{\text{adecuación a usos}} = (w_4^{\text{adecuación a usos}}) \cdot (w_2^{\text{edificios}}) \cdot (w_1^{\text{ideas}})$$

Ordenación de los pesos difusos. Del trabajo de revisión de índices de ordenación de Bortolan y Degani (1984) se puede establecer que para los valores difusos de

pesos obtenidos es indiferente el índice que se utilice para ordenarlos. Se propone utilizar el primer índice de Yager por su simplicidad que a calcula el centroide de la función de pertenencia.

Obtención de pesos cardinales exactos. El método propuesto para obtener una valoración a partir de una puntuación difusa es una modificación de los métodos difusos de ordenación propuestos por Jain (1976, 1977) y Chen (1985). El valor exacto de un número difuso M se calcula del siguiente modo:

$$\mu_T(M) = \frac{\mu_R(M) + 1 + \mu_L(M)}{2} \quad (4)$$

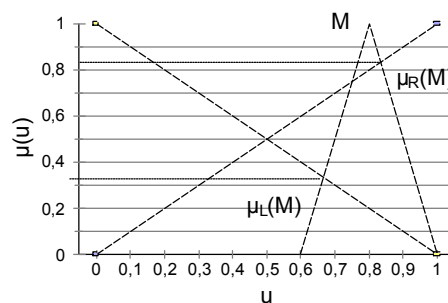


Figura 3. Valores por la derecha e izquierda de M

3.- CONCLUSIONES

Analizando los juicios de valor efectuados por los expertos, se puede afirmar que para todos ellos son más importantes las ideas y los méritos que el coste del proyecto. Esto, se contradice, a primera vista, con la ponderación y la ordenación de criterios obtenidas. Pero realizando un análisis crítico de estos valores se ve no existe tal contradicción. Las ideas y los méritos han sido divididos en subcriterios, por lo que en realidad su peso total en la valoración de alternativas es la "suma" de los pesos de los subcriterios en que han sido descompuestos. Se ve que dicha "suma" para las ideas y los méritos supera al valor del peso asociado al coste, lo cual resulta lógico considerando los datos de partida. Ésta es una paradoja presente en la ponderación de criterios cuando éstos se presentan en forma de estructura jerárquica.

CRITERIO	PESO DIFUSO	PESO EXACTO	ORDINAL
Respuesta arquitectónica	[0.0643, 0.1226, 0.1287, 0.2056]	0.153	10
Adecuación a usos	[0.1000, 0.1797, 0.1884, 0.2951]	0.217	3
Flexibilidad	[0.0925, 0.1715, 0.1778, 0.2796]	0.206	4
Adaptación a la arq. ocal	[0.0796, 0.1480, 0.1532, 0.2415]	0.180	5
Entorno	[0.2163, 0.3067, 0.3140, 0.2452]	0.307	2
Director de proyecto	[0.0677, 0.1310, 0.1402, 0.2247]	0.165	8
Técnicos en estructuras	[0.0466, 0.0929, 0.1001, 0.1659]	0.122	13
Equipo técnico	[0.0474, 0.0954, 0.1013, 0.1731]	0.126	12
Dirección de obra	[0.0678, 0.1304, 0.1395, 0.2235]	0.165	9
Trabajos desarrollados	[0.0809, 0.1418, 0.1500, 0.2290]	0.173	6
Proyectos abordados	[0.0645, 0.1214, 0.1281, 0.2020]	0.151	11
Conocimiento local	[0.0456, 0.0863, 0.0918, 0.1502]	0.093	16
Infraestructuras de diseño	[0.0440, 0.0885, 0.0955, 0.1578]	0.117	14
Infraestructuras de ejecución	[0.0770, 0.1373, 0.1469, 0.2200]	0.167	7
Sedes de oficinas	[0.0465, 0.0886, 0.0955, 0.1550]	0.116	15
Coste	[0.2659, 0.3326, 0.3506, 0.4326]	0.356	1

Tabla 3. Resultados

4. REFERENCIAS

- [BAA, 77] S. Baas et al. Rating and ranking of multiple aspect alternative using fuzzy sets..Automática, Vol. 13,Pág.47-58, 1977.
- [BOR, 91] K. Borcharding et al. Comparison of weighting judgments in multiattribute utility measurement. Management Science, Vol. 26,Pág.150-160, 1991.
- [BOR, 94] K. Bortolan et al. A review of some methods for ranking fuzzy subsets. Fuzzy Sets and Systems}, Vol. 15,Pág.1-19, 1984.
- [CHE, 92] S.J. Chen et al. Fuzzy multiple attribute decision making. Ed. Springer-Verlag, 1992.
- [CRA, 85] G. Crawford et al. A note on the analysis of subjective judgement matrices. Journal of Mathematical Psychology, Vol.29, Pág.387-405, 1985.
- [DEN, 99] H. Deng et al. Multicriteria Analysis with Fuzzy pairwise Comparisons. IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings, Pág. 726-731, 1999.
- [EFS, 82] J. Efstathiou et al. Ranking fuzzy sets using linguistic preference relations. IEEE Trans. On Systems, Man Cybernetics, Vol. SMC-12,Pág.655-659, 1982.
- [JAI, 76] R. Jain et al. Decision making in the presence of fuzzy variables. IEEE Trans. On Systems, Man Cybernetics, Vol.SMC-6, Pág.698-703, 1976.
- [SAA, 76] T.L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process. RWS publications, 1976.
- [UPCT, 2000] Servicio de contratación de la UPCT. Expediente CO-09/00. Concurso de Ideas y Méritos para el proyecto de Rehabilitación y adaptación del Edificio del Cuartel de Antiguones. 2000.
- [STI, 87] W.G.Stilwell et al. Comparing hierarchical and nonhierarchical weighting methods for eliciting multiattribute value models. Management Science, Vol.33, nº4, pp. 442-450, 1987.

CORRESPONDENCIA

Ana M^a Nieto Morote

Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadores y Proyectos.
Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar.

C/ Dr Fleming, s.n. 30202, Cartagena, Murcia.

Tel: 968 326 551

e-mail: ana.nieto@upct.es