

El método de jerarquías analíticas para la inclusión de externalidades en la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento

Xitlali Delgado-Galván, Julio Benítez, Joaquín Izquierdo, Rafael Pérez-García

FluIng – IMM, Universidad Politécnica de Valencia

xitdelga@doctor.upv.es

RESUMEN – Dentro de la gestión de fugas existe una serie de costes susceptibles de evaluación, como son: los costes energéticos, costes técnicos, costes asociados a la calidad del agua, así como los costes sociales y ambientales. La complejidad de la valoración de cada uno de ellos depende en gran medida de los métodos que se utilicen para su evaluación, sin embargo, los costes con mayor complejidad para su valoración son los costes sociales y ambientales. Existe la necesidad de incluir en la evaluación de la situación actual de fugas y las alternativas del manejo de las mismas, todos los costes y beneficios asociados, con la finalidad de tomar la decisión más conveniente tanto para la empresa como para su entorno. En este artículo, se presenta un conjunto de opciones para ser utilizadas a la hora de incorporar costes sociales y ambientales a las alternativas de gestión de fugas.

PALABRAS CLAVE – Gestión de fugas, Método de Jerarquías Analíticas, costes sociales, costes ambientales.

ABSTRACT – In leakage management exists a series of costs that are able of evaluation, they are: energetic cost, technical cost, water quality cost, as well as social and environmental costs. The complexity of the valuation of each one of them depends on the methods that are used for its evaluation; nevertheless, main complexity costs for valuation are social and environmental. Evaluation of actual level of leakage and alternatives of leakage management must include every cost and benefit associated, in order to take the most suitable decision for the company and its environment. In this article, there is a set of options recommended to be used when incorporating social and environmental costs into the alternatives of leakage management.

KEY WORDS – Leakage management, Analytic Hierarchy Process, social costs, environmental costs.

Introducción

Según Freeman (1992), los economistas, para poder estimar el valor del medio ambiente de la manera más aproximada, o bien llegar a obtener lo que se conoce como el valor económico total, deben considerarse el valor de uso, el valor de opción y el valor de no uso. El valor de uso es aquel que refleja el valor económico del uso directo del bien ambiental. El valor de opción, refleja el valor económico de la disponibilidad de conservar el bien ambiental para tener la opción de utilizarlo en el futuro, aún cuando actualmente no se esté haciendo uso de él. Y finalmente, el valor de no uso es el que refleja el valor económico de conservar un bien ambiental del que personalmente nunca se hará uso. Este tipo de valoración se puede aplicar de forma semejante a la estimación del valor de activos sociales.

De manera que puede considerarse el concepto de activo ambiental a los recursos que utiliza el sistema de abastecimiento. De igual forma, la red de abastecimiento y la condición en la que se encuentra se conceptualizan como un activo social que proporciona unos beneficios determinados a la sociedad o unos daños dependiendo del estado en que se encuentre.

Métodos de valoración

De acuerdo con la definición de Romero (1997), la valoración ambiental es un conjunto de técnicas y métodos que permiten medir las expectativas de beneficios y costes derivados de alguna de las siguientes acciones: a) Uso de un activo ambiental, b) Realización de una mejora ambiental, c) Generación de algún daño ambiental. Estos conceptos pueden aplicarse de igual forma a las externalidades sociales.

Existen varios enfoques para estimar económicamente el valor de los activos sociales y ambientales, como por ejemplo los que utilizan los precios de mercado; los que determinan la disposición al pago; los que incluyen el método de productividad, precios hedónicos, coste de viaje, etc.; los que utilizan la evidencia circunstancial, es decir que determinan la disposición a pagar imputada, que incluyen el método de coste de daños evitados, coste de reemplazo, y costes sustitutivos; los que utilizan las proyecciones y se basan en la disposición a pagar expresada, como son el método de valoración contingente, elección contingente y método de las jerarquías analíticas.

En primer lugar, los métodos que utilizan los precios de mercado, expresan la disposición a pagar revelada, esto quiere decir, que el valor de algunos activos, pueden ser medidos utilizando los precios que el mercado proporciona, en virtud de que algunos de estos bienes son comercializados y su valor puede estimarse por su consumo y el excedente del productor, como cualquier otro producto en el mercado. Como ejemplo de ellos se menciona la pesca o la madera, que son productos que se ofertan en el mercado y cuyo precio es indicativo de su valor. Existen algunos otros servicios, como el paisaje o los usos recreativos que no pueden ser vendidos en el mercado, pero que su valor puede aproximarse por el precio que la gente esta dispuesto a pagar por los bienes relacionados con ellos. Dentro de los métodos de los precios de mercado se encuentran: métodos de productividad, método de los precios hedónicos, método del coste de viaje.

En segundo lugar, se encuentra la evidencia circunstancial, que expresa la disposición a pagar imputada. El valor de algunos activos ambientales puede estimarse considerando lo que las personas están dispuestas a pagar por las acciones que deben tomarse para evitar los efectos adversos que ocurrirían si estos activos se perdieran, o bien por el coste de reemplazar los

servicios perdidos. En estos métodos se encuentran: método del coste de daños evitados, método del coste de reemplazamiento, método del coste de sustitución.

En tercer lugar, se tienen las proyecciones, que es la disposición a pagar expresada. Existen algunos activos que no tienen relación con el mercado, ni con los productos y servicios que se ofrecen en el mercado, de forma que las personas no pueden revelar lo que están dispuestas a pagar por ellos mediante compras o acciones en el mercado. En casos como este, se puede recurrir a hacer preguntas directas sobre lo que se está dispuesto a pagar partiendo de escenarios hipotéticos, o bien, lo que estaría dispuesto a recibir de compensación en caso de algún daño, dependiendo del activo que se trate y de la forma en que se planteen las preguntas. De estos métodos se mencionan: método de valoración contingente, método de elección contingente, método de las jerarquías analíticas o AHP (Analytic Hierarchy Process).

Adicionalmente, existen otros enfoques para estimar, aunque de manera aproximada, el valor de los activos ambientales o sociales. Que bien pueden servir como primera idea de valor, a modo de prueba para saber si vale la pena realizar una verdadera valoración. Dentro de este tipo de enfoque se encuentran: transferencia de beneficio, indicadores no monetarios, entre otros.

Externalidades sociales y ambientales en la gestión de fugas

La incorporación de los costes y beneficios ambientales y sociales, conocidos también como costes externos o externalidades, en la gestión de fugas es algo que aún se está planteando, existen algunas acciones que tienen un efecto claro y que por ello son de fácil identificación, no por ello de fácil valoración, dentro de estos costes y beneficios se pueden mencionar:

- Aumento de tránsito vehicular, caminos congestionados, coste del tiempo de retraso, y beneficio en la reducción de frecuencia de interrupción por rotura de tuberías, estas interrupciones asociadas con las labores de reparación, reemplazo y rehabilitación, o por la ocurrencia de alguna rotura.
- Interrupción de paso de peatones por camino cerrado o restringido, coste del retraso de los peatones y molestias.
- Interrupción de suministro por cortes planeados o no planeados, costes de interrupción, por alguna compensación que deba pagarse.
- Inundaciones y daños a bienes muebles e inmuebles o a otras redes de servicio ocurridas por fugas o por los trabajos de reparación.
- Reducción de extracciones de agua superficial, beneficios por el uso, como recreación, paisaje, pesca, entre otros, y por el no uso, como el valor de conservación y lo que representa mantener el agua en los ríos.
- Reducción de extracciones de agua subterránea, beneficios por el uso y no uso de mantener el agua en los acuíferos, humedales o ríos.
- Aplazar la construcción de reservorios, beneficios de conservación del paisaje y ahorro en costes de construcción, pero no existirán beneficios del uso del agua del reservorio para fines de pesca o deportes acuáticos.

Los costes externos asociados con el control activo de fugas están relacionados con las actividades que se emprenden para el control activo de fugas, por el contrario, los beneficios del control de fugas se atribuyen por efecto de la actividad, más que por la actividad en sí misma.

Elección de las metodologías para valoración de externalidades

Partiendo de una propuesta de lineamientos de análisis en la evaluación de proyectos de reducción de fugas y considerando como una externalidad social la posibilidad de que una fuga, dependiendo de su magnitud, pueda acarrear ciertos perjuicios adicionales a la pérdida de agua, energía, presión, elementos químicos, entre otros, se propone el uso del método de jerarquías analíticas.

Método de las jerarquías analíticas

Respecto al método de las jerarquías analíticas (AHP) desarrollado por Tomas L. Saaty (1977), se ha utilizado para la valoración de riesgos de fallos en redes de distribución, valorando el riesgo de fallos en la calidad del agua (Sadiq, 2007); así como una aplicación encaminada a valorar los efectos sociales y ambientales de las fugas en oleoductos (Dey, 2002); además se ha utilizado también como soporte de toma de decisiones en la gestión del agua (Srdjevic, 2007).

El método de las jerarquías analíticas consiste en descomponer el problema de forma jerárquica, de manera que los elementos que constituyen el problema se puedan observar de forma gráfica, para así identificar niveles o jerarquías que hagan la diferenciación entre objetivos, criterios y alternativas. Las personas involucradas deben comparar en pares los criterios y alternativas, y emitir algún juicio, con el propósito de posteriormente crear una escala relativa a esos juicios emitidos. Para finalmente establecer una síntesis de prioridades.

En el caso de las alternativas de gestión de fugas, se pone como ejemplo la comparación entre el control activo de fugas y el control pasivo. El primero consiste en emprender acciones en todo el sistema de distribución o en distritos hidrométricos individuales, para localizar y reparar fugas detectables pero que no han sido reportadas; y el segundo equivaldría a la realización de acciones de reparación únicamente de fugas reportadas o evidentes (Farley y Trow, 2003). Se plantean los criterios a evaluar en cada una de las alternativas, lo que se puede observar en la *figura 1*, donde gráficamente se muestra la jerarquía entre objetivo, criterios y alternativas.

En este ejemplo, se tratará de una valoración por parte de los gestores de la empresa, que tiene como finalidad proporcionar una base de apoyo en la toma de decisiones. De forma que, en cuestión de gestión de fugas, la empresa decide si se inclina por llevar a cabo un control activo o por el contrario, su plan consiste solo en realizar trabajos de reparación cuando las fugas sean reportadas o evidentes. La forma de obtener información es directamente de entrevistas a gestores o mediante la participación de un panel de expertos (una posibilidad es aplicar la técnica DELPHI).

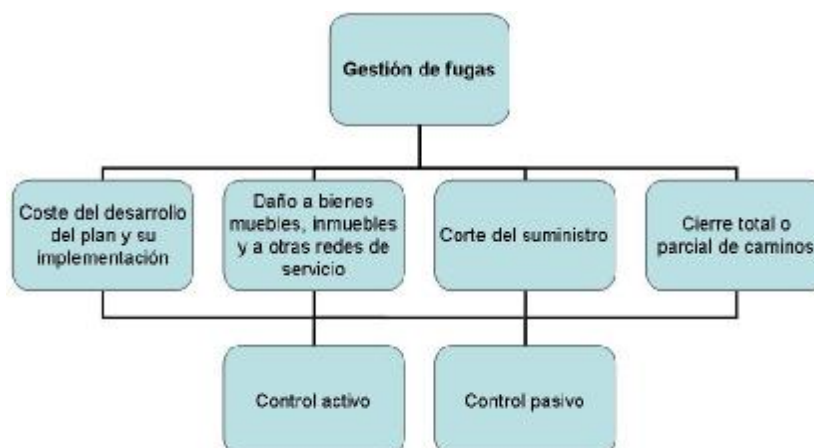


Figura 1. Jerarquización de alternativas de gestión de fugas

Una forma de dar un valor a los juicios emitidos o las observaciones verbales que pueden hacerse respecto a los elementos en que se ha descompuesto el problema y con el objeto de hacer una comparación entre 2 componentes, se presenta la *tabla 1* con la escala de valores establecida por Saaty (1980, 2001), donde cabe aclarar que pueden establecerse valores intermedios, considerando que el juicio emitido se encuentre entre dos posibles juicios verbales de los que se han incluido en la tabla.

Juicio verbal	Escala de Saaty ($a_{i,j}$)
Importancia absoluta del elemento i sobre el elemento j	9
Muy marcada importancia del elemento i sobre el elemento j	7
Marcada importancia del elemento i sobre el elemento j	5
Poca importancia del elemento i sobre el elemento j	3
Igual importancia o indiferencia entre i y j	1
Poca importancia del elemento j sobre el elemento i	1/3
Marcada importancia del elemento j sobre el elemento i	1/5
Muy marcada importancia del elemento j sobre el elemento i	1/7
Importancia absoluta del elemento j sobre el elemento i	1/9

Tabla 1. Escala de comparación entre pares

Partiendo de las escalas de valores, se construye una matriz cuadrada: $A = [a_{i,j}]$, $1 \leq i, j \leq n$. Donde $a_{i,j}$ representa la comparación entre el elemento i y el elemento j a partir de los valores de la escala de la *tabla 1*.

En la aplicación del método, se han otorgado valores a las comparaciones entre pares, teniendo como resultados la matriz contenida en la *figura 2*. Se parte del supuesto de las preferencias establecidas por el gestor de la compañía de suministro, respecto a dos alternativas de gestión de fugas y los criterios a evaluar de cada una.

$i \backslash j$	Daño a bienes muebles, inmuebles y a otras redes de servicio	Coste del desarrollo del plan y su implementación	Cierre de caminos total o parcialmente	Corte de suministro
Daño a bienes muebles, inmuebles y a otras redes de servicio	1	3	5	7
Coste del desarrollo del plan y su implementación	1/3	1	3	5
Cierre de caminos total o parcialmente	1/5	1/3	1	2
Corte del suministro	1/7	1/5	1/2	1

Figura 2. Matriz de comparación de criterios para evaluar alternativas de gestión de fugas

<i>i</i> \ <i>j</i>	Daño a bienes muebles, inmuebles y a otras redes de servicio	Coste del desarrollo del plan y su implementación	Cierre de caminos total o parcialmente	Corte de suministro	
Daño a bienes muebles, inmuebles y a otras redes de servicio	0,5966	0,6618	0,5263	0,4667	0,5628
Coste del desarrollo del plan y su implementación	0,1989	0,2206	0,3158	0,3333	0,2671
Cierre de caminos total o parcialmente	0,1193	0,0735	0,1053	0,4314	0,1079
Corte del suministro	0,0852	0,0441	0,0526	0,2486	0,0622

Figura 3. Matriz normalizada de comparaciones de criterios para evaluar alternativas de gestión de fugas

En la figura 3 se muestra la normalización de la matriz, donde se obtiene el vector propio, cuyos valores se desprenden de la última columna. En el caso que se ha ejemplificado, el vector promedio obtenido se refiere a la matriz de criterios. Este vector indica el peso o la importancia relativa que cada uno de los criterios utilizados tiene en la valoración del conjunto de alternativas sobre las cuales se va a trabajar (Aznar y Guijarro, 2008). El vector propio esta determinado de la siguiente forma:

$$Z = (0,5628 \quad 0,2671 \quad 0,1079 \quad 0,0622)^T.$$

El valor más alto esta relacionado con el criterio de mayor peso en la evaluación de cada alternativa y el valor más bajo es el que tiene menor peso en la evaluación. En este caso, el valor mayor corresponde los costes relacionados con el daño a bienes muebles, inmuebles y a otras redes de servicio, que tiene relación con inundaciones, deterioro de construcciones, daño a redes eléctricas, gas, telecomunicaciones, etc.; el valor menor se le atribuye al corte del suministro, que tiene relación con los costes por el abastecimiento alternativo, camiones cisterna, etc.

Además de la positividad, una matriz de comparación tiene asociadas las siguientes propiedades: homogeneidad, reciprocidad y consistencia (Saaty y Hu, 1998):

1. Homogeneidad: Si los elementos i y j son considerados igualmente importantes, entonces $a_{i,j} = a_{j,i} = 1$.

La homogeneidad corresponde a la valoración semejante que debe darse a elementos de un mismo género o poseedores de iguales caracteres, o a un conjunto formado por elementos iguales. En particular, cuando el elemento i y el elemento j son el mismo, se considera que el valor que debe darse es 1 (igual importancia o de indiferencia).

2. Reciprocidad: Si $a_{i,j} = x$, entonces $a_{j,i} = 1/x$.

La reciprocidad consiste en la dependencia mutua de una cosa con otra. Se trata de que la comparación del elemento i con el elemento j , se corresponda de manera lógica con el valor otorgado a la comparación del elemento j con el elemento i .

3. Consistencia: Se satisface que $a_{i,j}a_{j,k} = a_{i,k}$ para todo $i, j, k = 1, \dots, n$.

La consistencia es la coherencia que existe (o que debe existir) entre los elementos de un conjunto. En virtud de que las preferencias son expresadas de una manera subjetiva, es razonable que exista cierto grado de inconsistencia. Entonces, se asume que habitualmente A no es consistente, porque los valores que emite un experto al realizar las comparaciones por pares pueden implicar la existencia de pequeñas perturbaciones respecto de valores “correctos”. Una fuente de inconsistencia puede surgir por el hecho de preferir, por ejemplo, x sobre y , y sobre z , y sin embargo, preferir z sobre x . Es por ello, que AHP admite cierto grado de inconsistencia en su desarrollo. Una matriz consistente tiene las siguientes propiedades (Delgado *et al.*, 2010):

- a) A tiene rango 1. De hecho, cada columna A_k es un múltiplo de cualquier otra A_i ; en efecto, $A_k = a_{i,k}A_i$, dado que $a_{j,k} = a_{j,i}a_{i,k}$, para $i = 1, \dots, n$, tal y como lo señala la definición de consistencia.
- b) Como consecuencia de a), todos los valores propios de A son 0, exceptuando uno.
- c) Como la suma de los valores propios es igual a la traza de la matriz, el valor propio no nulo de A es n , que es valor propio principal o vector Perron de A .
- d) Cada columna A_i de A es un vector propio correspondiente al valor propio n , dado que $AA_i = a_{1,i}A_1 + \dots + a_{n,i}A_n = a_{1,i}a_{i,1}A_i + \dots + a_{n,i}a_{i,n}A_i = nA_i$, por la propiedad de reciprocidad.

Como consecuencia de la propiedad d), cualquier columna de A , después de la normalización usando la suma ponderada de los valores emitidos, da como resultado un valor propio cuya suma es igual a 1, de este modo se obtiene una escala de prioridades de los criterios analizados y es llamado vector de prioridades.

Es normal que exista cierta inconsistencia, que se interpreta en términos de perturbaciones en los valores otorgados. Esto origina una perturbación en los valores propios (Stewart y Sun, 1990), de modo que tales valores propios ya no son los dados por b) y c).

En general, pues, hay que resolver el problema de valor propio $Aw = \lambda_{m\acute{a}x}w$, donde $\lambda_{m\acute{a}x}$ es, según la teoría de Perron-Frobenius (Meyer, 2000), el mayor y único valor propio de A , que tiene asociado el llamado vector propio de Perron que, normalizado, es una estimación del vector de prioridades.

Para una matriz de comparación se tiene que $\lambda_{m\acute{a}x} \geq n$ y la igualdad será dada sí y solo sí A es consistente. El índice de consistencia (IC) es el valor que mide la consistencia de una matriz. Este valor representa la media de los vectores propios no principales (Saaty, 2008). El valor será cero sí y solo sí A es consistente.

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}.$$

Para conocer la magnitud de la inconsistencia, se compara el valor de IC con el valor de consistencia aleatorio (IC^*), que es un valor promediado para cada tamaño de matriz, considerando que los juicios numéricos en la matriz A fueran aleatorios. La *tabla 2* contiene los valores de consistencia aleatorios dados por Saaty (1977).

Tamaño matriz (<i>n</i>)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IC aleatoria (<i>IC*</i>)	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45

Tabla 2. Valores de consistencia aleatoria.

Se considera una matriz como válida en cuestiones de consistencia, siempre y cuando al obtener la tasa de consistencia (*TC*), el valor no supere el 10% (Saaty, 2001):

$$TC = \frac{IC}{IC^*}$$

Si esto no se logra, debe procederse a la modificación de los juicios emitidos para mejorar la tasa de consistencia y lograr que el análisis sea confiable (Finan y Hurley, 1997). En ese sentido, se han desarrollado algunos métodos de mejora de consistencia, tales como: Benítez *et al.*, 2010a, 2010b y 2010c.

Los principios de positividad, reciprocidad y homogeneidad del ejemplo tratado, pueden observarse en la *figura 2*, respecto a la consistencia, el valor obtenido del *IC* es de 0,02288, siendo el *IC** igual a 0,89, según la *tabla 2*. Se considera que una matriz es válida cuando la tasa de consistencia no supere el 10% (Saaty, 2001), para el caso tratado, la *TC* tiene un valor de 2,57%, por lo cual, la matriz es válida.

Cuando el vector obtenido sea el de la matriz de alternativas para un criterio determinado, indica el peso o importancia relativa de cada una de las alternativas para cada criterio. Se obtienen tantos vectores propios como criterios, siendo el número de elementos de cada vector propio igual al número de alternativas (Aznar y Guijarro, 2008). Lo anterior se observa en la *figura 4*, en vista de que los criterios son cuatro, se hace la evaluación de las alternativas de acuerdo a los criterios establecidos y se obtienen cuatro vectores propios. Para todas las matrices de tamaño $n = 2$ se cumplen los principios de reciprocidad, homogeneidad y consistencia.

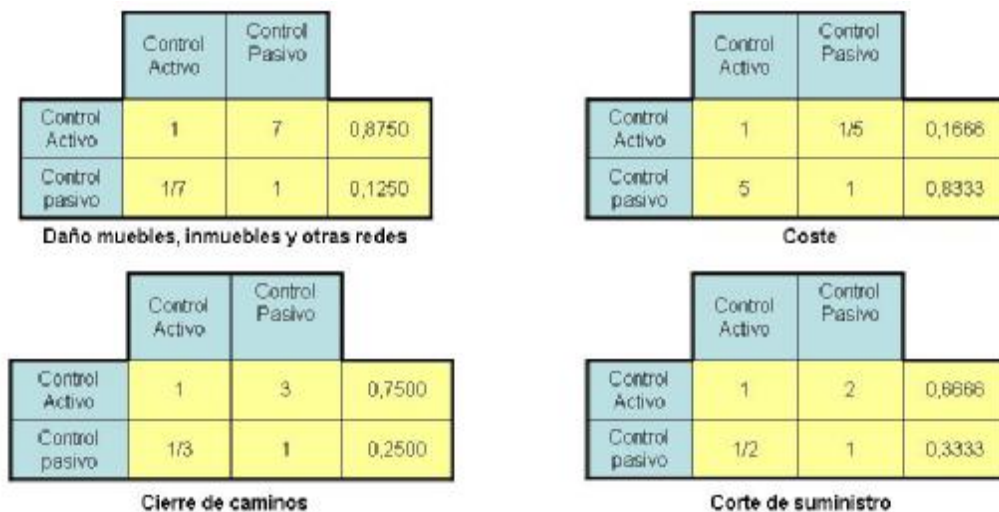


Figura 4. Matrices de comparación de alternativas de acuerdo a los criterios establecidos

Posteriormente se agregan los valores obtenidos y se obtiene el vector propio de las alternativas establecidas para la gestión de fugas, donde los resultados indican el peso relativo de cada una, lo cual puede observarse en la *figura 5*. El valor más alto en *Z* esta relacionado con la mejor alternativa y el valor más bajo con la peor alternativa (Srdjevic, 2007).

	Ponderación de alternativas de gestión de fugas para cada criterio de evaluación				Ponderación criterios	Ponderación de alternativas en función de criterios
	Control activo	0,8750	0,1666	0,7500	0,6666	0,5628 0,1078
Control pasivo	0,1250	0,8333	0,2500	0,3333	0,2671 0,0621	0,3405

Figura 5. Ponderación de alternativas de gestión de fugas

De la agregación de resultados se obtiene el vector propio de las alternativas:

$$Z = (0,6591 \quad 0,3405)^T.$$

Con lo cual se concluye que la mejor alternativa de acción es realizar un control activo de fugas. Lo anterior, tomando en cuenta los posibles costes sociales en que se puede incurrir tanto para el control activo, como en el control pasivo de fugas; así como el coste del desarrollo del plan y su implementación. Lo interesante de este planteamiento es precisamente la inclusión de la implicación de los costes sociales en la toma de decisiones, de igual forma, pueden incluirse costes ambientales.

Conclusiones

La intención de incluir todos los costes asociados a la evaluación del nivel de fugas actual y las alternativas de gestión ha despertado el interés en adentrarse en métodos de valoración alternativos, que si bien pueden ser considerados complementarios a los tradicionales, proporcionan información de relevancia en la toma de decisiones.

Los costes y beneficios susceptibles de valoración son aquellos que se despenden del uso de algún bien, la realización de una mejora o la generación de algún daño. En el caso de las redes de agua potable y las fugas, las externalidades se producen como consecuencia de las fugas, por las actividades para su mitigación y por el efecto de dichas actividades.

El método que se ha seleccionado se considera idóneo para la inclusión de evaluación de costes sociales y ambientales, sin embargo, no se descarta que algún otro método pueda ser utilizado. Lo que se quiere rescatar del trabajo, es el interés en adicionar a una evaluación de nivel de fugas y de alternativas de gestión de fugas, las externalidades sociales y ambientales. Además, se sugiere el uso de este método considerando no sólo el punto de vista del gestor del abastecimiento, sino incluir la opinión de otras personas involucradas, como pueden ser los usuarios del servicio.

Resalta la utilización del método de jerarquías analíticas, en vista de la posibilidad que brinda de evaluar problemas complejos, la visualización jerárquica de la problemática, las alternativas de solución y los criterios a evaluar.

Bibliografía

- Aznar Bellver, J.; Guijarro Martínez, F. (2008) Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Benítez, J.; Delgado-Galván, X.; Izquierdo, J.; Pérez-García, R. (2010a) Consistent Matrices and Consistency Improvement in Decision-making Processes. In Topping, B.H.V., Adam, J.M., Pallarés, F.J., Bru, R. and Romero, M.L. (Eds) The Seventh International Conference on Engineering Computational Technology. Valencia, España, Septiembre 14-17, 2010, artículo 21.
- Benítez, J.; Delgado-Galván, X.; Izquierdo, J.; Pérez-García, R. (2010b) Achieving matrix consistency in AHP through linearization. *Applied Mathematical Modelling* 35 (2011) 4449–4457.
- Benítez, J.; Delgado-Galván, X.; Gutiérrez, J. A.; Izquierdo, J. (2010c). Balancing Consistency and Expert Judgment in AHP. *Mathematical and Computer Modelling*. doi:10.1016/j.mcm.2010.12.023.
- Delgado-Galván, X.; Pérez-García, R.; Izquierdo, J.; Mora-Rodríguez J. (2010) Analytic Hierarchy Process for Assessing Externalities in Water Leakage Management. *Mathematical and Computer Modelling* 52 (2010) 1194-1202.
- Dey, Prasanta K (2002) An integrated assessment model for cross-country pipelines. *Environmental Impact Assessment Review* 22 (2002) 703-721.
- Farley, M.; Trow, S. (2003) Losses in Water Distribution Networks. A practitioner's guide to assessment, monitoring and control. IWA publishing. Reino Unido.
- Finan J.S.; Hurley, W.J. (1997) The analytic hierarchy process: Does adjusting a pairwise comparison matrix to improve the consistency ratio help? *Computers & Operations Research* 24, 749-755.
- Freeman III, A. Myrick (1992) Control de la contaminación del agua y del aire. Limusa, México, DF.
- Meyer, C.D. (2000), *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra*, SIAM.
- Romero, Carlos. (1997) *Economía de los Recursos Ambientales y Naturales*. Alianza económica. Madrid, España.
- Saaty, T.L. (1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology* 15, 234-281.
- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T.L.; Hu, G. (1998) Ranking by the eigenvector versus other methods in the analytic hierarchy process. *Applied Mathematical Letters* 11 (4) 121-125.
- Saaty, T.L. (2001) *The Analytic Network Process*, RWS Pub., Pittsburgh.
- Saaty, T.L. (2008) Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making. Why Pair-wise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors. *The Analytic Hierarchy/Network Process*, *Revista de la Real Academia de Ciencias Serie A: Matemáticas* 102 (2) 251-318.
- Sadiq, R.; Kleiner, Y.; Rajani, B. (2007) Water quality failures in distribution networks – Risk analysis using fuzzy logic and evidential reasoning. *Risk analysis* 27 (5).
- Srdjevic, Bojan (2007) Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management. *Elsevier Decision Support Systems* 42 (2007) 2261-2273.
- Stewart, G.W.; Sun, J.G. (1990) *Matrix Perturbation Theory*, Academic Press, New York.