

# Toma de Decisión para la Obtención de Recursos Hídricos en Empresas Mineras de Cobre Mediante la Aplicación de la Técnica de Multicriterio Discreto AHP

Alejandro Ramírez Guardi\*

---

\* Dr. Proyectos Ingeniería (c) Universidad Politécnica de Valencia, España.  
Profesor del Área de Administración de Empresas y Negocios Universidad Tecnológica de Chile INACAP, La Serena. Mail: [alejandro.ramirez@inacapmail.cl](mailto:alejandro.ramirez@inacapmail.cl)  
Académico Facultad de Ciencias Sociales y Económicas, Departamento de Ciencias Económicas y Empresariales Universidad de La Serena. Mail: [amramirez@userena.cl](mailto:amramirez@userena.cl)

**Resumen:** El presente estudio propone una estructura multinivel mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) que forma parte de las técnicas multicriterio discreto, para ser aplicado a la resolución de la obtención del recurso hídrico usado en operaciones mineras en la cuarta región de Chile.

Se propone una metodología moderna y dinámica que aporte a generar alternativas que permitan tomar decisiones en escenarios cambiantes, como son lo que se presentan en el sector minero.

**Palabras claves:** AHP, recursos hídricos, multinivel, criterios de decisión.

**Abstract:** The present study proposes a multi-level structure through the Analytic Hierarchy Process (AHP) which is part of the discrete multi-criteria techniques to be applied to the resolution for obtaining water resources used in mining operations in the fourth region of Chile.

A modern and dynamic method is proposed in order to provide alternatives that allow make decisions in changeable scenarios as those presented in the mining industry.

**Key words:** AHP, water resources, multi-level, decision criteria.

## **Introducción**

Una opción a considerar en la resolución del problema de escasez de recursos hídricos, es la utilización de técnica multicriterio discreto mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), el cual permite entregar información relevante para la toma de decisiones a ejecutivos, técnicos, académicos, investigadores y otros profesionales ligados a la toma de decisión es en escenarios complejos, tanto en organismos públicos como privados.

Específicamente para el sector minero, el recurso hídrico es una variable crítica que forma parte de la función de las productividades parciales, además de la total.

Según las últimas proyecciones realizadas por la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) se prevé una expansión en la demanda de agua para las operaciones propias de las empresas mineras en los próximos años, como consecuencia de nuevos proyectos mineros, razón por la cual, se hace necesario manejar eficiente y oportunamente el recurso obtenido. Ayala (Ayala, et al, 2007), indica que se concentra el 8,75% de los derechos consuntivos desde la I a IV región de Chile.

## **Fundamentos del Proceso Analítico Jerárquico**

En relación a la fundamentación sobre el proceso analítico jerárquico, se tiene una amplia cantidad de referencias.

En (Pastor, 2007; *Cit.* (Saaty, 1980; Saaty, 1982; Saaty, 1994; Saaty, 1996; Saaty, 1997; Saaty, 2001).

La secuencia para abordar un problema de multicriterio discreto, utilizando el proceso analítico jerárquico, se nombra en cinco pasos: Jerarquizar el problema multicriterio según los niveles que corresponda en función de la problemática a resolver; realizar una comparación por pares entre los criterios en base a la escala binaria de Saaty, y posteriormente se procede a comparar las alternativas entre sí, respecto a la misma escala binaria, y respecto al criterio seleccionado. El procedimiento se realiza cuantas veces sea necesario en función de la cantidad de criterio y alternativas que formen parte del problema que se está estudiando; construir la matriz de juicio para cada nivel; calcular las prioridades para cada nivel, es decir para el nivel de criterios y alternativas del problema. Por último se determinan las prioridades globales correspondientes a cada una de las alternativas del problema.

La tabla propuesta por Saaty para comparaciones relativas es la siguiente:

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	El criterio <b>A</b> es igual de importante que el criterio <b>B</b> .
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio <b>A</b> sobre el <b>B</b> .
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio <b>A</b> sobre el <b>B</b> .
7	Importancia muy grande	El criterio <b>A</b> es mucho más importante que el <b>B</b> , tal como se demuestra en la práctica.
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio <b>A</b> sobre el criterio <b>B</b> es irrefutable.
2,4,6,8	Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar.	
Para expresar reciprocidad se usan los inversos de estos valores.		

**Tabla 1. Comparaciones binarias de Saaty (1980)**

En Aznar, 2002, así como en las referencias indicadas al inicio citadas por Pastor, 2007, se abordan algunos procedimientos que son necesarios para mejor comprensión de la operatividad del proceso, sin entrar en demostraciones matemáticas que no son parte del objetivo del presente trabajo.

Sean  $(c_1, c_2, c_3, \dots, c_j, \dots, c_n)$  criterios de decisión presentados para la solución de un problema y  $(A_1, A_2, A_3, \dots, A_j, \dots, A_m)$  posibles alternativas que se plantean para resolver el mismo.

En la comparación por pares de criterios, como asimismo en las comparaciones pareadas de alternativas subordinadas a un criterio en particular, cada experto o decisor asigna pesos relativos  $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_j, \dots, w_n)$  de un criterio con respecto a otro, y también lo hace al comparar las alternativas entre sí en función de cada uno de los criterios que forman parte del problema, valiéndose de la escala binaria de Saaty.

Una vez que el experto a indicado sus preferencias en las comparaciones de criterio  $(c_1/c_2, c_1/c_3, \dots, c_1/c_j, \dots, c_1/c_n)$ , lo que está realizando es la comparación del peso asignado a un criterio respecto a otro criterio, es decir  $(w_1/w_2, w_1/w_3, \dots, w_1/w_j, \dots, w_1/w_n)$ , luego, se compara el criterio dos con cada uno de los criterios, y así sucesivamente hasta llegar al criterio enésimo que se compara con cada uno.

Finalmente es posible obtener una matriz de proporciones como resultado de las comparaciones de todos los pesos de los criterios que forman parte del problema.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_j & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_j & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_j/w_1 & w_j/w_2 & \dots & w_j/w_j & w_j/w_n \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_j & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

**Matriz I de proporciones formada por comparaciones de pesos desde el criterio 1 hasta el criterio n.**

Anteriormente, no se hizo mención a la auto comparación de criterio, debido a que su resultado es la unidad ( $w_1/w_1, w_2/w_2, \dots, w_j/w_j, \dots, w_n/w_n$ ), o bien se puede dar el caso que dos criterios tengan la misma importancia. ( $w_k/w_n = 1$ )

El mismo procedimiento se aplica para las alternativas con respecto a cada criterio que forme parte de un problema.

Garuti y Escudey, 2005, plantean dos reglas básicas para un cambio de notación de las respectivas proporciones registradas en la matriz con respecto a la comparación de un par de criterio ( $c_k/c_n$ ) y sus respectivos pesos bajo el mismo concepto de comparación

$$(w_k/w_n) \cdot a_{ij} = a \rightarrow a_{ji} = \left( \frac{1}{a} \right); a \neq 0$$

Entonces la comparación de pesos entre ( $c_k/c_n$ ) que corresponde a ( $w_k/w_n$ ), se puede expresar como

$$a_{kn} = \left( \frac{w_k}{w_n} \right) \rightarrow a_{nk} = \left( \frac{1}{\frac{w_k}{w_n}} \right) = \left( \frac{1}{a_{kn}} \right)$$

Si dos criterios comparados son igualmente importantes o preferibles para un experto, se cumple que

$$a_{ij} = a_{ji} = a_{ii} = 1; \forall a$$

A partir de estas expresiones la matriz de proporciones formada por comparaciones de pesos desde el criterio 1 hasta el criterio n, se puede expresar como:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & a_{j2} & \dots & a_{jj} & a_{jn} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & a_{1n} \\ 1/a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2j} & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & \dots & a_{jj} & a_{jn} \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1/a_{jn} & a_{nn} \end{bmatrix}$$

**Matriz II expresión de las proporciones en la forma ( $w_n/w_j=a_{nj}$ ) a partir de las comparaciones de los pesos de los criterios.**

En ambos casos la diagonal es 1, y además cumple dos propiedades importantes: satisface el axioma de reciprocidad y el resultado es una matriz positiva.

Por tanto, el valor del autovalor o valor propio ( $\lambda$ ) corresponde a la suma de los elementos de la traza o diagonal, además se cumplen las reglas propuesta por Garuti y Escudey.

En general la expresión queda:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1j} & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2j} & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & a_{j2} & \dots & 1 & a_{jn} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_j \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_j \\ w_n \end{bmatrix}$$

Construida la matriz de comparaciones pareadas se calcula el vector propio de la misma, donde la expresión en términos de ecuación es:

$$A * w = \lambda * w$$

Sea  $\lambda$  (lambda) un escalar considerado valor propio de la matriz **A**, asociado con el vector propio **w**, donde éste vector indica el peso de cada uno de los criterios utilizados en el planteamiento del problema.

En cuanto al número de comparaciones necesarias para resolver el problema, éstas podrán obtenerse de las comparaciones que están en la triangular

superior o bien en la triangular inferior de la matriz de proporciones de pesos relativos, a partir de un mínimo (n-1) comparaciones, y como máximo n(n-1)/2 comparaciones.

A nivel multi experto, se calcula la media geométrica entre los juicios emitidos, y el procedimiento opera de la siguiente manera: Sea  $a_{ij}$  un elemento de la matriz de proporciones, resultante de la comparación de dos criterios (i y j). Sea  $a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijn}$  las comparaciones realizadas por los expertos (1 al n), respecto a los criterios señalados. Los pesos relativos a las comparaciones serán

$$\left( \frac{w_i}{w_j} \right)_1, \left( \frac{w_i}{w_j} \right)_2, \dots, \left( \frac{w_i}{w_j} \right)_n \text{ respectivamente.}$$

Por tanto, para conocer el peso relativo final entre la comparación pareada de criterios ( $a_{ij}$ ) considerando el total de los juicios emitidos por los expertos, se propone utilizar la siguiente expresión:

$$MG = \left( a_{ij1} * a_{ij2} * \dots * a_{ijn} \right)^{1/n}$$

Donde MG es la media geométrica, y el resultado indica el valor obtenido considerando todos los juicios emitidos por los expertos.

Tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistencia aleatoria	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Tabla 2. Valores de la consistencia aleatoria en función del tamaño de la matriz (Saaty, 1980)

Se considera que existe consistencia cuando los valores obtenidos no superan a los que aparecen en tabla.

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 ó mayor	10%

Tabla 3. Porcentajes máximos del ratio de consistencia (Saaty, 1980.)

### **Casos de aplicación de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) en gestión de recursos hídricos a nivel mundial.**

Diversas investigaciones concluyen que el denominador común de los problemas de escasez de recursos hídricos se deben entre otros a fenómenos meteorológicos, situación socioeconómica, reglamentos deficientes, degradación ambiental y escasa participación de los interesados (Kampragov et al, 2007). Dejando en evidencia la necesidad de establecer en la mayoría de los países en vía de desarrollo una mejor gestión de los recursos hídricos desde una óptica integral.

A continuación se presentan algunos casos de aplicación de AHP vinculado a los recursos hídricos, haciéndola extensiva a buscar soluciones eficientes en la obtención y manejo de los recursos hídricos en la región.

Srdjevic ,2007. Realizó un estudio aplicando AHP en la cuenca de San Francisco en Brasil para mejorar la gestión de recursos hídricos y obtener planes estratégicos a un horizonte de 20 años.

Otros investigadores, (Machiwal, et al 2011 *Cit.* Chi y Lee 1994; Sikdar et al 2004; SENER et al 2005; RaviShankar y Mohan 2006; y recientemente, (Hajkowicz y Higgins, 2008) aplicaron la técnica AHP en estudios relacionados con aguas subterráneas.

En Chile el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe (CAZALAC, 2006) propuso modelamientos de acuíferos, pozos y canales mediante el sistema de información geográfica para delimitar las zonas de estudio e influencias de cada en la provincia de Elquí, Limari y Choapa.

Karbassi, et al, 2011. Realizaron una investigación sobre la calidad de las aguas, mediante un índice de calidad de agua (WQI) evaluado bajo el estándar de calidad de agua National Sanitation Foundation(NSF) en el río Gorganrood que desemboca en el Mar Caspio.

Malmasi, et al ,2010. Realizaron un estudio de impacto ecológico sobre las industrias petroquímicas Mahshahr, principalmente por las consecuencias de esta industria en la emisión de aguas residuales y de residuos peligrosos, cuyos efectos término contaminando la flora y fauna acuática y el subyacente impacto en la salud humana. Para el propósito se utilizó AHP para conocer el impacto ambiental del sector industrial petroquímico y clasificar los contaminantes emitidos.

Calizaya, et al, 2010. Investigaron la contaminación de las aguas de los residuos vertidos por las empresas mineras lago Poopó en Bolivia. Se aplicó AHP, atendiendo tres criterios: económico, ambiental y social, debido a una baja productividad en los cultivos de la zona, alta salinidad y degradación de los suelos por derrame de petróleo afectando a los habitantes y agudizando aún más su condición de pobreza en la zona, cuyas actividades son la agricultura y ganadería, ambas en baja escala.



Mei, et al, 1989 Beijing China, aplicaron AHP para establecer políticas de obtención de recursos hídricos y la posterior gestión de éstos.

Los principales planteamientos del estudio apuntaron a responder las siguientes preguntas:

- 1.- ¿Cuál es el requisito para resolver la crisis de escasez del agua?
- 2.- ¿Cómo serán evaluadas las políticas y cómo determinarán las prioridades?
- 3.- ¿Cuáles deberían ser los factores restrictivos a considerar?

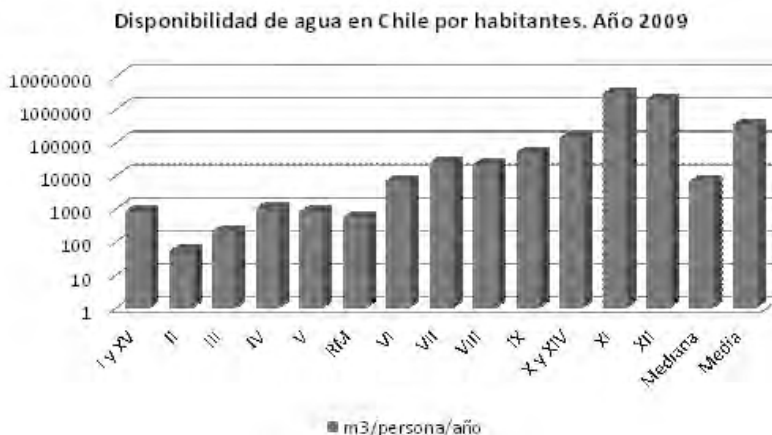
A partir de la aplicación AHP para solucionar diversas problemáticas en distintos lugares del mundo, y en diversas situaciones que presentan complejidades por la cantidad de criterios, sub-criterios, decisores, factores y actores involucrados y/o afectados, se demuestra que su aplicación no tiene fronteras.

### **Situación de los recursos hídricos en Chile.**

La disponibilidad del recurso hídrico en Chile supera en casi 27 veces el volumen mínimo requerido para ser considerado internacionalmente con un nivel de desarrollo sostenible.

Sin embargo, un análisis de la situación de Chile considerando condiciones geográficas, climáticas y otras, se aprecian realidades distintas, como por ejemplo, la alta variabilidad de la escorrentía entre las zonas norte y centro - sur del país, presentándose dos escenarios diametralmente opuestos de sequías e inundaciones respectivamente.

De las quince regiones de Chile, solo siete de éstas cumplen con un nivel de escorrentía mínimo para ser considerada como región de un posible desarrollo sustentable.



**Gráfico 1. Disponibilidad de agua en Chile por habitante. (Banco Mundial a partir de DGA, 1987,1999; e INE, 1992 ,2003 y 2009) Escala Logarítmica.**

A partir de los registros que se tiene desde el año 1911 hasta el año 2009, los embalses construidos por el estado han alcanzado cerca de 4.460 Mm<sup>3</sup> destinados para el riego y 9.900 Mm<sup>3</sup> destinados para el almacenamiento para la hidroelectricidad, lográndose solo una captación de aguas bajo el concepto de escorrentía de 0,016%. (Banco Mundial 2011; *Cit.* CDEC-SIC, 2005).

Chile tiene un importante volumen de recursos subterráneos (Ayala, 2010) siendo la recarga media estimada en 55 m<sup>3</sup>/s desde la RM al norte (Salazar, 2003) y al sur de esta en 160 m<sup>3</sup>/s entre las regiones VII y X.

Hasta los años 90, la explotación de las aguas subterráneas era poco significativa. Sin embargo, en adelante ante la ausencia de ejercer derechos a aguas superficiales comienza a tomar fuerza la demanda por los derechos de la primera.

En el año 2003, la utilización efectiva de aguas subterráneas alcanzaba a 88 m<sup>3</sup>/s, donde el 49% se utilizaba en agricultura, 35% para abastecimiento poblacional y 16% para industria.

El 54% de los sectores hidrogeológicos en donde estaban ubicados los acuíferos fueron considerados por la DGA como áreas de restricción y zona de prohibición, con la finalidad de proteger tanto al acuífero como a los derechos de los terceros constituidos con anterioridad a la cuenca.

En Chile de acuerdo al código de aguas, éstas son de uso público. Por tanto se les otorga a los particulares el derecho para su uso y goce en conformidad a la ley. En particular lo anterior implica que un dueño de derechos de aprovechamiento está facultado para transferirlos, arrendarlos o venderlos a terceros, con lo que se pretende mediante éste mercado de agua lograr un uso eficiente del recurso.

Según datos aportados por la UNESCO 2003 (Brown, 2009; *Cit.* UNESCO, 2003) la distribución en la utilización del recurso, se distribuye en 77,8% en riego; 9,1% en industria; 7,2% en minería y el restante en uso doméstico.

### Disponibilidad de agua para el sector minero

El consumo de agua en las empresas mineras de cobre, se utiliza en dos tipos de procesos: hidrometalúrgico y concentrado de cobre. Sin embargo, el recurso resulta escaso para la gran demanda de las empresas minera en el país.

A pesar que se han realizado esfuerzos por aumentar la eficiencia en el uso de aguas en las faenas mineras del norte de Chile, los esfuerzos han llevado a alternativas de uso como la desalación o desalinización de aguas, y en algunos casos Minera Esperanza comenzó a utilizar en sus operaciones agua salada extraída directamente del mar, de esta manera sus costos operacionales se han reducido en cerca de 1US\$ por metro cúbico.

Las características geográficas de las faenas mineras en Chile, presentan distancias aproximadamente de 180 kms., desde la costa y una altitud promedio de 3.000 m.s.n.m.

Para tal efecto se requerirían a lo menos 4 estaciones de bombeo que consumen en promedio 14 KWh/m<sup>3</sup> de energía, lo cual podría comprometer la disponibilidad energética restrictiva de país, por lo que eventualmente los proyectos mineros actuales y futuros que apunten a esta reconversión en sus procesos para utilización de aguas desalinizadas presentarían nuevos desafíos a los abastecedores de energía, ya sea mediante SING y SIC.

En la tabla siguiente se muestra la demanda por regiones mineras para los períodos 2009-2020.

Reg.	Proyección demanda agua para la producción total de cobre en Chile (mil de m <sup>3</sup> )											
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>I</b>	44	47	48	43	50	51	55	69	78	84	86	83
<b>II</b>	138	149	143	142	136	129	168	166	154	110	108	105
<b>III</b>	41	39	34	12	22	48	65	89	89	88	85	84
<b>IV</b>	18	33	34	12	22	48	65	89	89	88	85	84
<b>V</b>	28	30	35	38	37	34	55	84	87	100	110	104
<b>VI</b>	65	67	67	73	74	73	71	67	62	63	64	65
<b>RM</b>	24	22	22	23	37	40	43	43	43	41	41	41

**Tabla 4. Proyección por región del consumo de agua para la producción total de cobre en Chile período 2009-2020 (COCHILCO 2009).**

En el año 2008, la Dirección General de Aguas reportó derechos consuntivos por un total de 26 metros cúbico por segundo de agua para utilizar en los procesos de la gran minería. Sin embargo, se espera que más allá del 2030 la demanda del recurso por parte de la mineras será de aproximadamente 61 metros cúbicos por segundo.

Estudios realizados por la Universidad Católica de Chile, indican que a partir del 1980 las leyes se han estabilizados en torno a 0,9% y 1,1%, condiciones que son inherentes a la dinámica que ofrece el sector.

Esta condición ha llevado a las empresas mineras a aumentar sus costos en la obtención de los recursos hídricos para sus respectivas operaciones. Cabe mencionar, que la demanda de agua para mineral tipo sulfuro es de 6 a 7 veces más respecto a la del mineral lixiviable.

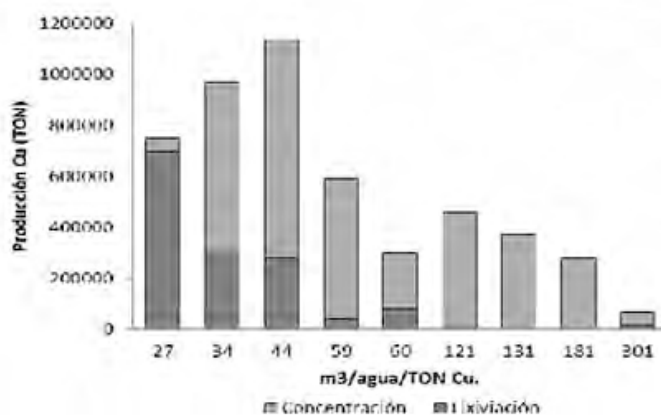


Gráfico 2. Producción de cobre en función de la utilización de agua fresca por tonelada.

### Propuesta y metodología aplicada a la problemática de recursos hídricos en la minería.

Este trabajo se ha realizado como una manera de presentar a AHP como una opción real de aplicación para la toma de decisiones en escenarios complejos.

#### 1. Definición del problema.

El objetivo principal es encontrar la mejor alternativa de suministro de recursos hídricos en para las empresas mineras. Presentar las alternativas tales como: obtención de aguas superficiales, subterráneas, desalación.

Los actores involucrados en el problema podrían ser entre otros: DGA, SISS, CNR, DOH, SERNAGEOMIN y EMPRESA MINERA.

En cuanto a los grupos afectados por la decisión se presentan juntas de vigilancia, asociación de canalistas, comunidades regantes, comunidades de agua y organizaciones comunitarias.

## **2. Definición de actores.**

Los participantes involucrados en el proceso de decisión, deben ser profesionales relacionados con la problemática, expertos, académicos y funcionarios de los organismos involucrados deben ser cuidadosamente seleccionados.

## **3. Estructuración el problema de decisión del modelo de jerarquía.**

A continuación se presenta una estructuración tentativa compuesta por seis niveles jerárquicos para resolver la problemática en la obtención del recurso hídrico.

Primer nivel: objetivo principal del problema que es la toma de decisión para la obtención agua para operaciones mineras.

Segundo nivel: Los criterios de decisión: político, económico, social, ambiental, técnico y disponibilidad.

Tercer nivel: Centro decisores DGA, SISS, CNR, DOH, SERNAGEOMIN y EMPRESA MINERA.

Cuarto nivel: Identificar los grupos afectados como consecuencia de la extracción de aguas, como: Juntas de vigilancia, asociaciones de canalistas, comunidades de aguas y comunidades de regantes.

Quinto nivel: los objetivos tales como: control de extracción, contaminación de las aguas y protección al medioambiente.

Sexto nivel: plantear las alternativas para solucionar la problemática de escasez de éste recurso obtención de aguas superficiales, subterráneas, desalación y utilización de agua salada.

## **4. Identificación de las alternativas factibles.**

Antecedentes que se presentan como el nivel de los embalses en la actualidad, los registros de las precipitaciones y un eventual cambio en las condiciones climáticas en los últimos años en la zona del norte chico de Chile.

Según los modelos hidrogeológicos aplicados en el estudio concluyen que existen reservas de agua subterráneas, viables técnica y económicamente (Peralta, 2011). Por tanto, las alternativas propuestas son alcanzables desde ambos puntos de vista.

## **5. Construcción del modelo jerárquico.**

Para la construcción del modelo jerárquico se debe realizar una etapa previa que consista en una reunión con cada experto participante del proceso, en donde se aplique una encuesta, el siguiente paso será recopilar la información

para análisis y posterior confección de los niveles del modelo en criterios, centro decisores, grupos afectados por la problemática, objetivos y las alternativas viables.

### **6. Ingreso de los juicios.**

En base a la información obtenida o a la percepción de los actores del proceso se ingresan los juicios para cada par de elementos. Se comienza del primer nivel, dónde se encuentran los criterios, se comparan su importancia relativa con respecto del logro del objetivo general, luego se avanza a los siguientes niveles jerárquicos, siempre realizando comparaciones de a pares referidos al nivel inmediatamente superior, hasta llegar al último nivel donde se encuentran las alternativas, las que serían evaluadas en base a criterios.

### **7. Síntesis de los resultados.**

Como se explicó en los párrafos anteriores, por medio de comparaciones entre pares de elementos con respecto a su nivel inmediatamente superior, es posible establecer un ranking de prioridades para las diferentes alternativas, ranking que, dependiendo de la problemática, enfrentada representa la decisión a adoptar.

### **8. Validación de la decisión.**

Por último se debe realizar un análisis de sensibilidad en base al resultado obtenido con la finalidad de establecer rangos de variación en los pesos relativos de los criterios propuestos por los expertos, para otorgar una mayor confiabilidad a los resultados, y por otra parte, abordar la problemática en distintos escenarios. Para tal efecto se recomienda utilizar el software Expert Choice.

## **Conclusiones de contexto**

La cuarta región representa el 9% de la producción total de cobre, ocupando el cuarto lugar a nivel nacional. Sin embargo, tal situación no exime a la región del estrés hídrico que se ha acentuado a partir del año 2009, según datos aportados por COCHILCO, en donde la comisión además realizó una proyección que ha puesto en alerta a los centros decisores tanto públicos como privados ante una expansiva demanda del recurso hídrico a partir del año 2016 de casi un 700%, debido a la exploración y explotación de nuevos proyectos mineros.

Por tal razón, se considera que ante un escenario tan complejo desde la perspectiva de la escasez hídrica, así como de los posibles cursos de acción que deberán ser dilucidados en los próximos períodos de una manera proactiva, la utilización de técnicas multicriterio, con la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), permitiría científicamente buscar alternativas viables y sustentables en el tiempo considerando no solamente a los centros decisores, sino además

atendiendo a criterios de decisión, involucrando a los grupos beneficiados y afectados con las decisiones, en función de objetivos transversales y tributando a las alternativas de extracción de los recursos hídricos para las operaciones mineras.

### Referencias consultadas

- Ayala, L. “*Aspectos técnicos de la Gestión Integrada de las Aguas (GIRH) Primera etapa de diagnóstico*”. Informe preparado para el diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos. 2010 Chile.
- Ayala; Cabrera y Asociados Ltda., Ingenieros consultores. “*Estimaciones de la demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I regiones I a IV*”. Informe final (S.I.T. N°122). Dirección General de Aguas, 2007 Chile.
- Aznar, J. y Guijarro, F.; “*Nuevos métodos de valoración modelos multicriterios*.” 192 pp. Recurso disponible: [http://www.upv.es/miw/infoweb/vmultic/info/Nuevos\\_metodos\\_de\\_valoracion\\_Modelos\\_multicriterio.pdf](http://www.upv.es/miw/infoweb/vmultic/info/Nuevos_metodos_de_valoracion_Modelos_multicriterio.pdf)
- Banco Mundial. “*Diagnóstico de la gestión de recursos hídricos en Chile*”. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Región para Latino América y El Caribe, 2011. 92 pp.
- Brown E., “*Taller Nacional- Chile, hacia un plan de gestión integrada de los recursos hídricos: Uso eficiente de los recursos hídricos*”, CEPAL Naciones Unidas en Santiago, 2003, 22 pp.
- Calizaya, A.; Meixer, O.; Bengtsson, R. y Berndtsson, R. “*Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) for Integrated Water Resources Management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia*”. Water Resource Manager. 2010, vol. 24, pp. 2267–2289.
- Chowdhury, A.; Jha, M. y Chowdary, V.M. “*Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques*”, Environmental Earth Science, 2010, vol. 59, pp.1209–1222.
- Dietrich, A. “*Presenças e ausências do Vale do Jequitinhonha no jornal Estado de Minas*.” Revista Entre a carência social e a riqueza cultural. 2008, vol.4, 15 pp.
- Garcés, J. “*Paradigmas del conocimiento y sistemas de gestión de los recursos hídricos: La gestión integrada de las cuencas hidrográficas*.” Revista REDESMA. 2011, vol.5, 13 pp.
- Dirección General de Aguas (DGA). “*Diagnóstico situación actual de las organizaciones de usuarios de aguas a nivel nacional*”. Informe Final, realizado por R.E.G. Ingenieros Consultores. Ministerio de Obras Públicas, 1999 Chile.

- Garuti, C. y Escudey, M. “*Toma de decisiones en escenarios complejos.*” Universidad de Santiago de Chile. 2005 ISBN: 956-303-003-6, 420 pp.
- Garfí, M.; Ferrer-Martí, L.; Bonoli, A. y Tondelli, S. “*Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil,*” *Journal of Environmental Management*, 2011, vol.92, pp. 665-675.
- Hajkowicz, S. “*A comparison of multiple criteria analysis and unaided approaches to environmental decision making*”. *Environmental Science & Policy* 2007, vol.10, pp.177-184.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE) “*Población estimada por sexo 2000-2050*”; Chile; disponible en: [www.ine.cl](http://www.ine.cl) consultado enero 2012.
- Kampragou, E.; Eleftheriadou, E. y Mylopoulos, Y. “*Implementing equitable water allocation in transboundary catchments: the case of river Nestos/Mesta.*” *Water Resource Management*, 2007, vol. 21, pp. 909–918.
- Karbassi, A. R.; Hosseini, F.; Baghvand, A. y Nazariha, M. “*Development of Water Quality Index (WQI) for Gorganrood River*”. *Int. J. Environ. Res.* 2011, vol. 5, pp.1041-1046. ISSN: 1735-6865.
- Malmasi, S.; Jozi, S.A.; Monavari, S.M. y Jafarian, M.E. “*Ecological Impact Analysis on Mahshahr Petrochemical Industries Using Analytic Hierarchy Process Method.*” *Int. J. Environ. Res.*, 2010, vol.4, pp.725-734, ISSN: 1735-6865.
- Mei, X. y Rosso, R. “*Application of analytical hierarchy process to water resources policy and management in Beijing, China Closing the Gap Between Theory and Practice.*”, (Proceedings of the Baltimore Symposium.1989.), IAHS., Publication n°.180.
- Pastor, J. “*Aplicación de las técnicas AHP y ANP, de análisis multicriterio de decisiones, a la selección y ponderación de criterios en las adjudicaciones de los contratos públicos de obra.*”, Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. 2007.
- Philippe, R.; “*Agua de mar para la Industria Minera*”, II Seminario Internacional de desalación. 2010, Antofagasta Chile.
- Tsoukiàs, A. “*On the concept of decision aiding process*”. DIMACS Technical report. 2003, vol. 38.
- Saaty, T. “*The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority, Setting and Resource Allocation*”, 1980, ISBN: 0-9620317-2-0.
- Saaty, T. “*Toma de decisiones para líderes. El proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo.*”, 1997, ISBN 0-888603-01-1, 423 pp.
- Salazar, C. “*Situación de los recursos hídricos en Chile. Con el apoyo de la Fundación Nippon. Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, A. C., México*”. (DGA) 2003 Chile.
- Srdjevic, B., “*Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management*”. *Decision Support Systems*, 2007, vol.42, pp.2261–2273.