

TOMA DE DECISIÓN EN AMBIENTE DIFUSO. APLICACIÓN A LA ELECCIÓN DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE AGUA DEPURADA

Gómez-López, MD.; García-Cascales M.S., Bayo J.; Angosto J.M.

Abstract

The reuse of treated wastewater from wastewater treatment plants (WWTP) is an international practice with a large variety of applications, i.e. irrigation, urban and recreational uses, groundwater recharge, aquaculture, and industrial uses, among others. For all of these, the quality of the water should be taken into account. But it is also important to remark that the environmental and social impact derived from treated wastewater reuse is an intrinsically complex multidimensional process. So the final decision involves multiple criteria and multiple actors. Many times uncertain information was available in social and environmental factors everyone, so it is necessary the applications of fuzzy tools to asses it. This work presents the use of multicriteria decision through the fuzzy TOPSIS method, applied to six different methodologies concerning the disinfection of treated wastewater before reusing. For this purpose, a set of criteria and subcriteria through a series of pair-wise comparisons have been used with linguistic and non-linguistic information that was processed by the experts.

Keywords: multicriteria decision making MCDM, Fuzzy TOPSIS Method, Linguistic labels, wastewater reuse.

Resumen

La reutilización del agua depurada en las plantas de tratamiento es una práctica común a nivel internacional y se aplica para numerosos usos, entre los que cabe destacar, el riego, el uso recreativo, la recarga de acuíferos, la acuicultura y el uso industrial, entre otros. Es por ello que la calidad de esta agua debe ser considerada además de los impactos sociales y ambientales derivados de su uso, lo cual le confieren un aspecto complejo y multidimensional a la decisión a tomar. Estos problemas por tanto, se caracterizan por englobar múltiples criterios y múltiples agentes intervinientes. Muchas veces las decisiones a adoptar, sobre todo en los criterios sociales y ambientales, están asistidas por información cualitativa y un tanto imprecisa, por lo que se evidencia la necesidad de la utilización de herramientas fuzzy. En este trabajo se presenta la utilización de una metodología TOPSIS con números difusos, aplicada a la elección multicriterio de la mejor técnica de desinfección del agua teniendo en cuenta criterios y subcriterios expresados de manera lingüística y numérica, cuya información es suministrada por expertos en la materia.

Palabras clave: toma de decisión multicriterio, método TOPSIS difuso, etiquetas lingüísticas, reutilización de agua depurada.

1. Introducción

La escasez de agua en determinadas regiones áridas o semiáridas, y el incremento de la demanda para usos agrícolas, usos recreativos, medioambientales, etc., ha hecho que en los últimos años haya aumentado el déficit de recursos hídricos disponibles, lo que nos obliga a buscar nuevas fuentes alternativas, como son principalmente, el agua de mar

desalada y la reutilización de agua residual depurada, procedente de depuradoras de aguas residuales urbanas o de depuradoras industriales.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se diseñan en su mayoría para eliminar los compuestos y nutrientes provenientes de la demanda biológica de oxígeno, pero después de este proceso esta agua aun contiene un elevado número de patógenos. En este sentido, la desinfección se plantea como una potente herramienta para la inactivación y destrucción de estos microorganismos con el fin de preservar la salud humana y el medio ambiente [1].

Aunque existen varios métodos de desinfección, la cloración ha sido el sistema más empleado tradicionalmente para la desinfección de efluentes depurados, aunque los residuos de cloro y la aparición de subproductos de la desinfección han motivado el desarrollo e implementación de otras tecnologías. Entre ellas, la radiación ultravioleta (UV) se presenta como la alternativa más generalizada, con miles de instalaciones en todo el mundo. Sin embargo, esta tecnología no carece de inconvenientes, entre ellos: la aparición de mecanismos microbianos capaces de reparar hebras de ácidos nucleicos dañadas y la necesidad de una turbidez extremadamente baja del agua a tratar, puesto que de lo contrario la desinfección resultaría ineficaz [2]. El uso de una técnica que combine ambas alternativas es también posible, salvando así los problemas que se derivan de la utilización de una sola de ellas.

En la actualidad existen numerosos trabajos de aplicación de modelos multicriterio relacionados con el agua, trabajos como los de Carrasquero et al. [3], sobre calidad del agua, Gómez-Limón and Berbel [4], sobre demanda de agua y Simoes et al [5] sobre el reciclado del agua en Brasil, entre otros. La aplicación de técnicas multicriterio discretas a diferentes aspectos de la reutilización de aguas depuradas puede consultarse entre otros, en los trabajos de Abu-Taleb [6], Khalil et al. [7] y más recientemente en Aragonés-Beltrán [8]. En la bibliografía no se encuentran referencias asociadas a la utilización de estas técnicas a la elección de la desinfección del agua de las depuradoras, aunque si se encuentran trabajos como los de Gómez et al. [9], que estudian diferentes técnicas de desinfección, pero solo desde el punto de vista de costes y calidad, sin entrar en técnicas multicriterio.

Por todo ello y conscientes del problema de la elección del mejor método de desinfección, llevamos varios años trabajando sobre este aspecto. En el trabajo Gómez-López et al [10], pudimos comprobar que en el planteamiento de este mismo problema para una resolución con números crisp la solución obtenida no encontraba discernimiento claro entre las alternativas elegida en primer y segundo lugar. Por todo ello en este trabajo se presenta la resolución de ese problema mediante números difusos los cuales permiten una graduación mayor en los juicios y valores de los expertos. Para ello hemos utilizado el método TOPSIS con números difusos para la modelización de las etiquetas lingüísticas.

2. Metodología

2.1 Método TOPSIS

El método TOPSIS es un método para ordenar preferencias por similitud a una solución ideal. Fue desarrollado por Hwang y Yoon [11] en 1981 y mejorada por los propios autores en 1987 y 1992, también trabajaron Zeleny [12], Lai et al [13], García-Cascales y Lamata [14] y entre otros.

En este caso ha sido elegido porque nos encontrábamos con información planteada de manera cuantitativa con valores numéricos y de manera cualitativa mediante etiquetas lingüísticas

El procedimiento de TOPSIS puede expresarse en una serie de pasos que pueden verse en Chen y Hwang [15] y que se resumen en la siguiente figura 1.

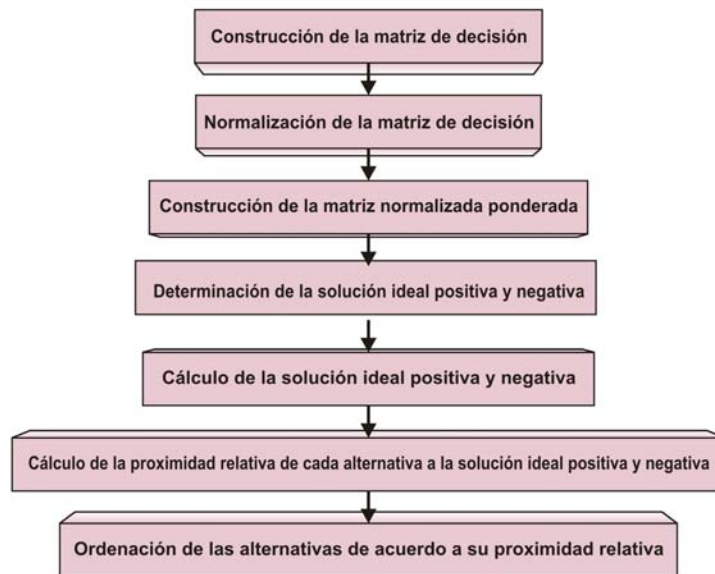


Figura 1. Pasos a seguir para el desarrollo del método TOPSIS

2.2. Variable lingüística y conjuntos difuso

La mayoría de las veces el decisor no es capaz de definir la importancia de el criterio o la bondad de la alternativa con respecto a cada criterio de una manera estricta. En muchas situaciones usamos medidas o cantidades que no son exactas pero son aproximadas.

Desde que Zaded [16], introdujo el concepto de número difuso y posteriormente lo extendió al concepto de variable lingüística, la popularidad y uso de los números difusos ha sido extraordinaria. En nuestro caso nos interesa centrarnos en el papel de las variables lingüísticas es una escala ordinal y sus términos asociados, en este caso el número triangular difuso, tal y como se utiliza en la toma de decisión multicriterio.

Por variable lingüística [17,18,19], entendemos una variable cuyos valores son palabras o frases en un lenguaje natural o artificial. Por ejemplo “edad”, es una variable lingüística si su valoración es lingüística no numérica, por ejemplo, “joven, no joven, muy joven, algo joven, viejo, no muy viejo, no muy joven, etc., en vez de 20, 21, 22, 23,...

Así, una variable lingüística se caracteriza por una quintupla

$$\{X; T(X); U; G; M\} \quad (1)$$

en la que:

X es el nombre de la variable,

$T(X)$ es el conjunto de términos de X , esto es, la colección de sus valores lingüísticos,

U es el universo de discurso,

G es una regla sintáctica para la generación de los elementos de $T(X)$

y M es una regla semántica para la asociación de los significados con los valores lingüísticos de X .

En general para los decisores es más fácil para evaluar utilizar en sus juicios términos lingüísticos. En estos casos el concepto de número difuso es más adecuado que un número real.

Por ello se identifica la variable lingüística con un conjunto difuso [20,21,22]. La teoría de los conjuntos difusos introducida por Zadeh [16] trata de modelizar aquellos problemas que son vagos, imprecisos e inciertos; esta herramienta ha sido utilizada para modelar sistemas complejos que pueden controlarse por los humanos pero que son difíciles de definir con precisión. Una colección de objetos X (universo de discurso) contiene un conjunto A que se describe mediante una función de pertenencia f_A con valores en el intervalo $[0, 1]$.

$$f_A: X \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

Así, un conjunto A puede representarse como $A = \{f_A(x); x \in X\}$, siendo f_A la función de pertenencia. La teoría básica del número difuso triangular se describe en Klir [23].

El método de defuzzificación utilizado se describe en [8], y se basa en:

$$I_{\beta, \lambda}(A_i) = \beta S_M(A_i) + (1 - \beta)\lambda S_R(A_i) + (1 - \beta)(1 - \lambda)S_L(A_i) \quad (3)$$

De esta manera se ha definido un número difuso como una función de tres integrales $S_L(A_i)$, $S_M(A_i)$ y $S_R(A_i)$, donde $S_R(A_i)$ representa el valor medio superior asociado a la función inversa de $f_A^R(x)$, $S_L(A_i)$ es el valor medio inferior de la función $g_A^L(x)$ y $S_M(A_i)$ es el área de el centro del número difuso, $\beta \in [0, 1]$ es el índice de modalidad que representa la importancia del valor central frente a los valores extremos, y $\lambda \in [0, 1]$ es el grado de optimismo del decisor. En nuestro caso hemos considerado que las tres áreas tienen el mismo peso y este correspondería al decisor neutral cuando $\alpha = 1/2$ y $\beta = 1/3$

En el proceso de cálculo se ha utilizado la toma de decisión en grupo la cual es definida por Keeney and Raiffa [24], Chen and Hwang [15] and Triantaphyllou [25] como el proceso por el que se selecciona la mejor alternativa A_i , $i=1, 2, \dots, n$ con $n \geq 2$ por una serie de decisores o expertos E_k , $k=1, 2, \dots, r$ con $r \geq 2$ teniendo en cuenta una serie de criterios C_j , $j=1, 2, \dots, m$ con $m \geq 2$ con los que las diferentes alternativas son evaluadas, considerando que n , r y m , son discretos. En este trabajo se ha utilizado un proceso de decisión homogéneo ya que los resultados de cada experto se han considerado con la misma proporción sobre la decisión en grupo.

3. Ejemplo de Aplicación

Hemos utilizado el algoritmo basado en números difusos (García-Cascales y Lamata, [26]) y en el método TOPSIS (Hwang y Yoon [11]; Chen y Hwang [15]) de decisión multicriterio, para determinar la opción preferible entre varias alternativas, del método de desinfección a utilizar para el agua depurada con destino a un uso agrario, siguiendo estos pasos:

1. Identificación de los criterios de evaluación y generación de alternativas finitas.

En la figura 2 se representa el esquema jerárquico y la identificación de criterios y alternativas. Los detalles a este respecto pueden consultarse en Gómez-López et al [10].

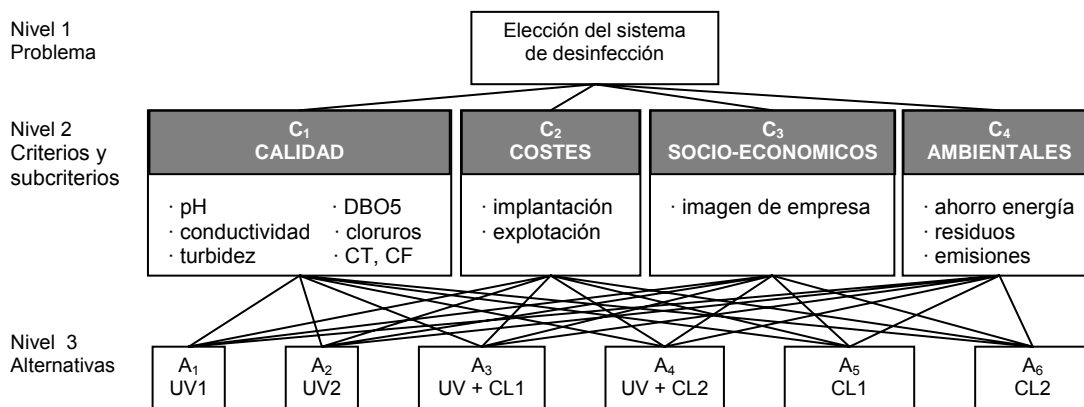


Figura 2. Esquema del proceso de decisión para la elección del mejor sistema de desinfección de agua depurada para uso agrario.

2. Identificación del peso de los criterios con las etiquetas lingüísticas tipo 1 (Tabla 1).

En la tabla 1 se presentan los valores numéricos difusos asociados a cada etiqueta lingüística utilizada, tanto para identificar el peso de los criterios y subcriterios (etiquetas tipo 1) como para la posterior valoración de las alternativas (etiquetas tipo 2).

Etiquetas tipo 1	Valor numérico	Etiquetas tipo 2	Valor numérico
Muy bajo (MB)	[0; 0; 0,1]	Muy malo/muy bajo (MM/MB)	[0; 0; 1]
Bajo (B)	[0; 0,1; 0,3]	Malo/Bajo (M/B)	[0; 1; 3]
Medio bajo (mB)	[0,1; 0,3; 0,5]	Medio malo/medio bajo (mM/mB)	[1; 3; 5]
Medio (m)	[0,3; 0,5; 0,7]	Medio (m)	[3; 5; 7]
Medio alto (mA)	[0,5; 0,7; 0,9]	Medio bueno/medio alto (mb/mA)	[5; 7; 9]
Alto (A)	[0,7; 0,9; 1]	Bueno/alto (b/A)	[7; 9; 10]
Muy alto (MA)	[0,9; 1; 1]	Muy bueno/Muy alto (Mb/MA)	[9; 10; 10]

Tabla 1: Valores numéricos asociados a las etiquetas de importancia y bondad

En la tabla 2 se presentan los valores difusos de los pesos que cada uno de los expertos han asignado a los grupos de criterios. En la tabla 1 del anexo se presentan los valores que han asignado a los subcriterios cualitativos. Los valores de los criterios cuantitativos pueden consultarse en la tabla 2 del anexo, en los que se presentan los valores medios con sus desviaciones estándar, valores que son tomados para conformar el número difuso de estos datos cuantitativos. Números difusos triangulares que se parametrizarán por una tripleta (a,b,c) según:

$$(a, b, c) = (\bar{X} - \sigma_x, \bar{X}, \bar{X} + \sigma_x) \quad (3)$$

Siendo \bar{X} la media aritmética de los valores experimentales y σ_x la desviación típica.

	C1	C2	C3	C4
E1	[0.257;0.345;0.455]	[0.143;0.241;0.409]	[0.086;0.172;0.318]	[0.143;0.241;0.409]
E2	[0.250;0.313;0.385]	[0.139;0.219;0.346]	[0.083;0.156;0.269]	[0.250;0.313;0.385]
E3	[0.257;0.345;0.455]	[0.143;0.241;0.409]	[0.086;0.172;0.318]	[0.143;0.241;0.409]

Tabla 2. Pesos normalizados para cada criterio asignados por cada experto

3. Evaluación lingüística (Etiquetas tipo 2; Tabla 1) de las alternativas en función de los criterios. En la tabla 3 se presentan las etiquetas lingüísticas que los expertos han asignado para valorar la importancia de cada criterio para cada alternativa.

Tal y como se aprecia en la Tabla 1 en este caso se han utilizado dos tipos de etiquetas, aunque con los mismos valores. Estas etiquetas van de “muy malo” a “muy bueno” y de “muy bajo” a “muy alto”. Esta diferenciación se ha realizado con el fin de facilitar a los expertos la contestación de la encuesta, ya que para criterios como por ejemplo coste es mas intuitiva la etiqueta alto y bajo y para imagen de empresa que buena y mala.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Expert 1	C11	Mb	b	b	m	M	mM
	C21	m	mA	mA	A	mB	m
	C22	m	mA	A	MA	mB	mB
	C31	mb	mb	m	mM	M	M
	C41	B	B	m	m	A	mA
	C42	B	B	mB	m	mA	A
	C43	B	B	m	mA	A	A
Expert 2	C11	b	b	b	mb	mM	m
	C21	mB	m	mA	A	B	mB
	C22	mB	m	mA	A	B	mB
	C31	b	b	mb	m	mM	mM
	C41	B	B	m	mB	A	mA
	C42	MB	MB	B	mB	m	mA
	C43	B	B	mB	m	mA	A
Expert 3	C11	b	b	Mb	mb	mM	mb
	C21	A	A	MA	MA	mA	mA
	C22	A	MA	MA	MA	m	A
	C31	Mb	Mb	b	b	mb	mb
	C41	mA	m	B	MB	m	mB
	C42	MB	MB	mB	mB	A	A
	C43	MB	MB	B	B	B	B

Tabla 3. Etiquetas lingüísticas para la valoración de cada criterio para cada una de las alternativas

4. Construcción de la matriz de decisión con números difusos y construcción de la matriz ponderada normalizada asociada.
5. Determinación de la solución ideal positiva y la solución ideal negativa y cálculo de la separación de cada alternativa a las mismas.
6. Cálculo de la proximidad relativa $(\bar{R}_i^a, \bar{R}_i^b, \bar{R}_i^c)$ de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa mediante el índice de proximidad.

En la figura 3 se representa gráficamente el resultado obtenido para el índice de proximidad para cada alternativa en el proceso de decisión de cada experto por separado y el resultado final del grupo.

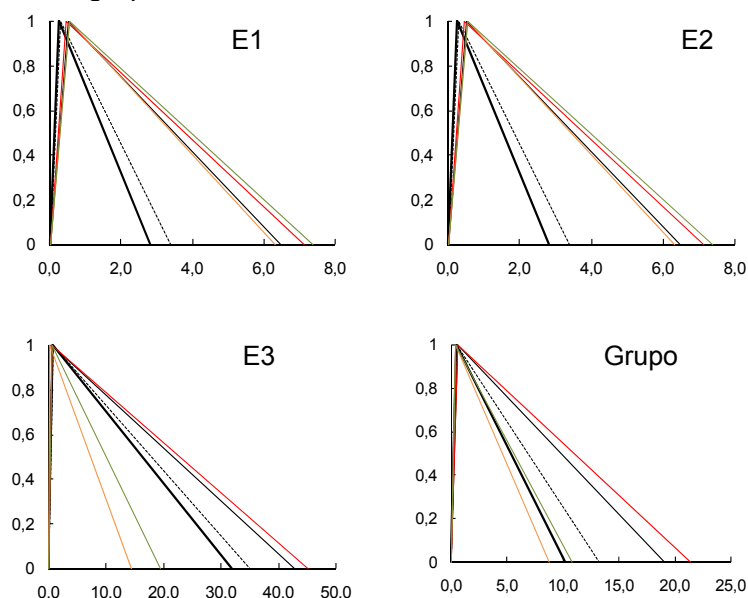


Figura 3. Resultados en números difusos de la proximidad relativa, \bar{R}_i (orden de preferencia) de A1 (—), A2 (----), A3 (—), A4 (—), A5 (—) y A6 (—) para cada uno de los expertos y para el grupo.

7. Defuzzyficación y definición del orden de preferencia de las alternativas en crisp.

Como puede apreciarse en la Figura 3 la decisión final con los números difusos no es clara, debido al solapamiento de las gráficas. Por tanto se hace necesario el uso de una herramienta de defuzzyficación. Los valores obtenidos en este proceso para la decisión en grupo se presentan en la tabla 4.

En la Tabla 4 se presentan los datos de los coeficientes de proximidad y el orden de las alternativas obtenidas para la resolución del problema directamente con números crisp (Gómez-López et al. [10]) y para la resolución con números difusos utilizando una defuzzyficación posterior.

	Crisp		Difusos	
	R	Orden	R	Orden
A1	0.46	4	2.04	5
A2	0.52	3	2.58	3
A3	0.72	2	3.61	2
A4	0.72	1	3.99	1
A5	0.33	5	1.70	6
A6	0.28	6	2.09	4

Tabla 4. Resultados de los coeficientes de proximidad y orden de las alternativas para los cuatro expertos y el tratamiento de grupo

Según se desprende de los resultados propuestos en la tabla 4, la mejor alternativa será la cuarta, en ambos casos. Hay que destacar que con el cálculo con números difusos se ha producido un mayor discernimiento entre las alternativas 4 y 3, que con números crisp era bastante imperceptible.

4. Conclusiones

Se ha propuesto un análisis con números difusos por tratarse de un problema con incertidumbre en algunos de los criterios propuestos y por buscar una alta precisión en la resolución del problema. Se ha elegido el método TOPSIS por permitirnos el conjugar en la decisión criterios cuantitativos y cualitativos, el uso de números difusos y de etiquetas lingüísticas. Es cierto que se podría haber usado el método TOPSIS clásico (con números crisp) pero los resultados no ofrecían discernimiento entre las alternativas A3 y A4.

Al igual que ocurrió con el cálculo con números crisp la alternativa que se ha desprendido como la mejor ha sido la opción mixta de ultravioleta con cloración entre 0,71 y 0,87 ppm, encontrándose en este caso que la diferencia en el coeficiente de proximidad con la segunda mejor alternativa se encontraba a mayor distancia. Aunque el resultado obtenido es el mismo dada la pequeña diferencia entre la alternativa mejor y la siguiente, el cálculo con números difusos podría haber experimentado un cambio en la decisión.

Desde el punto de vista del problema sería interesante implementar la decisión con números difusos para otros usos del agua, como puede ser el urbano o el industrial. Asimismo, sería interesante también el trabajar con expertos con diferente peso sobre la decisión final, con el fin de acercarnos cada vez más a la solución más real. Por ejemplo, en el caso del agua para riego, habría sido interesante el contar como expertos con agricultores y representantes de órganos de gobierno con capacidad de decisión.

Referencias

- [1] Huertas E., Salgot M., Hollender J., Weber S., Dott W., Khan S., Schäfer A., Messalem R., Bis B., Aharoni A. and Chikurel, H., "Key objectives for water reuse concepts". *Desalination*, Vol. 218, 2008, pp. 120-131.
- [2] United States Environmental Protection Agency. "EPA/832/F-99/064". Office of Water, Washington, D.C. 1999.
- [3] Carrasqueño, N., Najul, M.V., and Sánchez, R., "Enfoque multicriterio para la evaluación de la calidad del agua", *Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV*, Vol. 19 (3), 2004. pp. 31-41.
- [4] Gómez-Limón, J.A., and Berbel, J., "Multicriteria analysis of derived water demand functions: A Spanish case study", *Agricultural Systems*, 63, 2000, pp. 49-72.
- [5] Simoes C.F., Nunes K.R.A., Xavier L.H., Cardoso R. and Valle R. "Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brasil". *Omega*, Vol. 36 (3), 2006, pp. 395-404.
- [6] Abu-Taleb, "Application of multicriteria analysis to the desing of wastewater treatment in a nationally protected area", *Environmental Engineering and Policy*, 2, 2000, pp. 37-46.
- [7] Khalila, WA, Shanablehb A., Rigbya P, Kokot S., "Selection of hydrothermal pre-treatment conditions of waste sludge destruction using multicriteria decision-making", *Journal of Environmental Management*, 75, 2005, pp. 53-64
- [8] Aragonés-Beltrán P., Mendoza-Roca J.A., Bes-Piá A., García-Melón M., Parra-Ruiz E., "Application of multicriteria decision analysis to jar-test results for chemicals selection in the physical-chemical treatment of textile wastewater", *Journal of Hazardous Materials* 164, 2009, pp. 288-295
- [9] Gómez, M., Plaza, F., Garrafón, G., Pérez, J. and Gómez M.A. "A comparative study of tertiary wastewater treatment by physico-chemical-UV process and macrofiltration-ultrafiltration technologies". *Desalination*, Vol. 202, 2006, pp. 369-376.
- [10] Gómez-López M. D., García-Cascales M. S., Bayo J., Moreno J. M. "Utilización de técnicas de análisis multicriterio en la elección de un sistema de desinfección de agua residual". *Proceedings of the XI Congreso internacional de ingeniería de proyectos*, Vol. 1, 2007, pp. 1112-1122.

- [11] Hwang, C.L y Yoon, K. Multiple Attribute Decision Methods and Applications, Springer, Berlin Heidelberg, 1981.
- [12] Zeleny, M. Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, New York, 1982
- [13] Lai, Y.J, Liu, T.Y y Hwang, C.L. TOPSIS for MODM, European Journal of Operational Research 76 (3), 486-500, 1994.
- [14] García-Cascales, M.S y Lamata, M.T. A modification to the index of Liou and Wang for ranking fuzzy number. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 411-424, 2007
- [15] Chen, S.J y Hwang, C.L. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [16] Zadeh, L.A. Fuzzy sets, Information and Control 8 338–353, 1965.
- [17] Zadeh L.A., “The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part 1.” *Information Sciences*, 8, 1975, pp. 199-249.
- [18] Zadeh L.A., Kacprzyk J. (eds). Computing with Words in Information / Intelligent Systems 1. Foundations. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Physica-Verlag (Springer-Verlag), Heidelberg and New York. Vol. 34 1999.
- [19] Zadeh L.A., Kacprzyk J., “Computing with Words in Information/Intelligent Systems 2. Applications. Studies in Fuzziness and Soft Computing”. Physica-Verlag (Springer-Verlag), Heidelberg and New York. Vol. 33 1999.
- [20] Bellman R.E., L.A. Zadeh., “Decision-making in a fuzzy environment”, *Management Science*, 17, 1970, pp. 141-164.
- [21] Kacprzyk J., Yager R.R., “Linguistic summaries of data using fuzzy logic”, *International Journal of General Systems*, 30, 2001, pp. 133-154.
- [22] Kerre E.E.. “The use of fuzzy set theory in electrocardiological diagnostics”, in: M.M. Gupta and E. Sanchez, Eds., *Approximate Reasoning in Decision Analysis* Amsterdam; North-Holland 1982, pp.277-282.
- [23] Klir G.J. Yuan B., “Fuzzy sets and Fuzzy Logic”, Prentice Hall PTR, New Jersey e d. 1995
- [24] Keeney, R., Raiffa, H., *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, Wiley: New York, 1976
- [25] Triantaphyllou E. *Multi-Criteria decision making methods: A comparative study*. The Netherlands: Kluwer Academic, 2000.
- [26] García-Cascales, M.S y Lamata, M.T. Un método algorítmico para extender TOPSIS en problemas de decisión con números difusos. *ESTYLF Ciudad Real* 313-318. 2006

Agradecimientos

Este artículo se ha elaborado bajo los proyectos, TIN2008 - 06872 - C04-04, que están financiados por la DGICYT y Séneca 08824/PPC/08, financiado por la Comunidad Autónoma de La Región de Murcia.

Correspondencia (Para más información contacte con):

M^a del Socorro García-Cascales
 Dpto Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos
 Universidad Politécnica de Cartagena
 C/Dr Fleming s/n
 30201 Cartagena (Murcia)
 Teléfono +34 968 326574
 FAX +34 924 32 65 00
 E-mail: socorro.garcia@upct.es

Anexo

	C11	C21	C22	C31	C41	C42	C43
E1	[0.029;0.055;0.099]	[0.050;0.114;0.256]	[0.064;0.127;0.256]	[0.086;0.172;0.318]	[0.042;0.114;0.315]	[0.018;0.064;0.220]	[0.018;0.064;0.220]
E2	[0.028;0.050;0.084]	[0.049;0.104;0.216]	[0.063;0.115;0.216]	[0.083;0.156;0.269]	[0.073;0.148;0.296]	[0.031;0.082;0.207]	[0.031;0.082;0.207]
E3	[0.029;0.055;0.099]	[0.050;0.114;0.256]	[0.064;0.127;0.256]	[0.086;0.172;0.318]	[0.042;0.114;0.315]	[0.018;0.064;0.220]	[0.018;0.064;0.220]

Tabla 1 anx: Pesos normalizados para cada subcriterio cualitativo asignados por cada experto

Subcriterios	Alternativas					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
C12: Conductividad(μ S/cm)	2647 \pm 299	2592 \pm 115	2458 \pm 190	2490 \pm 107	2296 \pm 164	2210 \pm 280
C13: Turbidez (unt)	1.3 \pm 0.5	1.8 \pm 0.7	2.0 \pm 0.6	2.8 \pm 0.3	5.7 \pm 0.9	4.9 \pm 0.8
C14: DBO ₅ (% de reducción)	49.7 \pm 8.0	44.4 \pm 9.7	25.0 \pm 4.2	27.1 \pm 5.7	77.5 \pm 5.9	87.0 \pm 3.2
C15: Cloruros (mg/L)	533.8 \pm 96.7	522.3 \pm 20.4	463.0 \pm 12.8	455.2 \pm 26.5	309.4 \pm 7.2	299.3 \pm 16.8
C16: Coliformes totales (% de reducción)	96.2 \pm 9.0	99.4 \pm 5.2	94.5 \pm 2.3	91.4 \pm 6.2	99.6 \pm 7.1	100.0 \pm 8.3
C17: CF (% de reducción)	97.8 \pm 7.1	100.0 \pm 6.0	95.0 \pm 7.3	95.0 \pm 9.2	99.2 \pm 5.4	82.6 \pm 8.1

Tabla 2 anx: Valores numéricos de los criterios cuantitativos, obtenidos experimentalmente en laboratorio afectados con su desviación estándar