

**XXXIX CONGRESO ARGENTINO DE PROFESORES
UNIVERSITARIOS DE COSTOS**

**Análisis multicriterio: una herramienta innovadora en la gestión
sustentable de los recursos hídricos.**

Categoría propuesta: Estímulo a la participación

Autor

María de la Paz Moral (Alumno de posgrado- Socio)

Tucumán, Agosto 2016

Análisis multicriterio: una herramienta innovadora en la gestión sustentable de los recursos hídricos

Índice

1. Introducción	1
2. Metodología	2
3. Desarrollo y discusión del tema	3
3.1. Marco conceptual: estudios con abordaje teórico	3
3.1.1 Sustentabilidad e innovación en el proceso de toma de decisión	3
3.1.2 Proceso de decisión	4
3.1.3 Análisis multicriterio	5
3.1.4 Clasificación de técnicas multicriteriales	5
3.1.5 Conceptos básicos y fases de metodología multicriterio discreta	6
3.1.6 El proceso Analítico Jerárquico – Principios rectores	7
3.2. Marco de antecedentes: estudios con casos de aplicación	9
4. Consideraciones finales	14
5. Referencias bibliográficas	16

Análisis multicriterio: una herramienta innovadora en la gestión sustentable de los recursos hídricos

Categoría propuesta: Estímulo a la participación

Resumen

El presente contexto de crisis hídrica genera la necesidad de introducir la problemática de la gestión de los recursos hídricos dentro del concepto de desarrollo sustentable, teniendo en cuenta aspectos ecológicos, económicos, socio-políticos y culturales. En este sentido, es necesaria la aplicación de una metodología que integre las distintas dimensiones, objetivos, actores y escalas en el proceso de toma de decisión, sin sacrificar la calidad, confiabilidad y consenso en los resultados (Arancibia, Contreras, Mella, Torres & Villablanca, 2003)

El presente trabajo tiene dos principales objetivos el primero es realizar un estudio de los métodos multicriteriales desde una perspectiva teórica haciendo especial hincapié en el Proceso Jerárquico Analítico (AHP por sus siglas en inglés). El segundo plantea el relevamiento de trabajos de investigación que hayan aplicado técnicas multicriteriales en la gestión sustentable de recursos hídricos a fin de evaluar ventajas y desventajas de la técnica en el abordaje de dicha problemática.

Para cumplir con los objetivos propuestos se realizó una revisión de la literatura profesional y académica relacionada con la temática propuesta desde el 2003 a la actualidad.

Los aspectos más destacables indican que el análisis multicriterio (AMC) resulta un método muy útil e innovador en la administración de recursos naturales, dado que permite explicitar y ponderar variables cualitativas y de esta manera incorporar al proceso de toma de decisión factores no económicos.

Palabras clave: crisis hídrica- gestión sustentable- innovación- análisis multicriterio.

1. Introducción

Los recursos hídricos son los recursos disponibles o potencialmente disponibles, en cantidad y calidad suficiente, en un lugar y en un período de tiempo apropiado para satisfacer una demanda identificable (Glosario hidrológico internacional de la UNESCO).

Según la World Commission on Environment and Development (WCED) (1987), la presión sobre los recursos hídricos ha aumentado a nivel mundial, como resultado de actividades humanas tales como la urbanización, el crecimiento demográfico, la mejora en la calidad de vida, la creciente competencia por el agua y la contaminación, cuyas consecuencias se ven agravadas por el cambio climático y las variaciones en las condiciones naturales.

Este nuevo escenario genera la necesidad de introducir la problemática de la gestión de los recursos hídricos dentro del concepto de desarrollo sustentable, entendido como aquel que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias, suponiendo un replanteo de los aspectos ecológicos, económicos, socio-políticos y culturales (WCED, 1987).

Lo indicado anteriormente, genera un gran desafío para el sudoeste bonaerense, no solo por las características hidrográficas de la región y su régimen de precipitaciones, sino también por la falta de previsión e insuficiente mantenimiento de la infraestructura, que depende de las decisiones gubernamentales, y la falta de conciencia de la situación de los particulares, como indican Ferrara y Álamo, 2009.

Lo antes dicho puede verse reflejado en el caso particular de la localidad de Bahía Blanca. En el 2006 la cota del Dique Paso Piedras (su principal fuente de abastecimiento) alcanzó un nivel de 162 m. s. n. m (metros sobre el nivel del mar) y comenzó a disminuir en forma constante, alcanzando en el año 2009 el nivel de Alerta 1 en 155 m.s.n.m establecido por la Autoridad del Agua (ADA), decretándose emergencia hídrica (ABSA, 2013). Sin embargo, desde el año 2014 el bajo caudal del Dique Paso de las Piedras ya no es un inconveniente, las fuertes lluvias registradas en los últimos tiempos han permitido que la cota aumente hasta alcanzar su nivel máximo. El principal foco de amenaza actual está puesto en la falta de inversiones para mejoramiento de infraestructura, ya que en Enero de 2016 la ciudad y la zona se vieron perjudicadas por el corte en el suministro de agua potable durante cuatro días, a raíz de la rotura y posterior reparación de un acueducto de la empresa ABSA, el cual presentaba falta de mantenimiento.

En la ciudad de Bahía Blanca el servicio de aprovisionamiento de agua estuvo a cargo de distintos agentes. A fines del año 1999, el gobierno de la provincia de Buenos Aires transfiere el servicio de agua potable al sector privado, haciéndose cargo del suministro la empresa Azurix. Debido al carácter estratégico del recurso el Estado se reserva su participación a través de las tareas de regulación con la creación de un organismo destinado a tal fin: el ORAB (Organismo Regulador de Aguas Bonaerenses).

Comienzan a surgir problemas de distinta índole en la provisión del agua entre los que se identifican la falta de capacidad de transporte y probabilidad de rotura del único acueducto desde el dique Paso Piedras; deficiencias infraestructurales del dique, cuestiones ambientales en el lago y en la calidad del agua. Esta situación se agrava en abril del 2000 con la proliferación de algas en el embalse, y desemboca en una sucesión de graves acontecimientos que tienen un gran impacto sobre la ciudad. La empresa Azurix y el organismo regulador entran en conflicto, concluyendo con el retiro de la empresa (Grippio & Visciarelli, 2005). En marzo de 2002 asume la responsabilidad del servicio la empresa Aguas Bonaerenses S.A (ABSA) con participación mayoritaria estatal.

Al momento de desarrollar programas de inversión pública, existen diversos factores de difícil cuantificación y de gran peso (como consecuencias políticas, impacto ambiental, impacto socio-cultural, entre otros) que deben ser considerados al momento de tomar la decisión (Pacheco & Contreras, 2008).

Por lo expuesto se entiende que resulta necesaria la elaboración de una planificación integral hidrológica sustentable a nivel local; que no solo se base en variables económicas sino que se incorporen al análisis aspectos ecológicos y socioculturales, que conforman los pilares de la sustentabilidad.

El análisis multicriterio (AMC) permite explicitar y ponderar los diversos puntos de vista de todos los grupos de interés actuantes, facilitando a los equipos técnicos multidisciplinarios a cargo del planeamiento, analizar las diferentes alternativas de estudios y proyectos de desarrollo en diferentes escenarios sustentables, comparando la situación actual y del futuro previsible de aprovechamiento de los recursos hídricos (Jiménez Sal, 2003).

El AMC ha sido implementado en el sector privado, logrando resolver gran cantidad de problemas empresariales, legitimándose como un método relevante en el apoyo a la toma de decisiones. Asimismo, en los últimos años, se ha comenzado a adaptar y aplicar para solucionar problemas ambientales, surgiendo de esta forma, una herramienta innovadora en la gestión de recursos naturales en el sector público.

Seguendo a Mesa, Ortega y Berbel (2008) las metodologías AMC han sido empleadas para resolver gran variedad de problemas ambientales. En su trabajo citan a varios autores que utilizaron la herramienta para resolver conflictos relacionados con valoración de ecosistemas forestales, en áreas de decisión relativas a la agricultura en países en vías de desarrollo, determinación de sistemas de cultivo con mayor valor a largo plazo para el conjunto de la sociedad, así como también presentan la estimación de un indicador de valor económico total de un parque natural

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo tiene dos objetivos principales. En primer lugar, realizar un estudio de los métodos multicriteriales desde una perspectiva teórica haciendo especial hincapié en el Proceso Jerárquico Analítico (AHP, por sus siglas en inglés). Como segundo propósito se efectúa un relevamiento de trabajos de investigación que hayan aplicado técnicas multicriteriales en la gestión sustentable de recursos hídricos a fin de evaluar ventajas y desventajas de la técnica en el abordaje de dicha problemática. Asimismo se menciona que este trabajo representa el primer avance en la investigación que estoy iniciando como aspirante al Doctorado en Ciencias de la Administración.

El presente estudio se considera de interés pues elabora un relevamiento de la literatura sobre el análisis multicriterio, abordando no sólo artículos teóricos sino también casos de aplicación de la herramienta en diferentes países (Argentina, Chile, Costa Rica, España, entre otros) para distintas problemáticas asociadas a la gestión del recurso hídrico. Además, del presente apartado introductorio, el trabajo se estructura de la siguiente manera: en el segundo acápite se detallan los procedimientos utilizados para la localización y selección de los estudios; luego en la tercera sección se exponen los resultados de los trabajos analizados; y, en última instancia, se formulan las consideraciones finales.

2. Metodología

La presente investigación posee un enfoque cualitativo, dado que implica la recolección y el análisis de datos sin medición numérica. (Hernández Sampieri, Fernandez Collado & Baptista Lucio, 2010). Este trabajo se caracteriza por ser una investigación de tipo exploratorio a partir de la revisión de la literatura vinculada a la problemática bajo estudio con el objetivo de comenzar a elaborar un marco referencial del tema a investigar. De

modo de efectuar un relevamiento ordenado de información secundaria, proveniente de revistas académicas y científicas, congresos nacionales e internacionales, tesis de posgrado, se definirán un conjunto de variables vinculadas al tema bajo estudio.

Atendiendo a las cuestiones que se pretenden responder, metodológicamente, se efectúa una revisión de la literatura profesional y académica relacionada con la temática propuesta desde el año 2003 a la actualidad. A partir de la herramienta Google Académico (scholar.google.com.ar) se relevaron publicaciones utilizando las siguientes palabras claves: análisis multicriterio, innovación, gestión de recursos hídricos y sustentabilidad, recorriendo hasta la sexta página de resultados. Las publicaciones se seleccionan a partir de la concordancia del título, resumen y palabras claves con la temática de investigación. Como resultado del procedimiento mencionado se identifican siete trabajos principales que derivan luego en la lectura de otros citados en estos.

Además se complementó la revisión con un manual y un libro elaborados por profesionales especialistas en el área; por un lado Pacheco y Contreras con su manual de “Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos” y por otro Ercole, Alberto y Carignano en su libro “Métodos cuantitativos para la gestión”

Las cuestiones relevantes de los trabajos analizados se exponen en los apartados siguientes, organizados como se describe a continuación. En la sección 3.1 se desarrollan los conceptos teóricos fundamentales referidos a la temática bajo análisis; mientras que en el acápite 3.2 se describen brevemente los hallazgos de estudios de casos que aplican los conceptos antes mencionados.

3. Desarrollo y discusión del tema

3.1 Marco conceptual: estudios con abordaje teórico

3.1.1 Sustentabilidad e innovación en el proceso de toma de decisión

El desarrollo sustentable, es aquel que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias, suponiendo un replanteo de los aspectos ecológicos, económicos, socio-políticos y culturales (WCED, 1987).

Siguiendo a Villacis Cruz (2005), esta definición sugiere que un recurso será sustentable si al menos cumple con tres requisitos: que exista en la cantidad y la calidad necesaria y que además se mantengan a lo largo del tiempo.

El requisito de cantidad del agua se asocia al agua abastecida y si ésta es suficiente en función del consumo de una ciudad (teniendo en cuenta sus diversos usos, consumo humano, industrial, agrícola, cultural, etc.). Sin embargo la disponibilidad, bajo un contexto de sustentabilidad depende en última instancia del equilibrio natural que exista en los ecosistemas que producen agua, en función de variables que van desde la calidad de cuencas hidrográficas hasta la forma en cómo regresa a la naturaleza el agua utilizada, pasando por las variaciones climáticas de la región.

Por otra parte la condición de que el agua se mantenga en calidad necesaria, no obedece solo al cumplimiento de los estándares para el consumo humano, sino para sus diversos usos.

Ambas restricciones de la sustentabilidad del agua, se vuelven más difíciles de operar si se tiene en cuenta que la sustentabilidad condiciona a que las variables se mantengan a lo largo del tiempo.

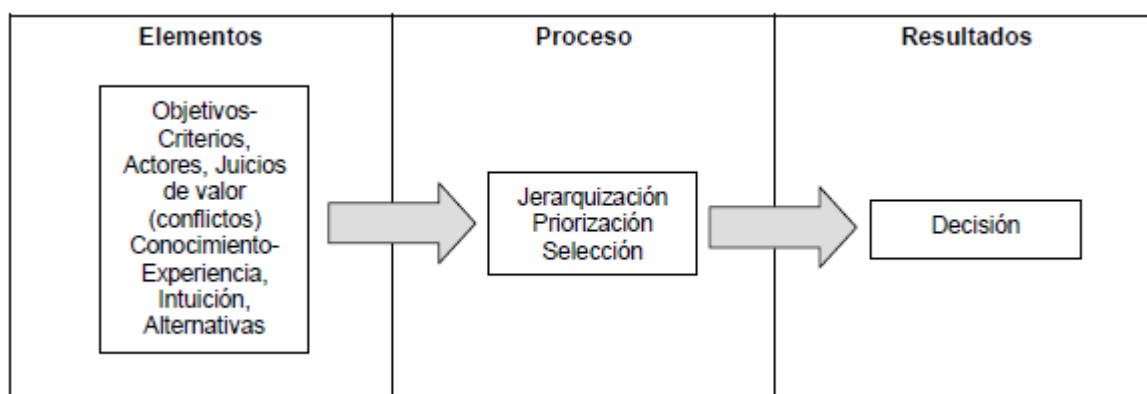
Los métodos tradicionales utilizados en la toma de decisiones como son el análisis costo-beneficio o costo-eficiencia, no logran incorporar al estudio la complejidad de la gestión de los recursos hídricos.

En este sentido es necesario aplicar en la gestión pública, herramientas innovadoras que incorporen y den la importancia que se merece a la sustentabilidad, sin sacrificar calidad, confiabilidad y consenso en los resultados.

3.1.2 Proceso de decisión

La tarea de tomar decisiones constituye la actividad que involucra la necesidad de evaluar opciones y elegir de entre todas, aquella que mejor se adecúe a los objetivos perseguidos (Ercole, Alberto & Carignano, 2007). Para llevar a cabo este proceso es necesario, en primera instancia, desgranar el problema en sus componentes básicos, para efectuar las comparaciones a través de mediciones y aplicación de criterios seleccionados que permitan finalmente establecer un orden de preferencias.

Gráfico 1: Proceso de decisión



Fuente: Arancibia, Sara y Contreras, Eduardo (2006 citado en Pacheco & Contreras, 2008).

Según Ercole, Alberto y Carignano (2007) es común suponer que los agentes de decisión actúan racionalmente. Sin embargo, en las situaciones reales los problemas se caracterizan por poseer mayor complejidad, lo que dificulta hallar la alternativa óptima de solución. Por lo tanto, el decisor debe concentrar sus esfuerzos en detectar alternativas que satisfagan suficientemente sus niveles de aspiración deseados para los objetivos propuestos, arribando así a una alternativa satisfactoria de solución.

Surge así un nuevo concepto incorporado por Simon (1995 citado en Ercole, Alberto & Carignano, 2007) que es el del decisor con racionalidad limitada, para poder afrontar el proceso de toma de decisión en una realidad compleja que se caracteriza por:

- Tener varios criterios u objetivos, que suelen estar en conflicto; los mismos deben ser considerados al seleccionar la alternativa solución.
- Los criterios y las alternativas pueden no estar claramente definidas y las consecuencias de la elección pueden no comprenderse. Además los mismos pueden estar interrelacionados.
- Algunos criterios incorporados en el análisis están compuestos por variables intangibles de difícil medición en términos económicos (aspectospolíticos, sociales y ambientales) que deben ser representados por una escala común., limitando de esta manera el uso de losmétodos tradicionales de evaluación de proyectos. La

escala para un criterio puede ser nominal, cardinal u ordinal, dependiendo de los datos disponibles y de la naturaleza de los criterios.

- La solución del problema depende de un grupo de personas que posee diferentes puntos de vista pudiendo entrar en conflicto con las posturas de los demás agentes decisores.

Existen diversos puntos que deben tenerse en cuenta en la administración del recurso hídrico, a saber:

- la multiplicidad de usuarios y potenciales interesados en los problemas asociados al uso del agua;
- el elevado grado de interconexión entre los problemas y las soluciones posibles, en términos espaciales, temporales e institucionales;
- la presencia muy frecuente de objetivos no cuantificables, precisamente sea en términos monetarios o bien en cualquier otro sistema de medida (Jimenez Sal, 2003).

Por lo antes mencionado se hace necesaria la utilización de una herramienta flexible que contemple la existencia de situaciones de conflicto derivadas de las limitaciones de los recursos naturales, así como de origen social, institucional o legal.

3.1.3 Análisis multicriterio

Ercole, Alberto y Carignano (2007) indican que los métodos de apoyo multicriterio a la decisión comienzan a surgir en la década del '70 para dar respuesta a la alta complejidad de los problemas reales que debían alcanzar una solución satisfaciendo múltiples objetivos de manera simultánea.

La principal ventaja de estos métodos científicos es que permiten agregar en forma amplia todas las características consideradas importantes ya sean cuanti o cualitativas. Durante el proceso se constituye una base para el diálogo entre los interventores, en el que se plantean las diferentes opiniones y se debaten las soluciones potenciales como un compromiso entre objetivos en conflicto. El resultado es la recomendación de acciones o cursos de acción a los agentes decisores.

El proceso de decisión multiobjetivo o multicriterio es un problema de optimización con varias funciones objetivo simultáneas. Matemáticamente se formula de la siguiente forma:

$$\text{máx. } F(\mathbf{x}); \mathbf{x} \in X$$

Donde:

x : Es el vector $[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$ de las variables de decisión. El problema de decisión es el de asignar los "mejores".

X : Es la denominada región factible del problema (el conjunto de posibles valores que pueden asumir las variables)

$F(x)$: Es el vector $[f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)]$ de las p funciones objetivo que representan los criterios u objetivos simultáneos del problema.

3.1.4 Clasificación de técnicas multicriteriales

Existen dos grandes ramas dentro de la metodología multicriterial, a saber:

- Rama continua: decisión multiobjetivo en la que las alternativas pueden tomar un número infinito de valores.
- Rama discreta o decisión multicriterio discreta (DMD), el conjunto de alternativas de solución es un número finito y pequeño de variables (Ercole, Alberto & Carignano, 2007).

Asimismo los principales métodos de DMD enunciados por Berumen y Llamazares Redondo (2007) son:

- Ponderación lineal (*scoring*): es el método utilizado comúnmente que tiene como objetivo obtener un puntaje global por suma de las contribuciones obtenidas en cada criterio. Si se tienen varios criterios con diferentes escalas es necesario un paso previo de normalización para que pueda efectuarse la adición de las contribuciones de cada uno de los atributos. Cabe resaltar que el orden obtenido depende del procedimiento de normalización aplicado (Ercole, Alberto y Carignano, 2007)
- Utilidad multiatributo (MAUT): se basan en estimar una función parcial para cada atributo, dependiendo de las preferencias de los agentes decisores, que luego se agregan en una función MAUT en forma aditiva o multiplicativa. Al determinarse la utilidad de cada una de las alternativas, se consigue una ordenación del conjunto de las alternativas que intervienen en el proceso (Ross 2007 citado en Berumen & Llamazares Redondo, 2007). La teoría MAUT busca expresar las preferencias del tomador de decisiones sobre un conjunto de atributos o criterios. Esta se encuentra basada en el principio de que todo tomador de decisiones intenta implícitamente maximizar una función que agrega todos los puntos de vista relevantes del problema.
- Relaciones de sobreclasificación: las propuestas de Roy y sus seguidores generaron una teoría basada en relaciones binarias, denominadas de sobreclasificación, y en los conceptos de concordancia y discordancia.
- Análisis jerárquico (AHP): método lógico y estructurado que optimiza la toma de decisiones con múltiples criterios, mediante la descomposición del problema en una estructura jerárquica.

Desde estos criterios fueron creados diversos procedimientos complementarios, entre los que caben mencionar el procedimiento *elimination et choix traduisant la réalité* (Electre). Las distintas versiones de Electre (I, II, III, IV, IS y TRI), proponen procedimientos para la solución de diferentes tipos de problemas suscitados en el tratamiento de la teoría de decisión. Estos métodos emplean relaciones de sobreclasificación (*outranking*) para decidir sobre una solución que considerada satisfactoria y, de ese modo, obtener una jerarquización de las alternativas.

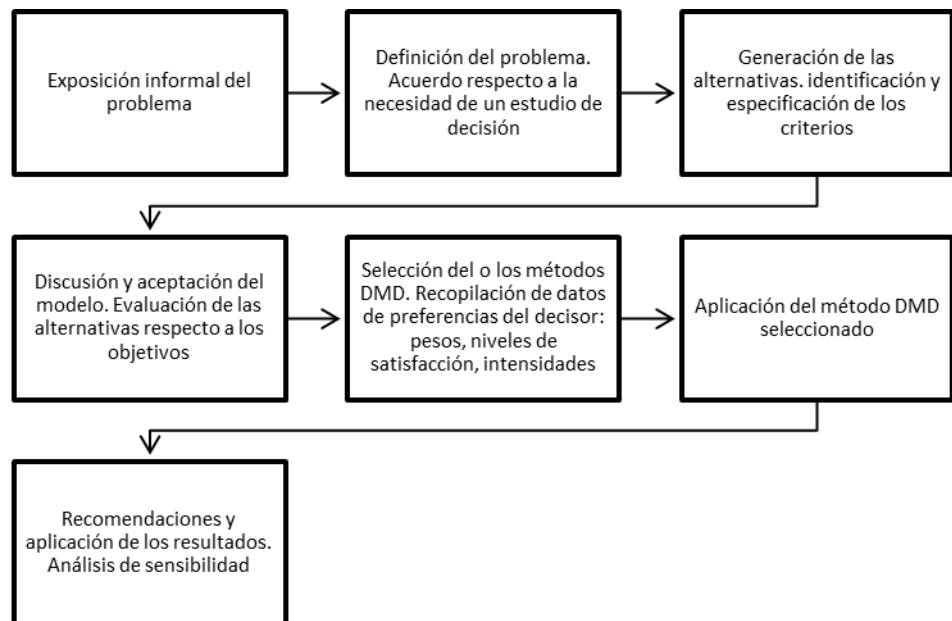
3.1.5 Conceptos básicos y fases de metodología multicriterio discreta

A continuación se mencionan los actores involucrados en el proceso de toma de decisión DMD y se efectúa un breve detalle de los elementos que se utilizan en la evaluación.

- Decisor: individuo o grupo de individuos que directa o indirectamente proporciona el juicio de valor final que es utilizado al comparar las potenciales alternativas de solución.
- Analista: persona que lleva a cabo la modelización del problema y efectúa las recomendaciones finales en base a la información subjetiva recolectada de los decisores.
- Conjunto de elección: conjunto finito y discreto de alternativas (que deberán ser diferentes, exhaustivas y excluyentes) denominado $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ Atributos o criterios: son los ejes que el evaluador considera en el proceso. Se denomina $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$. Los criterios deberán ser exhaustivos, coherentes y no redundantes.
- Matriz de decisión: el decisor debe poder otorgar a cada criterio y cada alternativa un valor numérico a_{ij} , que significa una evaluación de la alternativa A_i respecto del criterio C_j . Resumiendo las evaluaciones en una matriz $A = [a_{ij}]$
- Pesos o ponderaciones: medida de importancia relativa otorgada por el decisor a cada criterio teniendo en cuenta sus preferencias.

El proceso de toma de decisión utilizando la metodología multicriterio discreto cuenta con determinadas etapas a seguir hasta poder arribar a la elección de una alternativa satisfactoria. Seguidamente se realiza una enumeración de las distintas etapas con una breve descripción de cada una de ellas:

Gráfico 2: Fases de la metodología multicriterio discreta



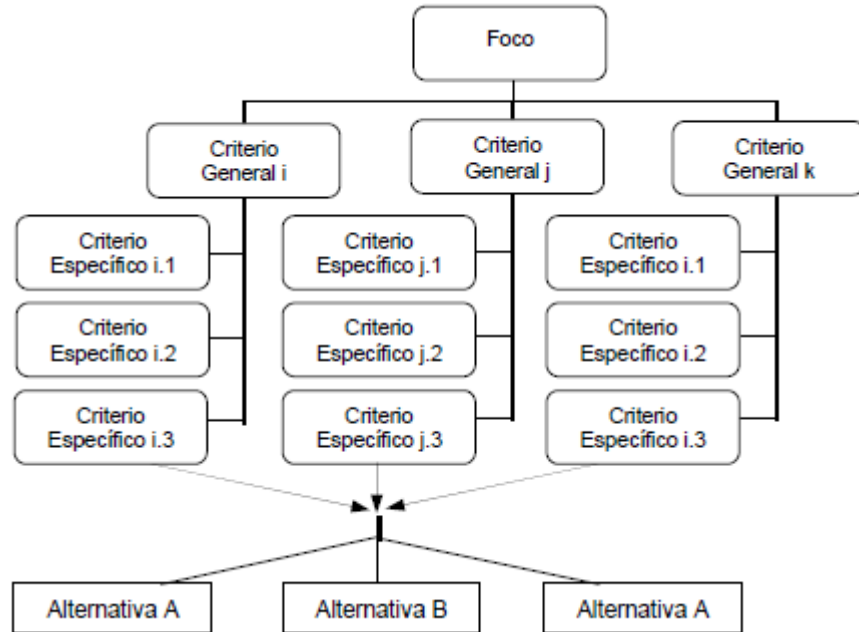
Fuente: Ercole, Alberto y Carignano, 2007.

3.1.6 El proceso Analítico Jerárquico – Principios rectores

Estos principios, en términos generales guían el proceso de evaluación. A continuación se explican cada uno de ellos.

- Construcción de las jerarquías: para comprender los sistemas complejos es preciso descomponerlos en sus elementos constituyentes que luego se estructurarán en una jerarquía. Esta, debe contener por lo menos tres niveles: el propósito u objetivo global del problema ubicado en la parte superior (foco), los criterios en el medio y las alternativas concurrentes en la parte inferior del diagrama.

Gráfico 3: Jerarquía del problema



Fuente: Arancibia, Sara y Contreras, Eduardo (2006 citado en Pacheco & Contreras, 2008).

- Establecimiento de prioridades: construido el modelo jerárquico, el decisor debe comparar, de a pares, cada elemento de un nivel jerárquico dado, generándose de esta manera una matriz de decisión cuadrada donde se representa, a partir de una escala predefinida, su opinión o preferencia entre los elementos comparados. La comparación se realiza utilizando la escala propuesta por Saaty (Tabla 1).
- Consistencia lógica: está compuesta por dos principios, la transitividad y la proporcionalidad. La escala que existe en la mente del decisor no puede emitir juicios 100% exactos de cumplimiento de dichos principios, dada la ausencia de valores exactos, por lo tanto se espera que no se cumpla con el principio de proporcionalidad de manera que se no se viole el principio de transitividad.

Tabla 1: Escala Fundamental

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igualmente preferida.	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo.
3	Moderadamente preferida.	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un elemento sobre el otro.
5	Fuertemente preferida.	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un elemento sobre el otro.
7	Preferencia muy fuerte o demostrada.	Un elemento es mucho más favorecido que el otro; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extremadamente preferida.	Preferencia clara y absoluta de un criterio sobre otro.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Se busca condición de compromiso entre dos definiciones.

Fuente: Saaty (1997 citado en Ercole, Alberto & Carignano, 2007).

De esta forma el AHP integra aspectos cualitativos y cuantitativos en un proceso único de decisión, incorporando simultáneamente valores personales y pensamientos lógicos en una estructura única de análisis convirtiendo en explícito un proceso mental, facilitando la toma de decisiones bajo escenarios múltiples, promoviendo resultados más objetivos y confiables.

3.2 Marco de antecedentes: estudios con casos de aplicación

Como se mencionó anteriormente, el AMC se ha utilizado en los últimos años como método de apoyo a la toma de decisiones en el marco de la gestión de recursos naturales. En el presente apartado se presentan en un cuadro resumen, los trabajos relevados que específicamente utilizaron la técnica para resolver problemas vinculados directamente con la gestión del recurso escaso agua, indicando en cada caso la técnica empleada.

Además para cuatro casos seleccionados referidos a la gestión de cuencas hídricas, se detallan los pasos para llevar a cabo el AMC y se presentan los principales resultados obtenidos en su aplicación.

Tabla 2: Resumen de principales aplicaciones de AMC en recursos naturales

Autores	Año	Aplicación	Técnica utilizada
Jiménez Sal	2003	Planeamiento de dos Cuencas Hidrográficas Argentinas con restricciones ambientales y de desarrollo, apuntando a una gestión sustentable.	AMC utilizando método ELECTRE I.
Sánchez, Jiménez, Velásquez, Piedra y Romero	2004	Detectar áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico en Cuenca del Río Sarapiquí (Costa Rica).	AMC utilizando Sistema de Información Geográfica (SIG).
Villacis Cruz	2005	Evaluar cambios en la situación del agua en Quito para los años 1990-2000.	AMC utilizando el método NAIADE (<i>Novel Approach to Imprecise Assessment and Decisión Environments</i>)
Mesa, Ortega y Berbel	2008	Evaluación de posibles medidas de gestión del agua en el embalse de La Breña (España).	AMC utilizando el Proceso Jerárquico Analítico (AHP por sus siglas en inglés).
Henríquez Ruiz y QüenseAbarzúa	2009	Ordenamiento territorial efectivo en la Cuenca Chillán (Chile).	AMC utilizando Sistema de Información Geográfica (SIG).
Cisneros, Grau, Antón, de Prada, Degioanni, Cantero y Gil	2010	Analizar el uso actual de los suelos en la Cuenca La Colacha (Argentina).	AMC utilizando métodos AHP, ELECTRE y PROMETHEE.
Chew Hernández, Velazquez Romero, DiazTellez y Viveros Rosas	2011	Inversión Planta de tratamiento de aguas residuales en una Institución Educativa.	Jerarquización de objetivos-cadena de medios a fines, árboles de decisión y análisis de sensibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

El trabajo realizado por Jiménez Sal en el 2003, muestra la aplicación de técnicas multicriteriales en el planeamiento de dos Cuencas Hidrográficas de **Argentina**, con restricciones ambientales y de desarrollo, apuntando a una gestión sustentable de los recursos de las mismas. En ambos casos se trabajó en conjunto con las diferentes autoridades comunales y provinciales de distinto nivel, representantes de entidades no gubernamentales y técnicos de las reparticiones, en diferentes talleres de trabajo. En dichas reuniones los decisores acordaron los criterios considerados fundamentales para estar asociados a las necesidades más relevantes del desarrollo hídrico y ambiental de la cuenca, en tanto los equipos técnicos de analistas plantearon las alternativas de obras y programas prioritarios (tanto “soluciones estructurales” como “soluciones no estructurales”) para resolver los problemas más urgentes de las cuencas, las cuales serían comparadas en base a los criterios. Estos últimos fueron ponderados por los decisores utilizando una escala de 0 a 10, tratando de reflejar el orden de importancia que otorgarían esos niveles de decisión a cada uno de ellos y según el detalle siguiente:

Tabla 3: Criterios y alternativas determinadas para la cuenca del río Tunuyán

N°	Criterios
1	Abastecimiento de Agua Potable y Cloacas (APC), peso = 9
2	Irrigación y Redes de Riego (IRR), peso = 8
3	Control de la Erosión Hídrica y de las Crecidas (CEC), peso = 7
4	Protección Ambiental Permanente (PAP), peso = 9
5	Generación de Energía Hidroeléctrica (GEH), peso = 6
6	Desarrollo Económico-Social (DES), peso = 8

N°	Alternativas
1	Obras de Regulación del Sistema de Ríos y Arroyos (RRA)
2	Obras de Conservación, Rectificación y Desembanque de Manantiales y Causes (CDR)
3	Obras de Saneamiento Urbano y Rural (SUR)
4	Institucionalización del Equipo de Supervisión de la Cuenca (IES)
5	Generación de Energía Hidroeléctrica (GEH)
6	Control Preventivo de Áreas Naturales (CAN)
7	Obras sobre Rutas y Caminos Departamentales (RCD)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos en Jiménez Sal 2003.

Tabla 4: Criterios y alternativas determinadas para la cuenca del río Suquía

N°	Criterios
1	Habitantes servidos con cloacas (actualizado) (HSC)
2	Beneficios netos anuales (BNA)
3	Calidad en los cursos de agua (CCA)
4	Riego agrícola y tratamiento de barros (RTB)

N°	Alternativas
1	Obras de tratamiento aisladas (OTA)
2	Proyecto de la cooperativa Valle de Punilla (CVP)
3	Proyecto consultoras Bechtel-Roggio (BRA)
4	Proyecto consultor Ing. PotelJunot (CPJ)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos en Jiménez Sal 2003.

La técnica multicriterio utilizada en ambos casos, es el método ELECTRE I, que consiste en un procedimiento para arribar a un orden de mérito de las alternativas evaluadas, reduciendo el tamaño del conjunto de soluciones eficientes en sentido paretiano.

Luego de realizar una serie de pasos y matrices (que se inician con la elaboración de la matriz de decisión inicial, asimilable a la clásica matriz de pagos de los problemas de teoría de la decisión convencional en condiciones de incertidumbre y finaliza con la obtención de la matriz de concordancia discordante) se arriba al ordenamiento y reducción a las alternativas más eficientes a través del grafo ordenador de alternativas, teniendo en cuenta el concepto de sobrevaloración. En el primer caso se concluyó que el

núcleo de alternativas preferidas se limita a las IES, SUR y principalmente RAA y para la segunda cuenca la alternativa CPJ se presentaba como más favorable respecto de las otras alternativas.

El trabajo mostró un aporte sobre la conveniencia de la utilización del método multicriterial como una herramienta transdisciplinaria ya que permitió que los diferentes integrantes de los equipos técnicos provinciales y municipales de las cuencas en estudio puedan manejarse en un entorno común de planeamiento, al tiempo que los agentes decisorios notécnicos han participado también activamente de las reuniones de trabajo conjunto, creándose de este modo un nivel de conocimiento común a nivel del conjunto de los participantes.

El propósito central del trabajo elaborado por Henríquez Ruiz y Qüense Abarzúa (2009) fue utilizar la herramienta de Evaluación Multicriterio y Evaluación Multiobjetivo (EMC y EMO, respectivamente) como apoyo a la toma de decisiones en el ámbito territorial de una cuenca hidrográfica de **Chile**, resaltando el uso de los Sistemas de Información Geográfica y el procesamiento de imágenes satelitales, para determinar la aptitud del territorio para actividades y usos del suelo específicos.

Se definieron las alternativas relevantes para el desarrollo sostenible de la cuenca, las cuales se encuentran en conflicto ya que compiten por espacios que ofrecen condiciones favorables para cualquiera de ellas: espacios de conservación, plantaciones forestales, usos agrícolas y áreas de expansión urbana.

En función de las características físicas y socioeconómicas de la cuenca se determinó la capacidad de acogida para cada uso predominante mediante el método de EMC, entendida esta como la sumatoria de los factores positivos, menos la sumatoria de los factores negativos asociados a la actividad evaluada, obteniendo para cada lugar del territorio un determinado valor (Gómez & Barredo 2005, citado en Henríquez Ruiz & Qüense Abarzúa, 2009).

El diseño metodológico contempla dos procedimientos generales: la determinación de la EMC para los cuatro objetivos definidos de acuerdo a su capacidad de acogida, y luego una EMO que permita la co-existencia entre los objetivos identificados para la cuenca. El método se ha realizado sobre la plataforma SIG *Idrisi Andes* (Eastman, 2006a, 2006b; Eastman, et al, 1995, citado en Henríquez Ruiz & Qüense Abarzúa, 2009).

Para aplicar el EMC se utilizó el método de sumatoria lineal ponderada, el cual corresponde a una operación aritmética simple del tipo compensatorio aditivo (Gómez & Barredo 2005, citado en Henríquez Ruiz & Qüense Abarzúa, 2009). El cual consiste en multiplicar el valor de cada criterio o factor (coberturas georreferenciadas y normalizadas en escala de 0 a 255) por su peso. Para la determinación de los pesos de los factores se utilizó el Método de Jerarquía Analítica.

Una vez normalizados los factores y restricciones y asignados los pesos se utilizó el método de sumatoria lineal ponderada ordenada. Este se trata de un módulo incluido en *Idrisi* que permite la unión del método de EMC rígido y la lógica borrosa, para compensar entre los distintos factores aditivos (Gómez & Barredo 2005, como es citado en Henríquez Ruiz & Qüense Abarzúa, 2009). Para cada objetivo se han utilizados distintas combinaciones de pesos ordenados hasta alcanzar un resultado espacial óptimo.

Los resultados obtenidos permiten prever ciertos conflictos entre los suelos de alta prioridad agrícola con la presión inmobiliaria futura de la ciudad de Chillán; y en los espacios cordilleranos entre las plantaciones forestales y el bosque nativo. Estos resultados pueden ser de gran ayuda para una planificación sustentable de cuencas y planes regionales de ordenamiento territorial.

En **Costa Rica**, se utilizó la herramienta AMC, para analizar la cuenca del Río Sarapiquí, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG); logrando determinar áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico, a través de criterios de prioridad en tres escenarios: calidad actual del agua, cantidad aprovechable de agua y recuperación de la cobertura vegetal en las orillas de los ríos.

Se realizó una identificación de los principales usos de la cuenca por medio de entrevistas semiestructuradas a los principales actores para lograr una correcta caracterización de la cuenca.

A través de un taller conformado por investigadores, líderes locales, administradores de los recursos naturales, representantes de organismos no gubernamentales, se procedió a definir los criterios teniendo en cuenta como prioridad el manejo del agua: calidad del agua y cantidad aprovechable en la cuenca. Los criterios fueron valorados recurriendo a una encuesta de opinión a los mismos expertos utilizando una escala de 1 a 5 (valores mayores indican mayor grado de prioridad de manejo). A su vez se efectuó una valoración entre criterios que consistió en la ponderación de los mismos en una escala porcentual, según su grado de influencia.

Los resultados fueron estandarizados para someterlos al análisis multicriterio utilizando el analista espacial (*Spatial Analyst*) con las herramientas del *Model Builder* (MB) de *Arc-View 3.2a*.

Los resultados del modelo de prioridad de áreas para el manejo de la calidad del agua muestran que la categoría *muy alta prioridad* es inexistente y la *alta prioridad* alcanza apenas un 0,4%. Las áreas predominantes fueron las de *mediana* y *baja prioridad* (esta última para el 79,0% del área). El modelo de prioridad de áreas de manejo de la cantidad aprovechable del agua muestra una predominancia de áreas catalogadas como de *mediana* (65,3%) y *baja* (33,0%) prioridad.

La identificación de áreas prioritarias en categorías jerárquicas brinda información de hacia dónde deben dirigirse los esfuerzos a corto, mediano y largo plazo para la recuperación del recurso hídrico.

A partir de los resultados, se concluye que el manejo de áreas para asegurar la calidad del agua en la cuenca debe orientarse a la mitigación de los focos de contaminación mediante la corrección de prácticas productivas y educación ambiental a las comunidades aledañas a los cursos de agua. También planes de reforestación de las riberas de los ríos, puede tener efectos positivos en la recuperación de los niveles de prioridad de la calidad del recurso hídrico.

Es necesario abordar los problemas y posibles soluciones en cuanto al manejo del recurso hídrico con un enfoque integral que reconozca el carácter multisectorial de su aprovechamiento (Sánchez, Jiménez, Velásquez, Piedra y Romero, 2004).

Por último, Mesa, Ortega y Berbel (2008) elaboraron un trabajo de investigación con el fin de aplicar el análisis multicriterio de las medidas de gestión del agua en el entorno del embalse de La Breña (en **España**) en aplicación de la Directiva del Marco del Agua (DMA).

La técnica multicriterial otorga flexibilidad, permitiendo observar la participación pública, la legitimidad de las medidas de gestión hídrica en la demarcación del Guadalquivir, con particulares problemas de escasez de agua y competencia intra e inter-uso.

Se desarrolla el método AHP para determinar el valor concedido por la sociedad a los distintos criterios implicados en la gestión del agua a partir del desarrollo de una encuesta a una porción representativa de la población en Almodóvar del Río y Córdoba. A raíz de los resultados elaboraron una jerarquía analítica para la gestión del agua con tres criterios genéricos de decisión: criterios sociales, económicos y ambientales, que a su vez

se dividieron en un total de seis subcriterios. Como subcriterios de carácter social, consideraron: la garantía del suministro y la calidad del agua captada para consumo humano y los efectos sociales sobre el sector agrícola y el desarrollo rural. Los subcriterios de carácter económico elegidos, han sido: la contribución al desarrollo económico general de la Cuenca del Guadalquivir y el costo de la medida de gestión hídrica. Como subcriterios de carácter ambiental, se definieron: los efectos ecológicos sobre el hábitat y los efectos sobre el déficit hídrico de la Cuenca del Guadalquivir que hace referencia al mantenimiento de un caudal ecológico mínimo en los ríos de la cuenca.

Posteriormente el agente decisor, efectuó la comparación por pares asignándoles un valor mediante la utilización de la escala de Saaty (transforma juicios semánticos en valores numéricos), según la elección y juicio del encuestado. Con las cifras resultantes de las comparaciones se elaboró la matriz de comparación de pares.

Luego, se estimó el grado real de consistencia que acompaña a los juicios del decisor, exigiéndose un nivel mínimo de consistencia para la aceptación de dichos juicios emitidos en forma de comparaciones de elementos.

A continuación se realizó la valoración del impacto de varias alternativas de gestión hídrica sobre los criterios definidos basándose en cuestionarios realizados a expertos en áreas relacionadas con la investigación y la gestión hídrica, de las que surgieron:

- Ampliación del embalse de La Breña.
- Modernización de los regadíos de la región, mejorando las redes de distribución implantando en parcela sistemas más eficientes.
- Incremento de la tarificación en alta del agua para riego.
- La realización simultánea de las tres actuaciones anteriores.

Seguidamente se realiza una comparación de a pares en matrices de 2x2 donde se confrontan y valorizan cada alternativa con cada subcriterio, para realizar la agregación de los pesos, arribando a una puntuación alternativa-subcriterio.

Finalmente, cruzando los pesos concedidos por la sociedad a los subcriterios con las puntuaciones se obtiene el orden de prioridades.

Los resultados alcanzados a través del Método AHP, muestran que la alternativa de gestión hídrica que más utilidad aportaría al conjunto de la sociedad de la región considerada en nuestro estudio, es la modernización de regadíos, que a su vez es la alternativa que requiere mayor inversión. Esto se debe a la ínfima valoración social (4,6%) que ha recibido el subcriterio costo de la medida. Probablemente la percepción que tiene el encuestado de su contribución al pago de los costos de cada medida, no sea tan clara como su percepción del desarrollo económico del entorno local y lo que ello puede contribuir a mejorar su nivel de vida.

4. Consideraciones finales

El objetivo del presente trabajo fue estudiar los métodos multicriteriales desde una perspectiva teórica haciendo especial hincapié en el (AHP) y posteriormente, analizar diferentes estudios que utilicen técnicas multicriteriales en la gestión sustentable de recursos hídricos a fin de evaluar su factibilidad en dicho área. A través de la revisión bibliográfica se logró dar comienzo a la confección de un marco conceptual, haciendo hincapié en los aspectos relacionados a la sustentabilidad para una correcta e integral gestión de los recursos hídricos.

Como se mencionó anteriormente, este es un primer paso en la elaboración del marco de antecedentes, para luego continuar indagando en diferentes publicaciones. Las conclusiones son consideradas resultados preliminares.

Dados los cambios a nivel mundial, no solo demográficos, sino climatológicos y de condiciones naturales, no puede pensarse en una gestión que contemple solo aspectos

económicos como los métodos tradicionales. Es inminente la incorporación de los factores que componen los pilares de la sustentabilidad a la toma de decisiones en el sector público.

Siguiendo a Arancibia, Contreras, Mella, Torres y Villablanca (2003), la planificación de inversiones públicas representa un problema caracterizado por la amplia variedad de consideraciones y factores que deben tenerse en cuenta en la ejecución de los estudios o la construcción de cada una de las posibles obras. Se plantea así el problema básico que se debe enfrentar: asignar recursos económicos, generalmente escasos, a una diversidad de posibilidades de acción para obtener los objetivos deseados.

Surge de esta manera, como una herramienta innovadora en el proceso de toma de decisiones del sector público, la aplicación del método análisis multicriterial iniciado en la década del '70. La principal ventaja de estos métodos científicos es que permiten agregar en forma amplia todas las características consideradas importantes ya sean cuantitativas o cualitativas.

Durante el proceso se constituye una base para el diálogo entre los interventores, en el que se plantean las diferentes opiniones y se debaten las soluciones potenciales como un compromiso entre objetivos en conflicto. El resultado es la recomendación de acciones o cursos de acción a los agentes decisores.

De la revisión de los artículos de casos empíricos se concluye que la herramienta AMC puede ser incorporada al proceso de toma de decisión para la gestión de recursos hídricos de manera exitosa. Se obtuvieron resultados satisfactorios en los diferentes casos estudiados, aplicando diferentes métodos y distintos *softwares*.

Se destaca la facilidad de comprensión del proceso y de los resultados por parte de todos los actores. Una de sus principales utilidades es que brinda una visión global de la situación a partir de la cual se tomarán decisiones. Otra de sus ventajas es que permite observar como se modifican las alternativas elegidas al incorporar diversos criterios de evaluación, ya que en estudios de factibilidad arrojan resultados de no implementación (al no ser costeables económicamente) pero aun así se lleva a cabo la inversión justificada por el criterio de la utilidad social (Chew Hernández, Velazquez Romero, Díaz Tellez y Viveros Rosas, 2011).

Asimismo, la utilización de la herramienta AMC, genera una sinergia dado el trabajo interdisciplinario de los diferentes actores, arribando a una solución de compromiso que satisface todos los intereses involucrados.

5. Referencias bibliográficas

- Aguas Bonaerenses S.A (2013). Sistema agua potable para Bahía Blanca, Punta Alta Ingeniero White, Polo Industrial y General Cerri. Dique Paso de las Piedras.
- Arancibia, S., Contreras, E., Mella, S., Torres, P. & Villablanca, I. (2003). Valuación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva [working paper] Universidad de Chile.
- Chew Hernández, M., Velazquez Romero, V., Diaz Tellez, R. & Viveros Rosas, L. (2011). *Propuesta de modelo multicriterio innovador para el análisis del proyecto de inversión en una planta de tratamiento de aguas*. Suplemento, 8(2), pp.91-119.
- Cisneros, J. M., Grau, J. B., Antón, J. M., de Prada, J. D., Degioanni, A. J., Cantero, A. & Gil, H. A. (2010). Evaluación multicriterio de alternativas de ordenamiento territorial utilizando modelos hidrológicos y de erosión para una representativa del sur de Córdoba. En P. Lateral, E. Jobágy, J. Paruelo (Eds.). *Valoración de servicios ecosistémicos* (pp. 552-579), Buenos Aires, Ediciones Inta.
- Ercole, R. A., Alberto, L. C. & Carignano, C. E. (2007). Decisiones multicriterio discretas. En *Métodos cuantitativos para la Gestión* (2ª Ed., pp. 161-190). Córdoba: Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas de la UNC.
- Ferrara, I. & Alamo, M. (2009). La problemática del agua en el sudoeste bonaerense: la ciudad de Bahía Blanca [comunicación]. Bahía Blanca, Argentina: Universidad Nacional del Sur.
- Grippio, S. B. & Visciarelli, S. M. (2005). *Inversiones en servicios públicos y dinámica del espacio urbano*. Scripta Nova, 9, 194(61).
- Henríquez Ruiz, C. & Qüense Abarzúa, J. (2009). *Evaluación multicriterio/multiobjetivo aplicada a los usos y coberturas de suelo en la cuenca de Chillán*. IV Encuentro de la Red Iberoamericana de la Evaluación y Decisión Multicriterio, Universidad de Guadalajara, México.
- Hernández Sampieri R., Fernández Collado C. & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5ª Ed.). México: Mc Graw Hill.
- Jiménez Sal, J. C. (2003). *El análisis multicriterio como método para la gestión sustentable de los recursos hídricos*. XI Congreso Mundial del Agua. La Gestión de los Recursos Hídricos en el siglo XXI, Madrid, España.
- Berumel, S., Llamazares Redondo, F. (2007). *La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente*. Cuadernos de Administración Colombia, 20(34). pp. 65-87.
- Mesa, P., Ortega, J. & Berbel, J. (2008). *Análisis multicriterio de preferencias sociales en gestión hídrica bajo la Directiva Marco del Agua*. Economía Agraria y Recursos Naturales, 8(2). pp. 105-126
- Pacheco, J. F. & Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. [Manual]. Chile: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES).
- Sánchez, K., Jiménez, F., Velásquez, S., Piedra, M. & Romero, E. (2004). *Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica*. Recursos Naturales y Ambiente, pp. 88-95.
- Villacis Cruz, B. (2005). *La crisis del oro azul: un análisis de la sustentabilidad del agua en la ciudad de Quito*. Tesis de Maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Quito, Ecuador.

Información en línea:

Glosario hidrológico internacional de la UNESCO (s.f) recuperado el 29/03/2016 de:
<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/ES/GF1376ES.HTM>

World Commission on Environment and Development (1987). Our common future.
Recuperado el 29/03/2016 de: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>