

INCIDENCIA DE LA INCLUSIÓN DE LOS FACTORES SOCIALES Y AMBIENTALES EN LA TOMA DE DECISIÓN MEDIANTE MÉTODOS MULTICRITERIO

Gómez-López M.D.^(p), García-Cascales M.S., Angosto J.M., Bayo J.

Abstract

Technical and economic factors have to date been the principal points to take into account in decision making in engineering projects. It has become increasingly patent that social and environmental criteria need to be tackled within these problems. Thus we can see how the social acceptance regarding a company policy or the environmental benefits of one or other production alternative, are factors that have an increasingly greater weight in these decisions. It is for that reason that we present the case of the election of a disinfection system for treated waste water for agricultural use. In this case, water quality, costs, social and environmental criteria have been considered. We have been able to observe, by means of a sensitivity analysis, how the final decision changes depending on the weight given to these factors. For each of the experts consulted the inclusion of these factors leads to certain alternatives being prioritized over others, a situation which did not occur when only quality and cost factors were considered.

Keywords: group decision; social criteria; environmental criteria; aid decision support

Resumen

Los factores técnicos y económicos han sido hasta el momento los principales puntos a tener en cuenta en la toma de decisiones en los proyectos de ingeniería. Cada vez se hace más patente la necesidad de abordar los criterios sociales y ambientales dentro de estos problemas. Así podemos ver como la aceptación social respecto a una política de empresa o los beneficios ambientales de una alternativa productiva u otra, son factores que cada vez tienen un peso mayor en estas decisiones. Es por ello que presentamos el caso de la elección de un sistema de desinfección del agua depurada para uso agrícola. En este caso se han considerado criterios de calidad del agua, costes, sociales y ambientales. Hemos podido observar, mediante un análisis de sensibilidad, cómo cambia la decisión final en función del peso que se le den a estos factores. Para cada uno de los expertos consultados la inclusión de estos factores hace que se prioricen unas alternativas frente a otras, hecho que no ocurría al considerar sólo los factores de calidad y costes.

Palabras clave: decisión en grupo, criterios sociales, criterios ambientales, ayuda a la toma de decisión

1. Introducción

La recuperación de agua residual tratada para distintos usos es una herramienta interesante, que contribuye a una mejora en la gestión de los recursos hídricos en todo el mundo. Este hecho es de especial importancia en las zonas áridas y semiáridas, como es el caso de la Región Mediterránea, donde los recursos hídricos son cada vez más escasos y de peor calidad [1].

En la actualidad, una gran cantidad de agua residual aportada a las depuradoras municipales tiene un origen industrial, hecho especialmente destacado en la Región de Murcia, donde estos efluentes han crecido hasta suponer un 50% del total de agua residual descargada en colectores municipales.

Tal y como se conoce, la reutilización de agua residual tratada procedente de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) es una práctica habitual con una gran variedad de aplicaciones, destacando entre ellas el uso agrícola, la recarga de acuíferos, acuicultura y el riego de parques y jardines. En todos los casos, deberán observarse los parámetros de calidad del agua a utilizar.

El tratamiento biológico aplicado en las depuradoras consigue rebajar la carga orgánica biodegradable del agua así como un elevado número de nutrientes, pero el efluente obtenido contiene aún un elevado número de microorganismos patógenos que habrá que eliminar antes de su uso. En este sentido, la desinfección es una herramienta esencial para la inactivación y destrucción de estos patógenos, asegurando así la protección de la salud humana así como el cuidado del medio ambiente donde esta agua va a ser aplicada [2].

El empleo de cloro como agente desinfectante ha sido, de forma tradicional, el sistema de desinfección química más usual en la mayoría de las depuradoras [3]. Este procedimiento tiene, sin embargo, efectos secundarios debido a la formación de subproductos de cloración tales como los trihalometanos y distintos ácidos haloacéticos, que han mostrado su potencial carcinógeno. En el uso de desinfectantes físicos, se ha empleado la radiación ultravioleta como procedimiento seguro para la desinfección del agua residual depurada. Esta tecnología elimina con eficiencia los microorganismos entéricos sin originar subproductos a las dosis de radiación empleadas [4], aunque no está exenta de inconvenientes, como son la ausencia de persistencia del efecto a lo largo del tiempo para evitar rebrotes en sistemas de distribución o la posibilidad de reparación de las hebras de ADN dañadas por la luz ultravioleta [5].

Por ello, en muchos casos se ha empleado una combinación de ambos métodos, pudiéndose así reducir los tiempos de aplicación del tratamiento y minimizando la regeneración de las bacterias [6].

Las metodologías multicriterio para la toma de decisiones son muy utilizadas para la resolución de problemas donde haya que valorar parámetros tanto cuantitativos como cualitativos, y en los que estén implicados diferentes agentes. En el caso de problemas medioambientales, las técnicas de decisión multicriterio se han empleado para decidir la localización de un vertedero de residuos sólidos [7], estudios de conservación de especies y biodiversidad [8] o eficiencia energética [9].

También para el caso del agua se han usado técnicas multicriterio. Así, distintos autores las han propuesto en sus trabajos para la evaluación de la calidad en un río [10], un reservorio [11], aguas subterráneas [12] o aguas superficiales [13]. Sin embargo, hay pocas referencias sobre la evaluación de diferentes procedimientos de desinfección sobre agua residual depurada con esta metodología.

Aunque los factores técnicos y económicos han sido hasta el momento los principales parámetros a tener en cuenta en la toma de decisiones en los proyectos de ingeniería, cada vez se hace más necesaria la inclusión de criterios sociales y ambientales. Pueden encontrarse algunas referencias en la bibliografía que abordan estos apartados. Así, Panebianco y Pahl-Wostl [14] valoran hábitos y prejuicios de distintos agentes a la hora de introducir nuevas tecnologías de depuración de aguas residuales en Alemania, y Menegaki et al. [15] investigan la aceptabilidad social y la evaluación del uso de agua reciclada en Creta.

En este trabajo presentamos la elección de un sistema de desinfección del agua residual depurada para uso agrícola, habiendo considerado para ello criterios de calidad del agua, costes, sociales y ambientales. Un análisis de sensibilidad nos ha permitido observar cómo cambia la decisión final en función del peso que se le den a estos factores. La priorización de las alternativas han resultado diferentes para los expertos consultados cuando se han incluido factores sociales y ambientales, y no sólo de calidad y costes.

2. Metodología

En este artículo se ha seguido la metodología descrita en Gómez-López et al. [16], la cual se presenta resumida en la Figura 1.

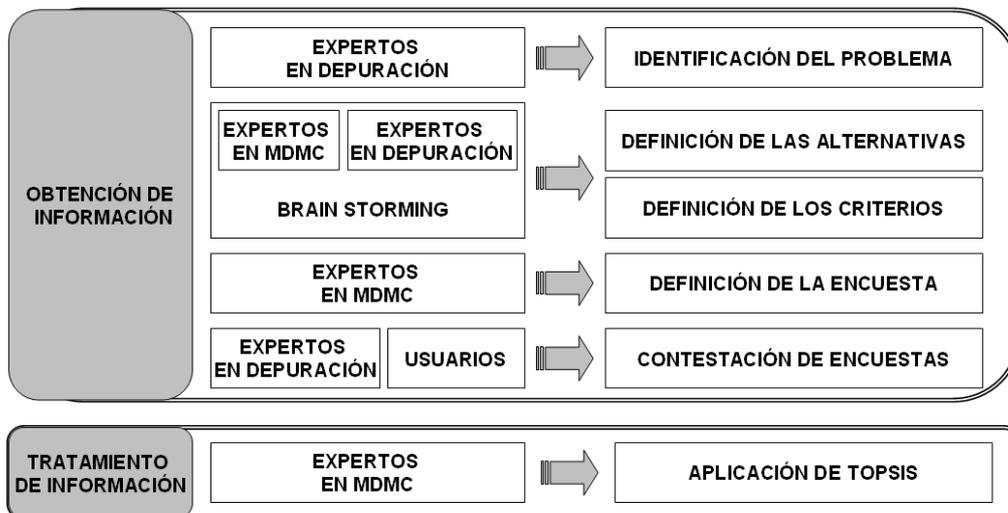


Figura 1. Fases de resolución del problema de decisión por MDMC y agentes implicados

Dentro de la problemática que envuelve a la elección del sistema de desinfección en la utilización del agua depurada para uso agrícola, nos centraremos, en este trabajo, en el apartado de la selección de criterios y en la importancia de estos sobre la decisión final, para tras el cálculo de esta hemos realizado un análisis de sensibilidad sobre el peso de los criterios considerados.

2.1 Criterios de evaluación

Identificación de los criterios de evaluación de forma que se relacionen las capacidades del sistema con los objetivos, así como su tendencia de optimización. Los criterios seleccionados se han dividido en 4 grupos:

- (i) criterios de calidad del agua y (ii) criterios de coste: estos son los criterios que hasta el momento han sido los más utilizados. El método que presentaba una mejor relación efectividad vs coste, era el que se consideraba como una mejor opción de depuración.
- (iii) criterios que consideran aspectos socio-económicos y (iv) aspectos ambientales: cada vez se presta una mayor importancia a los factores que afectan a los usuarios finales, o a las empresas que van a ser suministradoras directas finales de esta agua, o incluso a la administración que en su programa de gestión plantee la utilización de esta agua, es por ello que los aspectos sociales y ambientales cobran un importante papel en estas decisiones, coincidiendo con lo expuesto por Panebianco y Pahl-Wostl [14] y Menegaki et al. [15].

Dentro de estos criterios se han seleccionado una serie de subcriterios que se presentan en la figura 1, siguiendo la tendencia de optimización descrita en Gómez-López et al. [16].

Un resumen de los criterios, subcriterios y alternativas se presenta (Figura 1) en la representación del esquema jerárquico del proceso de decisión:

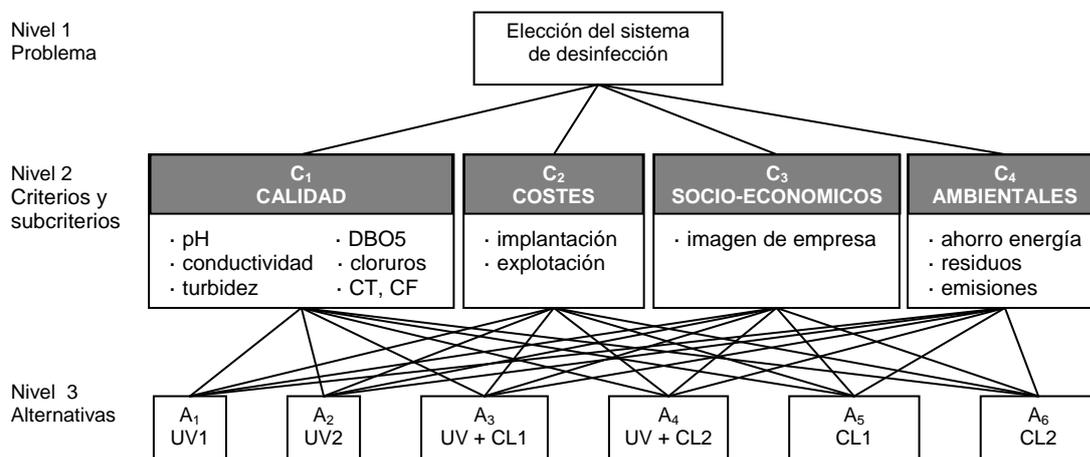


Figura 2. Esquema del proceso de decisión para la elección del mejor sistema de desinfección de agua depurada para uso agrario.

2.2 Análisis de sensibilidad

Con el fin de verificar la robustez del método y de los criterios utilizados se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad. Para realizar este análisis se han variado los porcentajes de los pesos de los criterios seleccionados sobre la decisión final del grupo hasta conseguir un cambio en la decisión inicial.

3. Resultados y discusión

En la resolución mediante el método TOPSIS [17] del problema descrito en la Figura 1, para 3 expertos en depuración, y utilizando posteriormente las herramientas de decisión en grupo [16]. Se presenta en la Figura 3 los valores obtenidos para el orden de preferencia (\bar{R}_i) del sistema de depuración.

Como puede apreciarse la decisión final, obtenida del tratamiento de la información del grupo, es la alternativa 5, es decir la cloración con 4 ppm de cloro. Respecto a los valores obtenidos por separado para cada experto existe bastante homogeneidad, vemos que todos los expertos plantean esta alternativa como la mejor, seguida por la 6, 1, 2, 3 y 4. Sólo se encuentra una ligera variación en el experto 2, que valora de manera similar las alternativas 2 y 3.

Un hecho a destacar es que las decisiones en este tipo de proyectos no suelen estar basadas en criterios sociales y ambientales, ya que el coste de cualquier insumo, en este caso el agua, incide sobre el beneficio final empresarial, y de igual manera la calidad del agua es de vital importancia en un uso del agua sobre un producto de consumo humano.

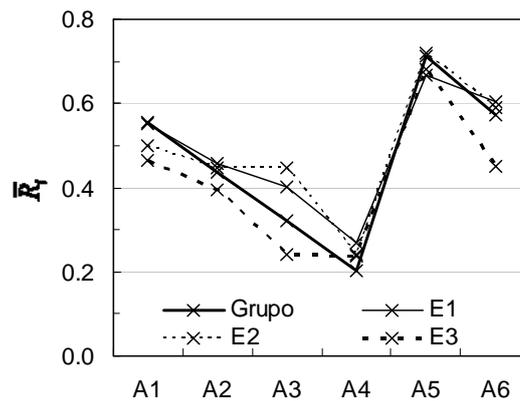


Figura 3. Resultados de la proximidad relativa, \bar{R}_i (orden de preferencia), de cada experto E1 a E3 y del grupo, para la elección de la mejor técnica de desinfección del agua depurada para uso agrícola.

En nuestro caso la decisión final del grupo viene afectada por los siguientes pesos en los grupos de criterios: C1=32%; C2=24%; C3=16%; C4=27%. Como vemos, los expertos han conferido un mayor peso a los criterios de calidad, seguidos de los criterios ambientales, de costes y por último sociales.

3.1 Análisis de sensibilidad

En la Figura 4 se presentan los análisis de sensibilidad más significativos dentro de los realizados. En ellos podemos ver que la variación de los pesos puede hacer cambiar la decisión final. Se ha simulado el caso de considerar esta decisión de una manera clásica, es decir considerando sólo los criterios de calidad y costes de una manera proporcional a lo que han contestado los expertos (Fig. 4a) y para ello hemos suprimido los pesos de los criterios sociales y ambientales sobre la decisión final. Como vemos, la decisión no se ve afectada, pero puede ser debido al peso relativo que se le ha dado a los criterios.

Si se aumenta el peso del criterio social (Fig. 4b), vemos que llega a cambiar la decisión final, siendo en este caso la mejor técnica la UV (A1). Sin embargo hay que destacar que el aumento realizado hasta llegar a este supuesto ha sido del 50 % sobre el valor inicial, viendo que el peso de este criterio sería muy elevado y que ha pasado de 16% a 23%, una vez normalizado con el resto de criterios, siendo incluso igual al peso que se le confiere al coste. Podemos afirmar que no sería un supuesto muy realista ya que, como hemos comentado, en un uso agrario del agua los criterios de calidad y coste (C1 y C2), deben tener el mayor peso. Podemos intuir que al aumentar el peso de los criterios sociales, en nuestro caso la imagen de empresa, se produzca un cambio en la decisión de cloración a UV, porque los expertos hayan considerado que el evitar los problemas inherentes a la cloración (olores y compuestos cancerígenos), beneficia a la imagen de la empresa frente al consumidor.

En cuanto a los criterios ambientales (Fig. 4c) vemos sin embargo que por mucho que aumentemos su peso sobre los demás criterios (> 500%), no se produce un cambio sobre la decisión. Este hecho viene sobre todo fundamentado porque la alternativa UV está marcada en este campo por su consumo energético, frente a la cloración, que no tiene. Pero hay que destacar que los avances tecnológicos y el uso de energías renovables podrían hacer cambiar esta diferencia entre alternativas, y por tanto la decisión final. En este sentido hemos pretendido simular lo que pasaría si con una mayor eficiencia energética y el uso de energías renovables (Fig. 4d), la cloración y los métodos UV fueran similares en cuanto a impacto ambiental, por lo que no hemos considerado el peso ambiental (no existen

diferencias para los expertos), y hemos visto que sería necesario reducir en un 60 % el peso del criterio de coste para que cambiara la decisión final.

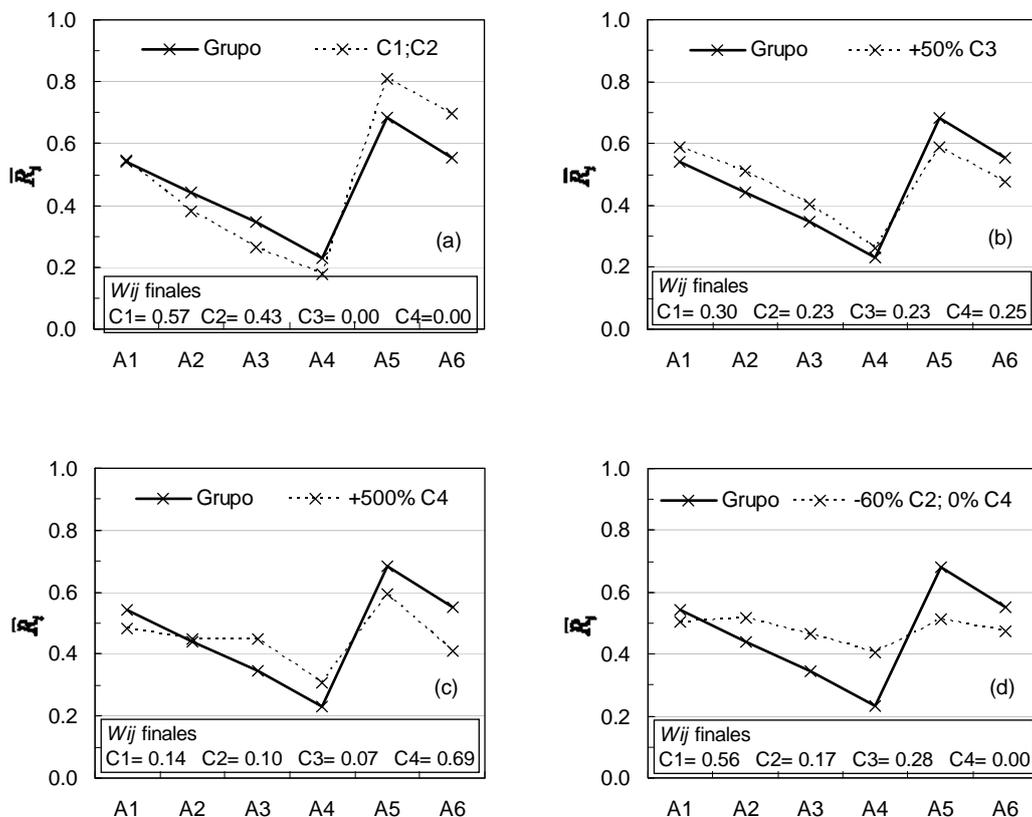


Figura 4. Valores de la proximidad relativa, \bar{R}_i , y de los pesos finales obtenidos, W_{ij} , tras cada análisis de sensibilidad, considerando: (a) que solo se tienen en cuenta criterios de coste y calidad, (b) que se ha incrementado en un 50% el peso de los criterios sociales, (c) que se ha incrementado en un 500% el peso de los criterios ambientales, (d) que se ha disminuido en un 60% el peso de los criterios de costes y se ha quitado el peso de los criterios ambientales.

Como vemos la inclusión de los factores sociales y ambientales son necesarios en este tipo de decisiones [14] [15], puesto que enriquecen la decisión final. Los factores económicos han sido los referentes clásicos, pero cada vez se demandan en mayor medida otros tipos de criterios como sociales y ambientales [18]. Si bien parecen ir unidos a políticas de gestión de las administraciones, cada vez los usuarios demandan más que las empresas atiendan este tipo de prioridades, que como vemos, puede verse reflejada en la imagen de empresa.

En cuanto a los aspectos metodológicos vemos que existe una gran robustez en la resolución del problema planteado, por el método utilizado, método TOPSIS, ampliamente aceptado por la comunidad científica. Los resultados obtenidos son bastante estables a cambios, ya que son necesarias elevadas variaciones en los pesos de ciertos criterios para que se produzca un cambio en la decisión final.

4. Conclusiones

Se ha estudiado como afecta la inclusión de los aspectos sociales y ambientales en la toma de decisión de la elección de la técnica de desinfección del agua depurada para un uso agrario. Se ha podido constatar que la inclusión de estos factores enriquece la decisión final, pero que solo en el caso de que los criterios sociales tomen un elevado peso, similar al de

los costes, no serán decisivos en la toma de decisión. En este sentido hemos de puntualizar que nos tendríamos que encontrar ante una empresa que primara en igual grado sus costes y su imagen.

Los factores ambientales sin embargo discriminan en gran medida una de las alternativas, como es la UV, sobre todo por su consumo energético, pero es un factor de fácil solución dentro de la gestión integral de la empresa, solucionado con la incorporación medidas de ahorro y eficiencia energética.

De los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad estudiados se desprende que, el planteamiento del problema de decisión, y su resolución mediante el método TOPSIS, con el uso de etiquetas lingüísticas, posee una gran robustez.

Agradecimientos

A los expertos, por dedicarnos su experiencia y su tiempo.

Referencias

- [1] Capra A., Scicolone B. "Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems". *Journal of Cleaner Production*, 15, 2007, pp. 1529-1534.
- [2] Huertas E., Salgot M., Hollender J., Weber S., Dott W., Khan S., Schäfer A., Messalem R., Bis B., Aharoni A., Chikurel H. "Key objectives for water reuse concepts". *Desalination*, 218, 2008, pp. 120-131.
- [3] Koivunen J., Heinonen-Tanski H. "Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments". *Water Research*, 39, 2005, 1519-1526.
- [4] Liberti L., Notarnicola M., Petruzzelli D. Advanced treatment for municipal wastewater reuse in agriculture. UV disinfection: parasite removal and by-product formation. *Desalination*, 152, 2002, pp. 315-324.
- [5] Nebot Sanz E., Salcedo Dávila I., Andrade Balao J.A., Quiroga Alonso J.M. "Modelling of reactivation after UV disinfection: Effect of UV-C dose on subsequent photoreactivation and dark repair". *Water Research*, 41, 2007, pp. 3141-3151.
- [6] Paleologou A., Marakas H., Xekoukoulotakis N.P., Moya A., Vergara Y., Kalogerakis N., Gikas P., Mantzavinos D. Disinfection of water and wastewater by TiO₂ photocatalysis, sonolysis and UV-C irradiation. *Catalysis Today* 129, 2007, pp. 136-142.
- [7] Giannikos I. A multiobjective programming model for locating treatment sites and routing hazardous wastes. *European Journal of Operational Research*, 104, 1998, pp. 333-342.
- [8] Masozera M.K., Alavalapati J.R.R., Jacobson S.K., Shrestha R.K. "Assessing the suitability of community-based management for the Nyungwe Forest Reserve, Rwanda". *Forest Policy and Economics*, 8, 2006, pp. 206-216.
- [9] Montanari R. "Environmental efficiency analysis for enel thermo-power plants". *Journal of Cleaner Production*, 12, 2004, pp. 403-414.
- [10] Chang N.B., Chen H.W., Ning S.K. "Identification of river water quality using the Fuzzy Synthetic Evaluation approach". *Journal of Environmental Management*, 63, 2001, pp. 293-305.
- [11] Liou Y.T., Lo S.L. "A fuzzy index model for trophic status evaluation of reservoir waters". *Water Research*, 39, 2005, pp. 1415-1423.

- [12] Dahiya S., Singh B., Gaur S., Garg V.K., Kushwaha H.S. "Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation". *Journal of Hazardous Materials*, 147, 2007, pp. 938-946.
- [13] Yidana S.M., Ophori D., Banoeng-Yakubo B. "A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data – The Ankobra Basin, Ghana". *Journal of Environmental Management*, 86, 2008, pp. 80-87.
- [14] Panebianco S., Pahl-Wostl C. "Modelling socio-technical transformations in wastewater treatment – A methodological proposal". *Technovation*, 26, 2006, pp. 1090-1100.
- [15] Menegaki A.N., Hanley N., Tsagarakis K.P. "The social acceptability and valuation of recycled water in Crete: a study of consumers' and farmers' attitudes". *Ecological Economics* 62, 2007, pp. 7-18.
- [16] 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.
- [17] Hwang, C.L and Yoon, K. "*Multiple Attribute Decision Methods and Applications*". Springer, 1981. Berlin Heidelberg.
- [18] Urkiagaa A., de las Fuentes L., Bisb B., Chiruc E., Balasz B., F. Hernández. "Development of analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse". *Desalination*, 218, 2008, pp. 81–91

Correspondencia (Para más información contacte con):

María Dolores Gómez López
Área de Ingeniería Agroforestal. ETSIA. UPCT.
Paseo Alfonso XIII, 48. 30205, Cartagena
Phone: +34 968 32 56 68;
Fax: +34 968 32 57 32;
e-mail: lola.gomez@upct.es