



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**VIABILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN
MULTICRITERIO DENTRO DE ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD
DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EN CHILE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGISTER EN GESTIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS**

WILSON WLADIMIR URETA PARRAGUEZ

**PROFESOR GUÍA:
EDUARDO CONTRERAS VILLABLANCA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JUAN FRANCISCO PACHECO ARELLANO
TANIA FERNÁNDEZ RUBILAR**

SANTIAGO DE CHILE

2019

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO
DE: Magíster en Gestión y Políticas Públicas
POR: Wilson Ureta Parraguez
FECHA: 01/2019
PROFESOR GUÍA: Eduardo Contreras Villablanca

**VIABILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN
MULTICRITERIO DENTRO DE ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD Y FACTIBILIDAD
DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EN CHILE**

La toma de Decisiones Multicriterio (MCDM) puede ser entendida como un conjunto de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos que ayudan a los tomadores de decisión a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación, expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia, de acuerdo a varios criterios (Colson y de Bruyn, 1989). Como parte de las aplicaciones de MCDM, la Evaluación Multicriterio (EMC) permite integrar esta diversidad de factores en el proceso de evaluación de los proyectos (Oyarce, 2005).

El objetivo del estudio es analizar la viabilidad técnica, administrativa y organizacional de la aplicación de la metodología de EMC dentro de estudios de prefactibilidad y factibilidad de proyectos de infraestructura de riego en Chile.

A partir de la revisión de experiencias nacionales e internacionales de aplicación de metodologías de EMC y las características más comunes de los estudios de prefactibilidad y factibilidad de infraestructura de riego, se construyó un modelo jerárquico de uso generalizado para priorizar y seleccionar alternativas de proyectos de riego. El modelo, definido para ser aplicado con la técnica multicriterio del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), está compuesto por cuatro criterios estratégicos (1.económico, 2.complejidad del proyecto, 3.desarrollo y 4.ambiental) y 26 criterios terminales, éstos últimos con niveles de intensidad calculados a partir de indicadores de tipo continuo, variables binarias y variables con niveles múltiples. El modelo propuesto fue aplicado a dos proyectos específicos, canal Catemu (2012a) y embalse Huedque (2012b), cuyos resultados fueron analizados y sometidos a un análisis de sensibilidad.

Es posible establecer que es viable aplicar una metodología de EMC en los estudios de prefactibilidad y factibilidad de infraestructura riego, siendo necesaria una reorientación en proceso de planificación y licitación de dichos estudios, con el fin de disponer de antemano con un modelo jerárquico de referencia y de los requisitos de los datos idóneos para su aplicación exitosa. Sin embargo, tal como se conciben actualmente los estudios de prefactibilidad y factibilidad, el grado de utilidad adicional para la priorización de alternativas que entrega la EMC resulta limitado. En este sentido se recomienda fomentar su uso formal dentro de estos estudios, pero acotando su alcance a la decisión de selección de proyectos luego de la priorización con análisis costo-beneficio. Las falencias mencionadas disminuyen de manera importante si se considera la aplicación del modelo propuesto para la priorización de una cartera de proyectos ubicados diferentes territorios, en la que la diversidad de condiciones físicas, ambientales, sociales, legales y políticas es mucho mayor.

DEDICATORIA

*A Mónica, Mary y Pitu,
que iluminan mis mañanas*

AGRADECIMIENTOS

A los profesores Eduardo Contreras y María Pía Martín, quienes, luego de tanto tiempo transcurrido y múltiples deserciones de mi parte, no dudaron en alentarme una y otra vez para terminar este trabajo. Agradezco de todo corazón su extraordinaria disposición y amabilidad.

A los actores claves entrevistados por recibirme y dedicar largas horas a responder mis matrices y preguntas, a veces explicándolas mejor que yo.

A Claudia, Miguel, Diego y Don Luis por darme el tiempo y “poner el pecho a las balas” mientras escribía análisis y conclusiones. Espero que este nuevo comienzo esté lleno de buenos momentos y más tranquilidad.

A mis padres y mis hermanos, Nicolás y Pepe, por quererme sin condiciones ni matices.

En especial a Mónica, mi compañera de vida, que me ha sostenido y levantado hasta en los peores momentos. Tu amor a toda prueba ha sido el principal impulso para cerrar este proceso. Prometo dedicar todos mis días a amarte y hacerte feliz, construyendo juntos nuestro futuro.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo General.....	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3	MARCO GENERAL	4
3.1	El Proceso de Toma de Decisiones	4
3.2	La Evaluación de Proyectos y la Necesidad de un Enfoque Multicriterio...4	4
3.3	Metodologías de Decisión Multicriterio.....	5
3.4	Principios y Pasos del Método AHP	8
4	DESARROLLO DE LOS PROYECTOS DE RIEGO EN CHILE	16
4.1	Definición y Tipología de Obras.....	16
4.2	Institucionalidad.....	17
4.2.1	Normativa más Relevante	17
4.2.2	Organismos Públicos.....	20
4.2.3	Sector Privado	23
4.3	Ciclo de Vida.....	24
4.4	Gestión de Estudios.....	27
4.5	Metodologías de Evaluación	28
4.5.1	Método de Cambio en los Excedentes de Producción	29
4.5.2	Método de Estimación de Beneficios Directos a Través del Cambio del Valor de la Tierra	30
4.5.3	Método de Estimación de Beneficios en el Mercado del Agua	30
5	EXPERIENCIAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN PROYECTOS DE RIEGO 32	
5.1	Panorama Global y Experiencias Internacionales.....	32
5.2	Experiencias en Chile	37
5.3	Inclusión de la Evaluación Multicriterio en Licitaciones de Obras de Riego 41	
6	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	45

6.1	Definición del Problema de Decisión	45
6.2	Actores Involucrados en el Problema	45
6.3	Estructuración del Modelo Jerárquico	46
6.3.1	Foco del Modelo	46
6.3.2	Identificación de Criterios de Decisión y Niveles de Intensidad.....	46
6.3.3	Identificación de Universo de Alternativas	57
6.3.4	Jerarquía del Problema	58
6.4	Determinación de Ponderadores	61
6.4.1	Recolección de información y Participantes	61
6.4.2	Integración de Juicios	62
6.4.3	Ponderadores de los Criterios	62
6.4.4	Ponderadores de los Niveles de Intensidad	73
7	APLICACIÓN EN PROYECTOS ESPECÍFICOS	78
7.1	Definición de Proyectos y Alternativas	78
7.1.1	Proyecto de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección Río Aconcagua (CNR, 2012a).....	78
7.1.2	Estudio de Prefactibilidad del Proyecto “Construcción de Embalse de Riego Huedque, Comuna de Cauquenes (CNR, 2012b).	80
7.2	Resultados	83
7.3	Análisis de Sensibilidad	90
8	DISCUSIÓN	97
9	CONCLUSIONES	100
10	GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	103
11	BIBLIOGRAFÍA	104
12	ANEXO A: RESULTADOS COMPARACIÓN POR PARES PARTICIPANTES... 	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Comparación de principales métodos de análisis y evaluación multicriterio.....	7
Tabla 3-2. Escala de Saaty.	10
Tabla 4-1: Número de Organización de Usuarios de Aguas (OUAs) por Región.	24
Tabla 5-1: Número de publicaciones de AMC y EMC relacionadas con infraestructura de recursos hídricos registradas entre los años 1980 y 2012.	32
Tabla 5-2: Modelo jerárquico y ponderaciones criterios a nivel país para comparar proyectos de riego.....	38
Tabla 5-3: Criterios de referencia a nivel país para comparar proyectos de riego del Plan Nacional de Embalses.	40
Tabla 5-4: Adaptación modelo jerárquico y criterios a nivel país para comparar proyectos de riego del Plan Nacional de Embalses.....	41
Tabla 5-5: Ejemplos de requerimientos para selección de alternativas en Términos de Referencia de licitaciones de proyectos de riego.	44
Tabla 6-1: Niveles de intensidad para medir Complejidad Técnica en la Construcción....	48
Tabla 6-2: Niveles de intensidad para medir Complejidad Técnica en la Operación.	48
Tabla 6-3: Niveles de intensidad para medir Innovación Tecnológica.....	49
Tabla 6-4: Niveles de intensidad para medir Complejidad en las Expropiaciones.	49
Tabla 6-5: Niveles de intensidad para medir Complejidad en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas.....	50
Tabla 6-6: Niveles de intensidad para medir Validación Social del Proyecto.....	51
Tabla 6-7: Niveles de intensidad para medir Nivel Organizacional de los Beneficiarios...	52
Tabla 6-8: Niveles de intensidad para medir Implicancias Políticas del Proyecto.	53
Tabla 6-9: Niveles de intensidad para medir Beneficios en el Sector Turismo.	54
Tabla 6-10: Niveles de intensidad para medir Beneficios en el Sector Minería.....	54
Tabla 6-11: Niveles de intensidad para medir Efectos Ambientales en el Medio Físico en Etapas de Construcción y Operación.....	56
Tabla 6-12: Niveles de intensidad para medir Efectos Ambientales en el Medio Biótico en Etapas de Construcción y Operación.....	56
Tabla 6-13: Niveles de intensidad para medir Efectos Ambientales en el Medio Social Construido en Etapas de Construcción y Operación.....	56
Tabla 6-14: Niveles de intensidad para medir Efectos Ambientales Indirectos del Proyecto.	57
Tabla 6-15: Modelo jerárquico de decisión propuesto.....	59
Ilustración 6-1: Representación gráfica modelo jerárquico de decisión propuesto.	60

Tabla 6-16: Matriz de comparación entre criterios respecto al Foco del modelo jerárquico.	63
Tabla 6-17: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al ámbito Económico.....	63
Tabla 6-18: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al ámbito de Complejidad del proyecto.	63
Tabla 6-19: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a los Aspectos Técnicos.	64
Tabla 6-20: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a la Complejidad Técnica.	64
Tabla 6-21: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al subcriterio 2.2. Aspectos Legales.	64
Tabla 6-22: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a los Aspectos Sociales y Políticos.....	65
Tabla 6-23: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a los Aspectos Sociales y Políticos.....	65
Tabla 6-24: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a Beneficios en Otros Sectores.	66
Tabla 6-25: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Empleo.....	66
Tabla 6-26: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Empleo.....	66
Tabla 6-27: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a los Efectos Ambientales Directos.	67
Tabla 6-28: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Medio Físico.....	67
Tabla 6-29: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Medio Biótico.	67
Tabla 6-30: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Medio Social- Construido.	68
Tabla 6-31: Ponderadores globales y locales para los criterios del modelo jerárquico de decisión.	69
Tabla 6-32: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Complejidad Técnica en la Construcción.	74
Tabla 6-33: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Complejidad Técnica en la Operación.....	75
Tabla 6-34: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Innovación Tecnológica.....	75
Tabla 6-35: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Complejidad en las Expropiaciones.	75
Tabla 6-36: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Complejidad en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas.	76

Tabla 6-37: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Validación Social del Proyecto.	76
Tabla 6-38: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para el Nivel Organizacional de los Beneficiarios.....	76
Tabla 6-39: Ponderadores niveles de intensidad para criterios terminales.....	77
Tabla 7-1: Resumen características alternativas proyecto de riego en Catemu.	83
Tabla 7-2: Resumen características alternativas proyecto de riego en Huedque.....	84
Tabla 7-3: Puntajes y ranking evaluación multicriterio proyecto de riego en Catemu.	85
Tabla 7-4: Puntajes y ranking evaluación multicriterio proyecto de riego en Huedque. ...	87
Tabla 7-5: Puntajes y ranking evaluación multicriterio integrada.....	89
Tabla 7-6: Combinación ponderadores (vectores propios) críticos para igualar puntajes totales alternativas proyecto de riego en Huedque.....	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Componentes árbol de decisiones.....	9
Ilustración 4-1: Ciclo de Vida de Grandes Obras de Riego en Chile.....	27
Ilustración 5-1: Modelo jerárquico propuesto para sustentabilidad del riego.....	34
Ilustración 5-2: Modelo jerárquico propuesto para calidad de los procesos internos de proyectos de riego.....	35
Ilustración 5-3: Modelos jerárquicos propuestos para determinar los beneficios y costos de un proyecto de riego.	36
Ilustración 5-4: Modelo jerárquico y ponderaciones criterios para evaluar proyectos de infraestructura hidráulica.....	37
Ilustración 5-5: Selección de alternativas en el marco de las etapas de estudios de obras de riego.....	43
Ilustración 7-1: Ubicación general proyecto de riego en Catemu.	78
Ilustración 7-2: Ubicación general proyecto de riego en Huedque.	80
Ilustración 7-3: Alternativas proyecto de riego en Huedque.	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 6-1: Comparación Ponderadores globales criterios estratégicos.....	70
Gráfico 6-2: Comparación Ponderadores globales criterios terminales.....	71
Gráfico 6-3: Comparación Ponderadores globales criterios nivel 2.	73
Gráfico 7-1: Comparación puntajes obtenidos en criterios estratégicos por alternativa proyecto de riego en Catemu.....	86
Gráfico 7-2: Comparación puntajes obtenidos en criterios estratégicos por alternativa proyecto de riego en Huedque.....	88
Gráfico 7-3: Comparación puntajes obtenidos en criterios estratégicos alternativas proyectos de riego en Catemu y Huedque.....	90
Gráfico 7-4: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Catemu. Criterio 1 Económico.	91
Gráfico 7-5: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Catemu. Criterio 3 Desarrollo.	91
Gráfico 7-6: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Huedque. Criterio 1 Económico.	92
Gráfico 7-7: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Huedque. Criterio 2 Complejidad del Proyecto.	92
Gráfico 7-8: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Huedque. Criterio 3 Desarrollo.	93
Gráfico 7-9: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Huedque. Criterio 4 Ambiental.	93
Gráfico 7-10: Análisis de sensibilidad proyectos de riego en Catemu y Huedque. Criterio 1 Económico.	94
Gráfico 7-11: Análisis de sensibilidad proyectos de riego en Catemu y Huedque. Criterio 2 Complejidad del Proyecto.	95
Gráfico 7-12: Análisis de sensibilidad proyectos de riego en Catemu y Huedque. Criterio 3 Desarrollo.	95
Gráfico 7-13: Análisis de sensibilidad proyectos de riego en Catemu y Huedque. Criterio 4 Ambiental.	96

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo del siglo XX los proyectos de todo tipo, y en especial los de infraestructura, han sido estudiados y priorizados utilizando los métodos de evaluación económica, que comparan el conjunto de beneficios de los proyectos con sus costos, ambos medidos en términos de la economía en su conjunto, basándose en aplicaciones de los principios del análisis económico tradicional, lo que implica obviar o minimizar el efecto de otras variables tales como sociales y ambientales (Guajardo, Aguilera. y Andalaft, 2008).

A principios de la década del 50 surgió el estudio de las metodologías de análisis multicriterio, a través de la crítica de la noción de optimización. A partir de los inicios de la década del 70 se produjo una expansión continua del interés y los desarrollos teóricos y prácticos de los métodos de decisión multicriterio (Martínez, 1997).

La metodología de Decisión Multicriterio (MCDM, por sus siglas en inglés) se utiliza para emitir un juicio comparativo entre proyectos o medidas heterogéneas. En el ámbito de la evaluación de proyectos, se emplea especialmente en evaluaciones ex ante, más concretamente en la definición de opciones estratégicas de intervención (Pacheco y Contreras, 2008). En este sentido es más aplicada para la priorización de cartera de proyectos que dentro de los mismos.

El sector productivo conformado por las actividades agrícolas, ganaderas y forestales representa un 73% del uso del agua, lo que permite el riego de 1,1 millones de hectáreas que se localizan principalmente entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos (MOP, 2012). En este marco, en los últimos diez años se ha incrementado fuertemente la inversión en proyectos infraestructura de riego, tanto en pequeñas, medianas y grandes obras de embalses y canales, en el contexto de largos periodos de sequía y los efectos crecientes del cambio climático, en especial en el norte chico y la zona central del país (CNR, 2011).

Por otra parte, estos proyectos representan una temática en la cual intervienen distintos organismos públicos, tales como los Ministerios de Obras Públicas, Agricultura, Desarrollo Social y del Medio Ambiente, constituyendo un desafío de coordinación significativo dentro de la gestión pública.

La posibilidad técnica de aplicación de la Evaluación Multicriterio (EMC) dentro de un estudio prefactibilidad o factibilidad de infraestructura de riego, en el que existen distintas alternativas de ubicación tamaño y tipo obras a seleccionar, es el planteamiento que da origen al presente estudio, integrando en forma más explícita los aspectos sociales y ambientales involucrados.

Además, resulta imprescindible identificar las limitantes e incentivos administrativos y organizacionales, que impidan o faciliten la utilización de esta metodología como parte de la gestión pública y políticas de fomento al riego en Chile.

Este estudio incluye la definición de los criterios de evaluación para este tipo de proyectos en base a información primaria y secundaria, la aplicación de la metodología a proyectos prefactibilidad y factibilidad ya evaluados en forma tradicional y un análisis sobre la viabilidad de aplicación de la EMC a esta escala en concordancia con las disposiciones legales y organizacionales existentes en Chile.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Analizar la viabilidad técnica, administrativa y organizacional de la aplicación de la metodología de evaluación multicriterio (EMC) dentro de estudios de prefactibilidad y factibilidad de proyectos de infraestructura de riego en Chile.

2.2 Objetivos Específicos

- Construir un modelo jerárquico multicriterio para su uso general en la selección de alternativas de obras en proyectos de infraestructura de riego.
- Aplicar la metodología de EMC en dos estudios de proyectos de infraestructura de riego realizados en Chile para la selección de una alternativa de obra en cada uno de ellos.
- Analizar las ventajas y desventajas de la aplicación de la metodología de EMC en los casos estudiados con respecto a las metodologías tradicionales de evaluación de proyectos de riego.
- Determinar las oportunidades y limitantes a la aplicación de la metodología de EMC desde el punto de vista de la gestión de los proyectos de riego por parte de los organismos públicos competentes.

3 MARCO GENERAL

3.1 El Proceso de Toma de Decisiones

La toma de decisiones es el proceso de convertir información en acción. Es un proceso de identificación y formulación de soluciones factibles, evaluación de las soluciones y selección de la mejor solución (Martínez, 1997).

Un proceso de decisión implica, necesariamente, la comparación entre las alternativas, el hecho de comparar elementos se traduce en la necesidad de realizar mediciones que permitan aplicar los criterios de comparación de modo de establecer preferencias entre ellos. Los elementos que participan en un proceso de decisión por lo general se miden en escalas diferentes (peso, distancia o tiempo, por ejemplo), por lo que se requiere transformar estas unidades en una unidad abstracta que sea válida para la comparación de elementos evaluados en distintas escalas. Por otro lado, participan también en el proceso muchas variables intangibles imposibles de cuantificar en medidas tradicionales, aspectos políticos, sociales y ambientales, por ejemplo, que también deben verse representados por una escala común. ¿Cómo determinamos la importancia de estos factores y sintetizamos luego toda esta información para tomar la mejor decisión? Este es un típico problema de toma de decisiones (Arancibia *et al*, 2003).

El conocimiento científico existente está en gran medida ausente de los supuestos, normas y conductas de la organización social. Se actúa en el ambiente cotidiano y se toman decisiones, sin entender casi nada acerca de la naturaleza ni la sociedad que nos rodea. La incorporación de la información pertinente, tanto científica como tecnológica y administrativa, al proceso de toma de decisiones, debe aumentar la probabilidad de lograr la meta global del desarrollo social que se pretende. Sin embargo, para ello se debe ordenar el conocimiento existente en un planteamiento metodológico que considere una estructura estable como un sistema de decisiones, es decir que el conocimiento representacional se convierta en acción. La forma actual de tomar decisiones puede ser sólo cambiada si cambia la cultura organizacional (Gallardo, 1999).

3.2 La Evaluación de Proyectos y la Necesidad de un Enfoque Multicriterio

La evaluación de proyecto, bajo el enfoque del análisis costo - beneficio, consiste en comparar los costos de inversión y operación del proyecto con los beneficios que este genera, con el objeto de decidir sobre la conveniencia de su realización. Para poder llegar a comparar los costos con los beneficios, previamente es necesario identificarlos, medirlos y valorarlos (Contreras, 2004).

En este punto surgen tres problemas para realización esta evaluación en forma completa. El primer problema consiste en la conversión de todos los indicadores físicos a valores monetarios, por ejemplo, aspectos ambientales, políticos o sociales relevantes (Köksalan, Wallenius y Zions, 2013). Más aún, algunos costos o beneficios, si bien pueden ser identificados no tienen una expresión física, sino que se presentan de manera cualitativa. Finalmente existe el problema de cómo integrar distintas escalas de medición, de modo hacerlas parte de un mismo proceso de decisión (Pacheco y Contreras, 2008).

La situación anterior genera la necesidad de desarrollar una metodología que logre combinar las distintas dimensiones, objetivos, actores y escalas que se hayan involucrados en el proceso de toma de decisión de la mejor alternativa de proyecto, sin sacrificar calidad, confiabilidad y consenso en los resultados.

La toma de Decisiones Multicriterio (MCDM) puede ser entendida como un conjunto de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos que ayudan a los tomadores de decisión a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación, expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia, de acuerdo a varios criterios (Colson y de Bruyn, 1989).

A su vez, Barredo y Bosque (1998) definen la Evaluación Multicriterio (EMC) como un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones. Una metodología de EMC permite integrar esta diversidad de factores en el proceso de evaluación de los proyectos (Oyarce, 2005).

La MCDM comprende la selección entre un conjunto de alternativas factibles, la optimización con varias funciones objetivo simultáneas, agentes decisores y procedimientos de evaluación racionales y consistentes. En este tipo de problemas suele suceder que no existe una alternativa "óptima" de solución, para la cual alcancen simultáneamente su valor óptimo todas y cada una de las funciones objetivo. Entonces el concepto de solución utilizado el de "óptimo de Pareto", en el cual una alternativa es Pareto Óptima si toda otra alternativa que proporcione una mejora en un atributo produce un empeoramiento en al menos otro de los atributos (Köksalan, Wallenius y Zionts, 2013).

3.3 Metodologías de Decisión Multicriterio

Duckstein *et al.* (1989) clasificaron los métodos de MCDM en cuatro grupos, de distancia, outranking, prioridad/utilidad y mixtos. Los principales métodos, expresados en sus siglas de origen¹, son los siguientes, resumiendo sus principales características de cada uno en la Tabla 3-1. Las descripciones detalladas de cada método y sus principales aplicaciones se pueden revisar en Kabir, Sadiq y Tesfamariam (2013) y Raju (2009).

- Métodos de Distancia: Están diseñados para identificar las soluciones no relegadas que están más cerca de una solución ideal por alguna medida de distancia, sea métrica, geométrica o relativa. Los métodos más conocidos son Compromise Programming (CP), Cooperative Game Theory (CGT), Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS) y Composite Programming (COP).
- Métodos de Outranking o de Relación de Superación: Creados en la década de 1960, son instrumentos relativamente sencillos para obtener una preselección de

¹ En el Glosario de Abreviaturas se encuentran la traducción de las siglas de cada método expuesto.

grupos de alternativas (elecciones) muy amplios. El tamaño del conjunto de soluciones eficientes se reduce por medio de una partición en un subconjunto (núcleo) de alternativas “más favorables” y otro de “menos favorables”. Una relación de superación constituye un modelo de agregación de preferencias, y representa el caso particular de dos alternativas que son “incomparables”. Consiste en admitir para cualquier par de alternativas que una “supera” a otra cuando son satisfechas una condición de concordancia y una de discordancia. Los principales métodos de este tipo son Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE) y Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE).

- Métodos de prioridad/utilidad: Incluyen un conjunto de herramientas de decisión que se nutren de funciones de utilidad y/o vectores por criterios, los que al integrarse generan un ranking de priorización de alternativas. Incluye desde los métodos más básicos de ponderación lineal tipo scoring como el Weighted sum model (WSM) y el Weighted product model (WPM), otros enfocados en la generación de funciones de utilidad tales como la Multi Attribute Utility Theory (MAUT) o a redes de relación entre criterios, como el Analytic Network Process (ANP), hasta modelos jerarquizados, cuyo representante más conocido es el Analytic Hierarchy Process (AHP).
- Métodos Mixtos: En estos casos las alternativas se comparan simultáneamente con el conjunto de todos los criterios. Para ello se debe establecer una matriz de preferencias derivada de una matriz de pagos que represente las preferencias del tomador de decisiones. Luego la matriz de preferencias en una matriz de incidencia basada en los niveles umbrales obtenidos. Finalmente se calculan índices de satisfacción, concordancia y discordancia normalizados, calculando la prioridad total de cada alternativa mediante la combinación de éstos. El método de este tipo más conocido es el Multicriterion Q-Analysis (MCQA).

Además, las técnicas aplicadas pueden ser clasificadas con respecto a la composición de sus variables y la consideración de incertidumbre/riesgo. De esta forma se desprenden métodos discretos y los métodos fuzzy o de lógica difusa (Raju, 2009).

Finalmente, una clasificación común se relaciona con tipo de decisión que se enfrenta, siendo las más comunes el Análisis Multicriterio (AMC) y la Evaluación Multicriterio (EMC), es último utilizado en el presente trabajo.

Tabla 3-1. Comparación de principales métodos de análisis y evaluación multicriterio.

N°	Ítem Comparación	Distancia	Outranking		Utilidad			Mixtos
		CP/ CGT/ TOPSIS/ COP	ELECTRE	PROMETHEE	AHP	ANP/ WSM/ WPM	MAUT	MCQA
1	Manejo de Criterios Cualitativos	Escala subjetiva	Escala subjetiva	Escala subjetiva	Escala subjetiva (Saaty)	Escala subjetiva (Saaty)	Escala subjetiva	Escala subjetiva
2	Estructura Jerárquica	No	No	No	Si	No	No	No
3	Capacidad de Manejo de Pseudocriterios	No	Si	Si	No	No	No	No
4	Forma de la Importancia Relativa	Pesos	Pesos para ELECTRE-1 a 3/ sin pesos para ELECTRE-4	Pesos	Pesos	Pesos	Constantes de escala	Pesos
5	Utilización de la Importancia Relativa	Multiplicación (para CGT es exponencial)	Multiplicación (no aplicable para ELECTRE-4)	Multiplicación	Multiplicación	Multiplicación	Multiplicación	Multiplicación
6	Familiaridad de los Parámetros Requeridos por el Tomador de Decisión	Mínimo máximo, valores ideal / anti ideal, parámetro p	Indiferencia, preferencia, umbrales de veto, peso	Indiferencia, umbrales de preferencia, pesos, varios tipos de funciones de criterio	Escala de Saaty, índice de consistencia, índice de aleatoriedad y relación de consistencia	Escala de Saaty, índice de consistencia, índice de aleatoriedad y relación de consistencia	ranking subjetivo de constantes de escala, valor de probabilidad p	Niveles de corte, valores máximos de PSI, PCI, PDI y parámetro p
7	Cantidad de Interacción Necesaria	Menos	Más	Más	Más	Más	Más	Más
8	Normalización de la Matriz de Pagos	Se requiere	No se requiere	No se requiere	No aplicable	No aplicable	No se requiere	Requerida en la forma de una matriz de preferencias
9	Bases para el Ranking	L_p - valor métrico; para CGT distancia geométrica; para TOPSIS es cercanía relativa	Concordancia, índice de discordancia, índice de credibilidad, procedimiento de distribución	Índice de preferencia esperado, $\phi +$, $\phi -$, ϕ neto	Máximo valor propio, vectores propios correspondientes, mayor prioridad	Máximo valor propio, vectores propios correspondientes, mayor prioridad	Funciones de utilidad y valor de utilidad global	L_p - Valor métrico

Fuente: Traducción de Duckstein *et al.* (1989), adaptado por Raju (2009)

Finalmente, el método AHP es el seleccionado para ser aplicado al modelo elaborado en el presente trabajo. Los motivos de la elección son su gran facilidad intuitiva en su aplicación, dificultad de manipulación por errores, compatibilidad con software de uso masivo y debido a que es el método más difundido y con la mayor gama de experiencias prácticas tanto en el mundo (Kabir, Sadiq y Tesfamariam, 2013 y Mardani *et al*, 2015), lo que facilita su comparación con otros resultados de estudios similares.

3.4 Principios y Pasos del Método AHP

El Proceso de Análisis Jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty (1980), está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión.

En un ambiente de certidumbre, el AHP proporciona la posibilidad de incluir datos cuantitativos relativos a las alternativas de decisión. La ventaja del AHP consiste en que adicionalmente permite incorporar aspectos cualitativos que suelen quedarse fuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos, pero que pueden ser relevantes en algunos casos.

El AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar.

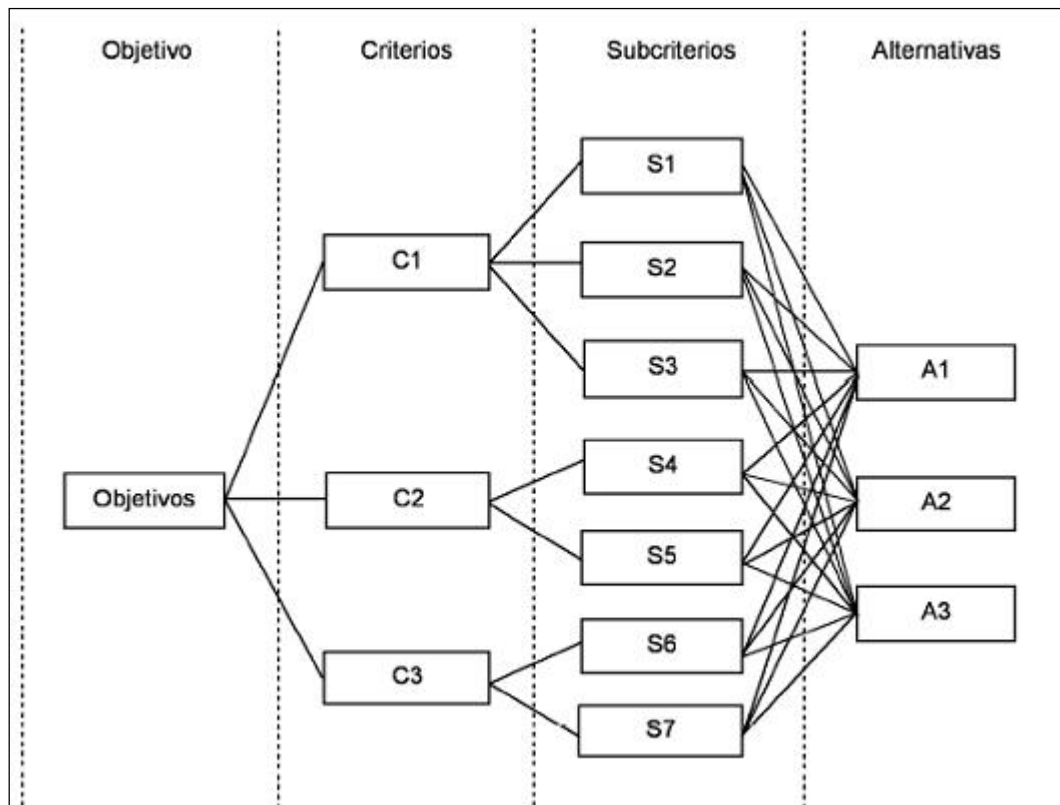
El AHP se fundamenta en (Saaty, 2000):

- La estructuración del modelo jerárquico, es decir, la representación del problema mediante identificación de meta, criterios, subcriterios, niveles de intensidad y alternativas.
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de “pesos”.
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.
- Síntesis.
- Análisis de Sensibilidad.

En la Ilustración 3-1 se muestra un ejemplo típico del árbol de decisiones, en el que se identifican el objetivo, los criterios, los sub-criterios (si existen) y las alternativas.

El AHP pide a quien toma las decisiones señalar una preferencia o prioridad con respecto a cada alternativa de decisión en términos de la medida en la que contribuya a cada criterio. Teniendo la información sobre la importancia relativa y las preferencias, se utiliza el proceso matemático denominado *síntesis*, para resumir la información y para proporcionar una jerarquización de prioridades de las alternativas, en términos de la preferencia global.

Ilustración 3-1: Componentes árbol de decisiones.



Fuente: Berumen y Llamazares (2007).

Una de las bases fundamentales del AHP son las comparaciones pareadas. El AHP utiliza una escala subyacente con valores de 1 a 9 para calificar las preferencias relativas de los dos elementos (Escala de Saaty).

Tabla 3-2. Escala de Saaty.

Intensidad	Definición	Explicación
1	Igual	Dos actividades contribuyen de igual forma al cumplimiento del objetivo.
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Muy Fuerte o Demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra, su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extrema	La evidencia que favorecer una actividad sobre la otra es absoluta y totalmente clara.
2, 4, 6, 8	Para transar entre los valores anteriores	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes.
Recíprocos	Si a la actividad i se le ha uno de los números distintos de cero mencionados cuando se compara con la actividad j , entonces j tiene el valor recíproco cuando se la compara con i ($a_{ij}=1/a_{ji}$)	Hipótesis del método.

Fuente: Saaty (1980).

Hurtado y Bruno (2005) describen las comparaciones pareadas de los criterios que se analizan a través de una matriz.

Sea \mathbf{A} una matriz $n \times n$, donde $n \in \mathbb{Z}^+$. Sea a_{ij} el elemento (i, j) de \mathbf{A} , para $i = 1, 2, \dots, n$, y, $j = 1, 2, \dots, n$. Decimos que \mathbf{A} es una matriz de comparaciones pareadas de n alternativas, si a_{ij} es la medida de la preferencia de la alternativa en el renglón i cuando se le compara con la alternativa de la columna j . Cuando $i = j$, el valor de a_{ij} será igual a 1, pues se está comparando la alternativa consigo misma.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Además, se cumple que: $a_{ij} \cdot a_{ji} = 1$; es decir:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & & 1 \end{pmatrix}$$

Forman y Gass (2001) describen que el método posee tres axiomas que son necesarios de destacar:

- **Axioma No. 1:** Referido a la condición de juicios recíprocos: Si **A** es una matriz de comparaciones pareadas se cumple que $a_{ij} = 1 / a_{ji}$
- **Axioma No. 2:** Referido a la condición de homogeneidad de los elementos: Los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud, o jerarquía.
- **Axioma No. 3:** Referido a la condición de estructura jerárquica o estructura dependiente: Existe dependencia jerárquica en los elementos de dos niveles consecutivos. Es axioma, sin embargo, requiere un examen cuidadoso porque no es infrecuente que sea violado. En las aplicaciones de elección, la preferencia por las alternativas depende casi siempre de los elementos de nivel superior (los objetivos), mientras que la importancia de los objetivos puede depender de los elementos de nivel inferior (las alternativas). Cuando existe tal dependencia, el tercer axioma no es aplicable.

Una vez que se elabora la matriz de comparaciones pareadas se puede calcular lo que se denomina prioridad de cada uno de los elementos que se comparan. A esta parte del AHP se le conoce como sintetización. El proceso matemático preciso que se requiere para realizar tal sintetización implica el cálculo de valores y vectores característicos. El siguiente procedimiento de tres pasos proporciona una buena aproximación de las prioridades sintetizadas.

- Paso 1: Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.
- Paso 2: Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada.
- Paso 3: Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan.

Se considera las prioridades de cada criterio en términos de la meta global (Hurtado y Bruno, 2005):

$$\begin{array}{c}
 \text{Meta} \\
 \text{Global} \\
 \begin{array}{l}
 \text{Criterio 1} \\
 \text{Criterio 2} \\
 \dots \\
 \text{Criterio } m
 \end{array}
 \end{array}
 \left(\begin{array}{c}
 P'_1 \\
 P'_2 \\
 \dots \\
 P'_m
 \end{array} \right)$$

Donde m es el número de criterios y P'_i es la prioridad del criterio i con respecto a la meta global, para $i = 1, 2, \dots, m$. Este cálculo aproxima lo que en álgebra lineal se conoce como el vector propio de la matriz A .

Se denominada matriz de prioridades a la que resume las prioridades para cada alternativa en términos de cada criterio. Para m criterios y n alternativas se tiene:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 \text{Alternativa 1} \\
 \text{Alternativa 2} \\
 \dots \\
 \text{Alternativa } n
 \end{array}
 \left(\begin{array}{cccc}
 \text{Criterio 1} & \text{Criterio 2} & \dots & \text{Criterio } m \\
 P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\
 P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm}
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Donde P_{ij} es la prioridad de la alternativa i con respecto al criterio j , para $i = 1, 2, \dots, n$; y $j = 1, 2, \dots, m$.

La prioridad global para cada alternativa de decisión se resume en el vector columna que resulta del producto de la matriz de prioridades con el vector de prioridades de los criterios.

$$\left(\begin{array}{cccc}
 P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\
 P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm}
 \end{array} \right)
 \left(\begin{array}{c}
 P'_1 \\
 P'_2 \\
 \dots \\
 P'_m
 \end{array} \right)
 =
 \left(\begin{array}{c}
 P_{g1} \\
 P_{g2} \\
 \dots \\
 P_{gn}
 \end{array} \right)$$

Donde P_{gi} es la prioridad global (respecto a la meta global) de la alternativa i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Una consideración importante en términos de la calidad de la decisión final se refiere a la consistencia de los juicios que muestra el tomador de decisiones en el transcurso de la serie de comparaciones pareadas. Se debe tener presente que la consistencia perfecta es muy difícil de lograr y que es de esperar cierta inconsistencia en casi cualquier conjunto de comparaciones pareadas, después de todo son juicios rendidos por seres humanos.

El AHP ofrece un método para medir el grado de consistencia entre las opiniones pareadas que proporciona el decisor. Si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión. Si el grado de consistencia es inaceptable, quien toma las decisiones debe reconsiderar y posiblemente modificar sus juicios sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis.

De forma matemática, decimos que una matriz de comparación \mathbf{A} $n \times n$ es consistente si: $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$, para $i, j, k = 1, 2, \dots, n$. Esta propiedad requiere que todas las columnas (y renglones) de \mathbf{A} sean *linealmente dependientes*. En particular, las columnas de cualquier matriz de comparación 2×2 son dependientes y, por lo tanto, una matriz 2×2 siempre es consistente.

Para determinar si un nivel de consistencia es o no “razonable”, necesitamos desarrollar una medida cuantificable para la matriz de comparación \mathbf{A} $n \times n$ (donde n es el número de alternativas a comparadas). Se sabe que si la matriz \mathbf{A} es perfectamente consistente produce una matriz \mathbf{N} $n \times n$ normalizada³, de elementos w_{ij} (para $i, j = 1, 2, \dots, n$), tal que todas las columnas son idénticas, es decir, $w_{12} = w_{13} = \dots = w_{1n} = w_1$; $w_{21} = w_{23} = \dots = w_{2n} = w_2$; $w_{n1} = w_{n2} = \dots = w_{nn} = w_n$

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} w_1 & w_1 & \dots & w_1 \\ w_2 & w_2 & \dots & w_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n & w_n & \dots & w_n \end{pmatrix}$$

Se concluye entonces que la matriz de comparación correspondiente \mathbf{A} , se puede determinar a partir de \mathbf{N} , dividiendo los elementos de la columna i entre w_i (que es el proceso inverso de determinación de \mathbf{N} a partir de \mathbf{A}). Entonces se tiene:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

De la definición dada de **A**, se tiene:

$$\begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

De forma más compacta, decimos que **A** es consistente si y sólo si, **AW = nW**. Donde **W** es un vector columna de pesos relativos w_i , ($j = 1, 2, \dots, n$) se aproxima con el promedio de los n elementos del renglón en la matriz normalizada **N**. Haciendo \bar{W} el estimado calculado, se puede mostrar que:

$$A * \bar{W} = n_{max} * \bar{W}$$

Donde $n_{max} \geq n$. En este caso, entre más cercana sea n_{max} a n , más consistente será la matriz de comparación **A**. Como resultado, el AHP calcula la razón de consistencia (**RC**) como el cociente entre el índice de consistencia de **A** y el índice de consistencia aleatorio.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Donde **IC** es el índice de consistencia de **A** y se calcula como sigue:

$$IC = \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

El valor de n_{max} , que corresponde a lo que en álgebra lineal se conoce como el valor propio de la matriz A, se calcula usando $A * \bar{W} = n_{max} * \bar{W}$, observando que la i -ésima componente es:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} * \bar{W}_j = n_{max} * \bar{W}_i$$

Sumando sobre el índice "i", y que la suma de las prioridades (ponderadores o pesos) es igual a 1, se tiene que el valor de n_{max} se puede calcular de la siguiente forma:

$$n_{max} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} * \bar{W}_j = n_{max} * \sum_{i=1}^n \bar{W}_i$$

IA es el índice de consistencia aleatoria de A, es el índice de consistencia de una matriz de comparaciones pareadas generada en forma aleatoria. Se puede mostrar que

el IA depende del número de elementos que se comparan, y asume los siguientes valores:

$$IA = 1,98 * \frac{n - 2}{n}$$

Finalmente se obtiene la razón de consistencia (RC), la que está diseñada de manera que si los valores que exceden el 10% (0,1) se considera que existen juicios inconsistentes. Es probable que en estos casos el tomador de decisiones desee reconsiderar y modificar los valores originales de la matriz de comparaciones pareadas.

4 DESARROLLO DE LOS PROYECTOS DE RIEGO EN CHILE

4.1 Definición y Tipología de Obras

Los proyectos de riego tienen como objetivo reducir la brecha que existe entre la oferta y la demanda de agua para la producción agrícola, debido a que las épocas de lluvias, concentradas en los meses de invierno, no coinciden con las épocas de mayor requerimiento hídrico de los cultivos, comúnmente los meses de verano (Sandoval, 2003).

Dentro de las tipologías de proyectos de riego se pueden mencionar las ampliaciones y mejoramientos de la infraestructura existente, la construcción de nuevas obras, el saneamiento de terrenos potencialmente agrícolas, la transferencia tecnológica destinada a mejorar los sistemas de aplicación del agua y los cambios de patrones de cultivo de manera de optimizar el recurso hídrico disponible, entre otros (MIDESO, 2016).

Según CNR (2011), la infraestructura o sistema de riego comprende básicamente un conjunto de obras destinadas a la captación, regulación, conducción y distribución de agua entre los usuarios de una determinada área de riego, para así satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos

- Obras de captación: Corresponden principalmente a los pozos que captan aguas subterráneas.
- Obras de regulación: Sirven para el aprovechamiento de las aguas, que escurren durante los períodos en que no son utilizadas, almacenándolas para usarlas cuando se origine un déficit, o para aumentar la superficie bajo riego. Dentro de esta categoría se incluyen los embalses y los tranques de regulación nocturna o de temporada.
- Obras de conducción: Llevan las aguas desde la captación o derivación, hasta las obras de regulación o de distribución ubicadas en los predios.
- Obras de distribución: Consisten en redes de canales secundarios y terciarios, que llevan el agua desde un canal matriz hasta los predios; dentro de éstas se incluyen los marcos partidores, compuertas, cámaras y estructuras de medición del flujo de agua, además de los canales propiamente tales.

Por otra parte, las obras que componen un sistema de riego pueden ser de tipo extrapredial e intrapredial. Dentro de las primeras se encuentran las obras que captan el agua desde una fuente para luego conducir, distribuir y regular su uso según los requerimientos de los cultivos. Por su parte, las obras intraprediales son un conjunto organizado de equipos que permite aplicar el agua al sistema radicular de las especies agrícolas presentes en el área de riego (CNR y MIDESO, 2014).

Finalmente, los proyectos se pueden dividir en obras menores; medianas y grandes Obras. Esta clasificación es de tipo "operativa", es decir, de uso habitual dentro de la Dirección de Obras Hidráulicas en base a los montos de inversión involucrados en las obras. Así se tiene que para las obras medianas se consideran montos de inversión de hasta un máximo de U\$ 12,0 millones de dólares y para las obras pequeñas se considerarán montos de inversión de hasta un máximo de U\$ 700 mil dólares (CNR, 2011).

4.2 Institucionalidad

4.2.1 Normativa más Relevante

A continuación, se mencionan los cuerpos legales más importantes en relación al desarrollo del riego en Chile. En este sentido, cabe destacar que los estudios analizados en los Acápites 5.3 y 7.1, dados sus tamaños y evaluación de alternativas en distintas etapas del ciclo de vida del proyecto, resultan afines a los procedimientos dispuestos en Ley Sobre Ejecución de Obras de Riego por el Estado (DFL 1.123, 1981) y la ley de Concesiones de Obras Públicas (Decreto 90 MOP, 1996). En el caso de la Ley de Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (Ley 18.450, 1985), si bien hoy es posible analizar obras de mayor valor, todavía las inversiones de grandes obras bajo esta modalidad se encuentran en procesos de prueba.

Además, existe variada legislación con pertinencia en el uso del agua y los proyectos de riego, tales como las normativas ambientales, acuerdos internacionales y la asociada a las compras públicas y el diseño de manuales, pautas y procedimientos para la evaluación de estos proyectos.

4.2.1.1 Normas Contenidas en la Constitución Política de la República

La carta fundamental del Ordenamiento jurídico chileno consagra el derecho de propiedad sobre los derechos de aprovechamiento de aguas en el artículo 19 N° 24 inciso final, en los siguientes términos:

“Los derechos de los particulares sobre las aguas reconocidos o constituidos en conformidad a la ley, otorgarían a sus titulares la propiedad sobre ellos”

4.2.1.2 Código de Aguas y sus Modificaciones

En el nivel siguiente de jerarquía, la fuente legal es el actual Código de Aguas, aprobado mediante el DFL 1.122 de 1981, el que ha sido modificado tras una prolongada tramitación legislativa en los años 2005 y 2006, incorporando los siguientes cambios:

- Establecimiento de una patente por no uso de los derechos de aprovechamiento.
- Nuevo requisito en las solicitudes de derechos de aprovechamiento relativo a expresar la cantidad de agua que necesita extraer y el uso que se le dará.

- Renuncia legal al derecho de aprovechamiento de aguas.
- Modificación relativa al Catastro Público de Aguas, Artículo 122 del Código de Aguas.
- Consagración a nivel legal del concepto de caudal ecológico mínimo.
- Reconocimiento de la relación existente entre aguas superficiales y aguas subterráneas.
- En materia de aguas subterráneas se reconoce la preferencia para el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento.
- Nueva potestad de la dirección general de aguas para declarar de oficio área de restricción en acuíferos.
- Reconocimiento de personalidad jurídica a las comunidades de aguas organizadas conforme al Código de Aguas.
- Redefinición del objeto de las juntas de vigilancia.
- Reforzamiento de las normas de policía y vigilancia de los cauces naturales de uso público.
- Normas transitorias relativas a la regularización de aguas subterráneas contenidas en las leyes 20.017 y 20.099.

4.2.1.3 Ley Sobre Ejecución de Obras de Riego por el Estado (DFL 1.123)

Este cuerpo legal de 1981 norma la construcción de obras de riego por el Estado, ya sean obras medianas o mayores.

En términos cronológicos, y de acuerdo a los requerimientos del Art. 3 del DFL 1.123, para que un proyecto de riego pase desde la etapa de factibilidad a la de diseño se deberá obtener la manifestación por escrito de al menos el 33% del aumento de las disponibilidades de agua o de los nuevos terrenos a regar. Además, deberán estar constituidas las organizaciones de usuarios: Asociación de Canalistas y Juntas de Vigilancia.

En la etapa de diseño, conocidos los costos, se efectúa una actualización del estudio financiero, orientado a definir capacidades de pago por las obras de parte de los usuarios beneficiados. Considera la estratificación predial de los beneficiarios y proposición de diversos escenarios de subsidio para ser presentados al Consejo de Ministros.

Para que el Consejo de Ministros apruebe un proyecto para la etapa de ejecución, se requiere la existencia de una organización de usuarios interesados por el proyecto (más del 50% de los derechos de aprovechamiento de aguas) y las modelaciones que le permitan al Consejo decidir sobre la base de criterios técnicos las condiciones para seguir adelante con la obra.

Habiendo construido la obra, la ley establece que debe existir un periodo de explotación provisional por parte del Estado, para luego de al menos 5 años realizar el traspaso de las obras a la organización de usuarios de aguas respectiva.

4.2.1.4 Ley de Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (Ley 18.450)

Desde su promulgación en 1985, la Ley 18.450 ha tenido por objeto otorgar una bonificación al costo de construcción de proyectos de riego de los productores agrícolas que cumplan con el fin de incrementar la superficie regada del país, provocar un mejoramiento del abastecimiento de agua en aquellas áreas regadas en forma deficitaria, incentivar un uso más eficiente de la aplicación del agua e incorporar nuevos suelos a la explotación agropecuaria, esto último, por la vía de eliminar el mal drenaje o facilitar la puesta en riego de suelos actualmente de secano.

En noviembre del 2013, la Ley 18.450 fue modificada con el objetivo de poder abordar obras de riego y drenaje integrales y de uso múltiple, cuyo costo supere las 30.000 UF con un tope máximo de UF 250.000.

4.2.1.5 Ley de Concesiones de Obras Públicas

El objetivo principal de este mecanismo de financiamiento de obras es el de generar la infraestructura para el desarrollo nacional, fortalecer la asociación público privada capaz de construirlas y consolidar el papel del Estado en materia de concesiones. El Programa de Concesiones de infraestructura pública desarrollado por el MOP persigue tres objetivos fundamentales (Decreto 90 MOP):

- Captación de recursos privados para ayudar a financiar el desarrollo de las obras públicas futuras.
- Externalización de la construcción y la explotación de las obras de infraestructura pública.
- Liberación de recursos públicos para orientarlos a proyectos y programas de alta rentabilidad social.

Esta modalidad de financiamiento por concesión a privados, con subsidio estatal para cubrir la diferencia entre el precio que está dispuesto a cobrar el inversionista y el valor que el usuario está dispuesto a pagar, se considera crecientemente como una importante alternativa para el desarrollo de parte importante de los recursos hídricos en el país.

4.2.2 Organismos Públicos

En Chile existen más de 20 instituciones públicas con algún grado de incidencia en el uso del agua, incluyendo atribuciones exclusivas del Presidente de la República para situaciones de emergencia o necesidades estratégicas del país (DGA, 2015). En relación a la gestión del agua para riego las más relevantes son la Comisión Nacional de Riego (CNR), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Dirección General de Aguas (DGA) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). Además, el Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO) posee un rol clave en todo el proceso de evaluación de los proyectos de riego.

4.2.2.1 Comisión Nacional de Riego (CNR)

La Comisión Nacional de Riego, es una persona jurídica de derecho público, dependiente del Ministerio de Agricultura, creada en septiembre de 1975 con el objeto de asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país.

La misión institucional consiste en asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país mediante la formulación de la política, estudios y programas y proyectos que aporten al mejoramiento de la competitividad de los agricultores/as y las organizaciones de regantes. Adicionalmente, en el año 1985 se incorporó dentro de sus funciones la administración de la Ley 18.450, de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (obras menores de riego y drenaje), tanto para construcción como reparación de las mismas.

La CNR está organizada en un Consejo de Ministros integrado por los titulares de Agricultura - quien lo preside-, Economía, Fomento y Reconstrucción, Hacienda, Obras Públicas y Planificación y Cooperación. Además, cuenta con una Secretaría Ejecutiva, la cual tiene como función principal ejecutar los acuerdos que el Consejo adopte.

Sus principales objetivos de gestión son:

- Contribuir a la formulación de la política de riego nacional.
- Mejorar la eficiencia del riego a través de proyectos de desarrollo y transformación productiva.
- Focalizar los esfuerzos hacia el desarrollo de regiones extremas del país y grupos de productores en situación vulnerable.
- Fomentar la inversión privada en obras de riego mediante la optimización de inversiones y asignación de subsidios en riego y drenaje.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica de inversiones en obras de riego de las cuencas hidrográficas del país a través de estudios básicos y de prefactibilidad.

Además, posee cuatro objetivos estratégicos:

- Coordinar, implementar y evaluar permanentemente la Política Nacional de Riego, mediante planes y programas que permitan mejorar la superficie regada del país.
- Aumentar la superficie de riego y la seguridad y eficiencia del uso del recurso hídrico para riego en el país, mediante la construcción de obras de riego postuladas a la Ley N° 18.450, Bonificación al Riego.
- Fortalecer la gestión de las Organizaciones de Usuarios de Aguas, a través del perfeccionamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y la constitución de Juntas de Vigilancia, para dinamizar el mercado del agua y el uso eficiente del recurso hídrico.
- Planificar y priorizar el aumento y mejoramiento de la superficie de riego del país, a través de iniciativas de inversión, para optimizar la utilización del recurso hídrico en la agricultura.

4.2.2.2 Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)

La Dirección de Obras Hidráulicas, cuya orgánica actual rige desde el año 1997, es un servicio dependiente del Ministerio de Obras Públicas con representaciones regionales en todo el país, que tiene por objeto proveer de servicios de infraestructura hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y de los usuarios, con eficiencia en el uso de los recursos y la participación de la ciudadanía en las distintas etapas de los proyectos.

En específico, entre las funciones de la DOH relacionadas con el riego se encuentran:

- Desarrollar obras hidráulicas dentro de un contexto de manejo integrado de cuencas hidrográficas, propendiendo a un uso eficiente de los recursos disponibles, en beneficio del desarrollo de la comunidad.
- El estudio (factibilidad y diseño), proyección, construcción, reparación y explotación de obras de riego que se realicen con fondos fiscales.
- Participar en la inspección de la construcción de proyectos acogidos por la Ley 18.450, sobre fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje, tarea que se ejecuta a través de las Direcciones Regionales.

En general, la DOH constituye el mayor desarrollador de obras a nivel nacional relacionadas tanto con la eficiencia en la distribución del recurso hídrico para riego, como con el control de los efectos de eventos extremos y los efectos sobre la población y la infraestructura pública y privada.

4.2.2.3 Dirección General de Aguas (DGA)

Es la institución nacional rectora en materias de aguas. Las principales atribuciones son planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento; constituir derechos de agua; investigar y medir el recurso; mantener y operar la red hidrométrica nacional; ejercer la policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público; y supervigilar el funcionamiento de las organizaciones de usuarios.

Es importante destacar que las funciones regulatorias de la DGA aumentaron significativamente luego de la reforma del Código de Aguas del año 2005, en especial con facultades de fiscalización y sanción del no uso de derechos de aprovechamiento otorgados, regularización de derechos y determinación y regulación de los caudales ecológicos.

4.2.2.4 Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)

El instituto de Desarrollo Agropecuario fue creado a través de la primera ley de la Reforma Agraria, dictada en 1962. Su misión es promover y fomentar el desarrollo y la consolidación de la agricultura familiar campesina, a través de lo cual se busca contribuir al abatimiento de la pobreza rural, al logro de un desarrollo productivo sustentable y a una modernización del mundo rural.

El programa de Riego de INDAP creado en 1990 busca mejorar los niveles de competitividad de la agricultura familiar campesina, a través de inversiones en riego y desarrollo de capacidades en la gestión del agua.

4.2.2.5 Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO)

Ya que forma parte transversal del proceso de evaluación y priorización de los proyectos de riego, es necesario hacer una mención especial al MIDESO. Tal como se señala en sitio web oficial (MIDESO, 2018a), el Ministerio busca contribuir en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia de desarrollo social, especialmente aquellas destinadas a erradicar la pobreza y brindar protección social a las personas o grupos vulnerables, promoviendo la movilidad e integración social.

Asimismo, vela por la coordinación, consistencia y coherencia de las políticas, planes y programas en materia de desarrollo social, a nivel nacional y regional y evalúa los estudios de preinversión de los proyectos de inversión que solicitan financiamiento del Estado para determinar su rentabilidad social. Está a cargo del Sistema Nacional de Inversiones (SNI) y el Banco Integrado de Proyectos (BIP), además de elaborar y validar las metodologías de evaluación en distintos sectores de alcance público.

4.2.3 Sector Privado

Las personas particulares y jurídicas pueden hacer uso de sus aguas de acuerdo a sus derechos de aprovechamiento de aguas concedidos, ya sean permanentes o eventuales, justificando el uso se darán a los recursos.

Por otra parte, en el título III del Código de Aguas (DFL 1.122, 1981) define, caracteriza y determina los derechos y deberes de tres tipos de Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAs), Actualmente existen registros de 4.749 OUAs (Tabla 4-1), las que se dedican exclusivamente al riego.

- **Juntas de Vigilancia:** Estas organizaciones están formadas por personas naturales o jurídicas y las organizaciones de usuarios que en cualquier forma aprovechen aguas superficiales o subterráneas de una misma cuenca u hoya hidrográfica.
- **Asociaciones de Canalistas:** Si dos o más personas tienen derechos de aprovechamiento en las aguas de un mismo canal, embalse, o aprovechan las aguas de un mismo acuífero, podrán reglamentar la comunidad que existe como consecuencia de este hecho, constituirse en asociación de canalistas o en cualquier tipo de sociedad.
- **Comunidades de Agua:** Si dos o más personas tienen derechos de aprovechamiento en las aguas de un mismo canal, embalse, o aprovechan las aguas de un mismo acuífero, podrán reglamentar la comunidad que existe como consecuencia de este hecho.

Tabla 4-1: Número de Organización de Usuarios de Aguas (OUAs) por Región.

Región	Junta de Vigilancia	Asociación de Canalistas	Comunidad de Aguas	Total Región
Arica y Parinacota	3	0	407	410
Tarapacá	0	0	255	255
Antofagasta	1	0	42	43
Atacama	1	1	358	360
Coquimbo	15	47	797	859
Valparaíso	10	30	259	299
Metropolitana	12	122	189	323
O'Higgins	18	84	428	530
Maule	17	77	750	844
Bío-Bío	5	28	717	750
Araucanía	2	11	45	58
Los Ríos	0	0	7	7
Los Lagos	0	0	3	3
Aysén	0	0	7	7
Magallanes y Antártica Chilena	0	1	0	1
Total País	84	401	4.264	4.749

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2018)

4.3 Ciclo de Vida

En la “Metodología Formulación y Evaluación de Proyectos de Riego” elaborada por el MIDESO (2016) se distinguen las fases de preinversión, inversión y operación.

- a) **Preinversión:** el objetivo es determinar la conveniencia de implementar la iniciativa de inversión y, como tal, busca entregar un criterio de decisión acertado respecto de su ejecución. Este análisis forma parte de la evaluación ex-ante de la inversión. Se compone de las etapas de Prefactibilidad y factibilidad, aunque en la práctica se pueden encontrar estudios a nivel de perfil y prefactibilidad avanzada llevados a cabo por la CNR:
- **Prefactibilidad:** Estudios a cargo de la CNR, tanto técnica como administrativamente. En esta etapa se busca dar cuenta como mínimo de la identificación del problema, diagnóstico de la situación actual (demanda, oferta y déficit), identificación y definición de alternativas de solución (optimización de la situación base; tamaño y localización), identificación de beneficios y costos, evaluación privada y social, para todas las alternativas por el Método del Presupuesto y análisis de sensibilidad.

Para que el proyecto continúe a la etapa siguiente se tienen que cumplir los siguientes criterios técnicos y de gestión:

- Rentabilidad positiva de la(s) alternativa(s) evaluadas.
- Aprobación del Estudio de Prefactibilidad por la CNR.
- Recomendación del MIDESO a la etapa de factibilidad con base en los antecedentes técnicos y económicos del estudio de prefactibilidad aprobado por la Unidad Técnica.
- Desactualización del estudio en los casos que éstos tengan menor a 5 años de vigencia.
- Interés por el proyecto de parte de los potenciales beneficiarios.
- Nómina de los derechos de aprovechamiento de aguas y de los predios que se afectarán por la ejecución del proyecto.
- Nómina de las Organizaciones de Usuarios del Agua beneficiarias del proyecto.
- Situación legal de las Organizaciones de Usuarios de Aguas.
- Situación legal de los derechos de aprovechamiento de aguas.
- **Factibilidad:** Estudios a cargo de la DOH. La estructura de esta etapa es similar a la presente en la etapa de prefactibilidad, pero con un mayor grado de detalle, el que permite disminuir la incertidumbre de la futura inversión. Un estudio de este tipo contiene al menos un estudio de ingeniería; geológico geotécnico; agroeconómico; balance Hídrico; derechos de Agua; expropiaciones; análisis ambiental; interferencias y participación ciudadana, además de una evaluación privada y social, para todas las alternativas por el Método del Presupuesto y análisis de sensibilidad.

Para que el proyecto continúe a la etapa siguiente se tienen que cumplir los siguientes criterios técnicos y de gestión:

- Rentabilidad positiva de al menos una de las alternativas evaluadas. La alternativa rentable con mejores resultados será recomendada para la etapa de diseño.
- Aprobación del estudio de factibilidad técnica por la DOH.
- Recomendación del MIDESO a la etapa de diseño con base en los antecedentes técnicos y económicos del estudio de factibilidad aprobado técnicamente.
- Aprobación de la comunidad con, al menos, el acuerdo de resolver temas de interés en la siguiente etapa.
- Interés de los poseedores de derechos de aprovechamiento de aguas, formalizado por, al menos, un 33% de acciones.

- Conformación de, a lo menos, Junta de Vigilancia.
- Perfeccionamiento de derechos de aprovechamiento de aguas iniciados.

Si bien existen diferencias en la cantidad y nivel de precisión de la información obtenida entre los estudios de prefactibilidad y factibilidad, los informes revisados en el presente trabajo (Acápites 5.3) poseen una estructura muy similar en cuanto a las temáticas tratadas.

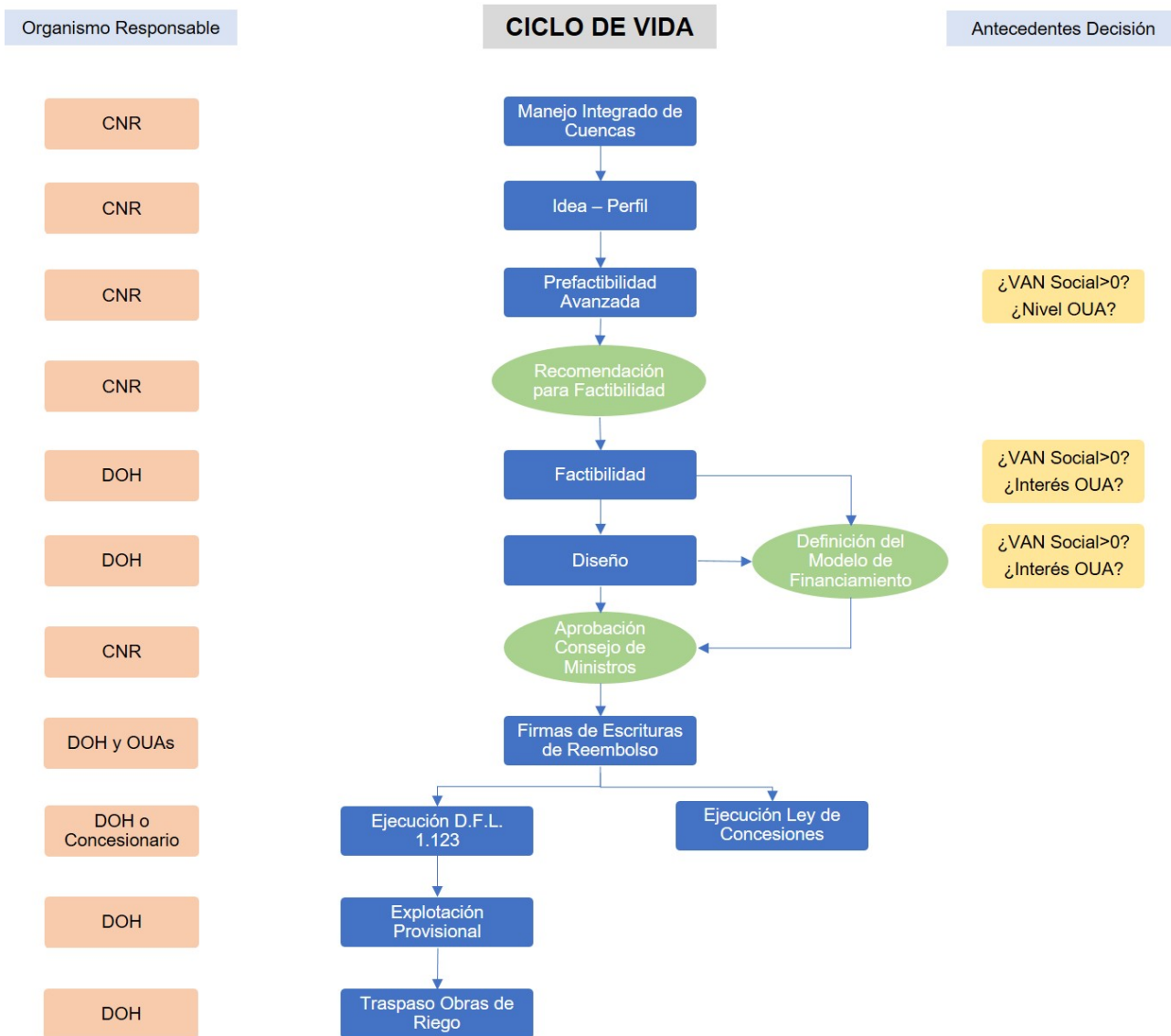
b) **Inversión:** La fase de inversión está compuesta por las etapas de Diseño y Ejecución, ambas a cargo de la DOH.

- **Diseño:** Consiste en la elaboración de la ingeniería de detalle contenida en un Informe del Diseño que debe estar aprobado por la Dirección de Obras Hidráulicas. Además, en caso de requerirse, se debe elaborar el Estudio o Declaración de Impacto Ambiental (EIA o DIA) del proyecto. También se obtienen los certificados de los derechos de agua, terrenos y servidumbres de paso; y las aprobaciones técnicas que correspondan, las cuales son requisitos necesarios para postular a la etapa de ejecución de la obra.
- **Ejecución:** Se refiere a la construcción de las obras definidas en la etapa de diseño del proyecto y que finalmente dan solución al problema detectado en el estudio de diagnóstico.

c) **Operación:** Esta fase comienza con la puesta en marcha del proyecto. En esta etapa se debieran generar los beneficios y costos de operación y mantención esperados. También contempla un periodo de transición en el cual el Estado opera las obras y el posterior traspaso de las mismas a la organización de usuarios de aguas.

Por su parte, en el “Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego” (CNR,2011) se realiza una exhaustiva revisión de contenidos y requisitos de aprobación de cada etapa del ciclo de vida de estos proyectos, incorporando etapas intermedias de recomendación y aprobaciones a nivel político, en particular del Consejo de Ministros de la Comisión Nacional de Riego, además de las distintas líneas de acción si el proyecto se construye bajo la Ley 1.123 o bajo la modalidad de concesión (Ilustración 4-1).

Ilustración 4-1: Ciclo de Vida de Grandes Obras de Riego en Chile.



Fuente: CNR (2011).

4.4 Gestión de Estudios

Los estudios de prefactibilidad (CNR), factibilidad y diseño (DOH) se encuentran insertos dentro del Sistema Nacional de Inversiones, por lo cual deben cumplir con las metodologías, normas y procedimientos que orientan la formulación, ejecución y evaluación de las Iniciativas Inversión que postulan a fondos públicos. Estas iniciativas son parte del Banco Integrado de Proyectos (BIP) el cual es un sistema de Información administrado por el MIDESO, que contiene las iniciativas de inversión que postulan a financiamiento del Estado (MIDESO, 2018b).

La realización de estos estudios² se basa en la contratación de consultorías especializadas. Para ello, se contempla la licitación pública a través del sistema compras del Estado (Ley 19.886, del año 2003), específicamente en la plataforma Mercado Público³, en la que se presentan todos los antecedentes requeridos para la postulación y evaluación de las propuestas de los concursantes. Estos antecedentes se distribuyen básicamente en dos secciones:

- Bases administrativas: Aquí se detallan aspectos tales como los requisitos mínimos para los postulantes y el equipo de especialistas, plazos de ejecución, pautas de evaluación de las propuestas, modalidad del contrato a adjudicar, obligaciones, multas y otros aspectos legales y administrativos de la licitación. En el caso de los proyectos licitados por la DOH, las bases administrativas se basan en el Decreto MOP 48 del año 1994 que reglamenta la contratación de trabajos de consultoría, por ejemplo, exigiendo ser parte del Registro de Consultores del MOP en las especialidades categorías exigidas en las bases administrativas y estableciendo las reglas generales para la determinación de las pautas de evaluación.
- Términos de Referencia (Bases Técnicas): Se presentan todos los requisitos técnicos mínimos del estudio, detallando el alcance y resultados esperados de cada actividad y etapa, además de las normas y metodologías a considerar.

Resulta clave destacar que, una vez adjudicado el contrato, esta modalidad de licitación no permite al especialista (consultor) realizar cambios significativos al orden de los trabajos solicitados, ni tampoco entrega incentivos para proponer productos adicionales a costo propio, a menos que se justifique una modificación técnica y presupuestaria del contrato. Lo anterior entrega a la institución mandante (CNR o DOH) prácticamente la totalidad de la responsabilidad de la exigencia de inclusión de, por ejemplo, una evaluación multicriterio como parte de los resultados de un estudio.

4.5 Metodologías de Evaluación

En los manuales de CNR (2011) y MIDESO (2016), se señala que las metodologías para medir y cuantificar beneficios en proyectos de riego, siempre bajo un enfoque Costo-Beneficio son:

- Excedentes de producción (método de presupuesto).
- Cambio de valor de la tierra.

² Luego de la obtención de los fondos sectoriales o regionales en base a la aprobación de estudios básicos previos que justifican la necesidad y conveniencia preliminar del proyecto.

³ www.mercadopublico.cl

- Beneficios en el mercado del agua.

Bajo el mismo enfoque, se proponen los pasos para la evaluación de beneficios adicionales para suministro de agua potable, turismo, minería y control de inundaciones. También se mencionan efectos indirectos en la mano de obras y en las exportaciones, en otros.

Adicionalmente, para proyectos ubicados en zonas extremas del país⁴ se permite el uso de enfoque de Costo-Efectividad, seleccionando la alternativa menos costosa que logre un beneficio específico, independiente de que no resulte económicamente rentable.

Si bien en ambos manuales se menciona la importancia y consecuencias diversas de estos proyectos, aspectos como los ambientales, sociales y políticos son considerados como externalidades, efectos intangibles o simplemente limitantes que deben ser abordadas con medidas de mitigación, compensación y reparación, que incrementan los costos.

4.5.1 Método de Cambio en los Excedentes de Producción

El método preferentemente recomendado por el MIDESO en relación con los proyectos de riego, es el que se deriva del análisis de los beneficios y costos que se producen en la explotación agrícola durante toda la vida útil del proyecto. Este método, también denominado método del presupuesto, permite "estimar" los beneficios del agua de riego, a través de los excedentes agrícolas derivados del proyecto.

Este método, utiliza un gran número de supuestos acerca de una serie de tópicos vitales en el proceso de producción agrícola, tal como: tipo y rendimiento de cultivos, predios de los productos y de factores de producción, etc. Esto genera posibilidades de incurrir en errores de estimación y de doble contabilización.

Sobre la base de los numerosos estudios de tipo: administrativo-legal, técnicos (físicos, económicos, financieros) y socio-económicos que es necesario para ejecutar el proyecto, se confecciona un cuadro general que resume y caracteriza la situación actual, la que luego de ser optimizada, será la base de la situación "sin" proyecto para el estudio, y que representará en buenas cuentas el verdadero costo oportunidad del proyecto, en el sentido de la mejor alternativa sacrificada. Por otra parte, en forma similar, se caracteriza la situación "con" proyecto la cual deberá contemplar los alcances en todo ámbito, es decir, los efectos (costos y beneficios) que el proyecto provocará en el área involucrada.

⁴ Dentro del Plan Especial de Desarrollo de Zonas Extremas (PEZDE), iniciado el año 2015 y que considera las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Aysen y Magallanes y Antártica Chilena, además de la provincia de Palena y la comuna de Cochamó en la región de Los Lagos.

Dicho resumen, contiene la información relativa a las inversiones, los ingresos y los gastos demandados por la explotación agrícola, para cada uno de los años que conforman el período de análisis del proyecto.

4.5.2 Método de Estimación de Beneficios Directos a Través del Cambio del Valor de la Tierra

Otro método alternativo de evaluación del proyecto de riego, es basado en que los beneficios del proyecto se pueden inferir mediante el cambio de valor de los terrenos agrícolas.

Corresponde a una metodología propuesta a fines de la década de 1950, donde se utiliza los cambios en el valor de las tierras agrícolas como una medida indirecta de obtener los "beneficios directos" y "privados" de los proyectos de regadío. Es importante destacar, que la determinación de los beneficios directos a precios de mercado originados por un proyecto de riego, es sólo una parte del problema general de la evaluación misma.

Al utilizarse este método, se considera que la diferencia de precios entre las áreas regadas y sin regar, es el Valor Presente, de las futuras dotaciones de agua que éstas recibirán. El precio de las tierras sin derechos a riego, a considerar en la evaluación, debe reflejar el flujo de producción real de la tierra con riego, a través del Valor Presente de lo que se deja de producir en seco.

Este método responde a un criterio privado de evaluación, dado que el incremento del valor de la tierra se basa en precios de mercado observados, no tiene en cuenta otros efectos económicos no capturados por el mercado de tierras, como son "efectos" sobre otras actividades económicas relacionadas.

4.5.3 Método de Estimación de Beneficios en el Mercado del Agua

Los métodos anteriores basan su análisis en mercados distintos al producto. En consecuencia, si se acepta la concepción de que un proyecto de riego es aquel que genera un producto que son unidades de agua ($m^3/año$, L/s, etc.), se tendrá que el beneficio neto quedará representado por el área bajo la curva de demanda entre los valores consumidos en situación "sin" y "con" proyecto. La demanda será la curva de productividad marginal. En caso de no haber distorsiones coincidirán las productividades marginales privadas y sociales.

Según Torres (2002), los problemas de este método son básicamente:

- El mercado del agua presente en los proyectos de riego, por lo general no es un mercado visible, por motivos que escapan a este análisis
- Aún con la existencia de un marco legal necesario para efectuar transacciones (reguladas) de recursos hídricos, la restricción de la infraestructura necesaria para el redireccionamiento de los flujos y las restricciones con que se otorgan a los derechos de aprovechamiento, para el caso de obras de nuevo riego, hacen

un gran obstáculo para tener un mercado visible en agua de riego. No obstante, de existir, este sólo sería de carácter privado.

Debido a ello, en la actualidad la estimación de los beneficios directos de los proyectos de riego se realiza a través del uso de medidas indirectas, como lo son la producción agropecuaria y los cambios en el valor de la tierra, lo que origina la existencia de dos metodologías generales para abordar la evaluación global de los proyectos de este tipo.

5 EXPERIENCIAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN PROYECTOS DE RIEGO

5.1 Panorama Global y Experiencias Internacionales

Las metodologías de MCDM, en términos de AMC y EMC, poseen una extensa literatura disponible, que describen y analizan desde los fundamentos teóricos hasta los más específicos modelos y algoritmos de programación para mejorar su precisión y versatilidad, pasando por un gran número de estudios de caso en los cuales se aplican los distintos métodos existentes.

En relación a los recursos hídricos, Raju (2009) realiza un análisis de las principales aplicaciones de las metodologías multicriterio a partir de la revisión de 28 trabajos publicados entre los años 1977 y 2008. Identificó aplicaciones en las áreas planificación, manejo de cuencas, determinación de área de riego, ubicación de embalses y zonas de explotación de aguas subterráneas, priorización de obras de riego, análisis ambiental, gestión de la distribución del agua y control de sistemas presurizados, entre otros. Los principales métodos utilizados fueron CP, ELECTRE, PROMETHEE, MAUT y AHP.

Por su parte, Kabir, Sadiq y Tesfamariam (2013) realizan una exhaustiva revisión de publicaciones en revistas indexadas entre los años 1980 y 2012 con el objetivo de analizar el estado del arte de la aplicación de las metodologías multicriterio en la gestión de infraestructura en distintos ámbitos, incluyendo los recursos hídricos. Tal como se muestra en la Tabla 5-1, existe una gran proporción de estudios que exponen más de un método o una combinación de los mismos, normalmente uno de ellos AHP, con el fin de comparar los resultados. Los métodos más utilizados son AHP, PROMETHEE Y CP.

Tabla 5-1: Número de publicaciones de AMC y EMC relacionadas con infraestructura de recursos hídricos registradas entre los años 1980 y 2012.

Área de Aplicación	WSM	AHP	ELECTRE	PROMETHEE	CP	TOPSIS	Combinación de Métodos	Total
Sistemas de Recursos Hídricos	3	5	3	9	8	1	36	65
Distribución de Agua y Alcantarillado	2	15	8	7	4	1	15	52

Fuente: Kabir, Sadiq y Tesfamariam (2013)

Además de las referencias anteriores, resulta importante describir algunas experiencias destacadas que abordan la gestión y los proyectos de riego a través de metodologías multicriterio, pero con enfoques particulares, permitiendo ampliar los horizontes de aplicación dependiendo del objetivo deseado y el modelo jerárquico consecuente.

En primer lugar, el trabajo de Tiwari, Loof y Paudyal (1999) consiste en desarrollar un marco para la toma de decisiones económico-ambientales que incluye los criterios de sustentabilidad ambiental y económica, y las preferencias de la población local en el

marco de un sistema de organización del riego que utiliza técnicas multicriterio para la toma de decisiones.

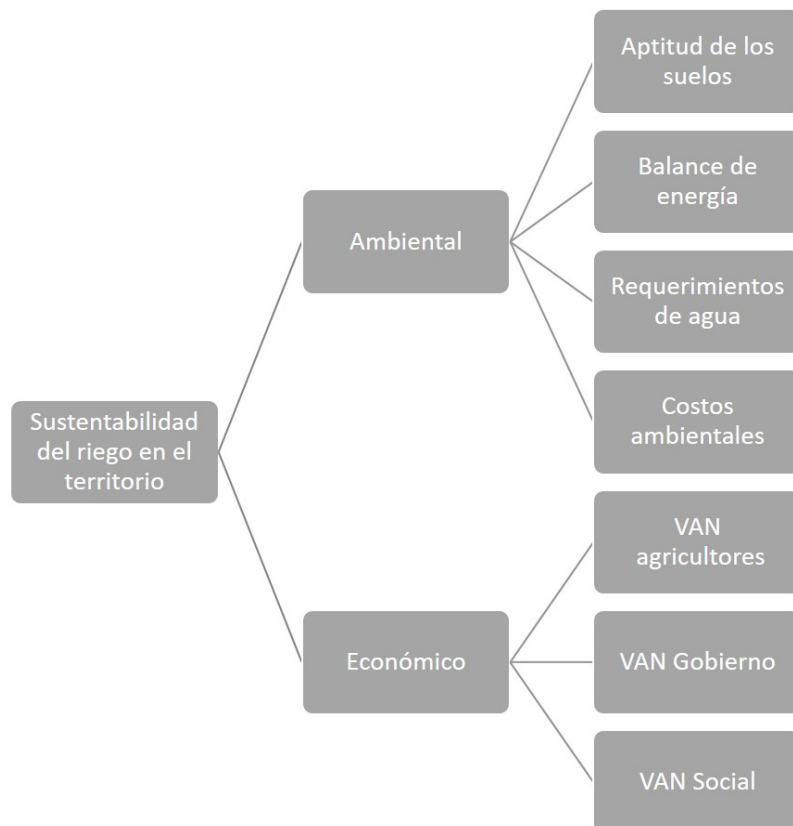
De inmediato destaca que el foco del modelo jerárquico (Ilustración 5-1) es la sustentabilidad del sistema de riego, el que promueve la planificación en el territorio y el manejo integrado de cuencas por parte del Estado y los propios actores locales, ampliando la diversidad de alternativas disponibles, más allá de la construcción de obras de infraestructura, considerando medidas de gestión organizacional, ambiental y de ordenamiento territorial. En el caso de estudio, una de las principales áreas de riego de Tailandia, se compararon siete alternativas con respecto a cuatro criterios ambientales y tres económicos:

1. Mantenimiento de las prácticas de riego y cultivo actuales.
2. Prioridad para el cultivo de arroz en áreas con alta y moderada adaptación.
3. Prioridad para cultivos en terrenos altos en áreas con alta y moderada adaptación.
4. Transferencia de áreas con escasos recursos hídricos para otros usos.
5. Ubicación de áreas de riego de acuerdo con las preferencias de los agricultores.
6. Reducción del suministro de agua en función de la distancia a los canales principales.
7. Cultivo de arroz en todas las áreas.

Dado el enfoque territorial del modelo desarrollado, para la determinación de los indicadores con expresión espacial de varios de los criterios de sustentabilidad ambiental y económica requirió el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Para priorizar las alternativas propuestas se utilizaron los métodos de CP y AHP, siendo la Alternativa 5, ubicación de áreas de riego de acuerdo con las preferencias de los agricultores, la que logra mejores resultados con ambos métodos. Según plantean los autores, la elección de una de las alternativas lleva en los pasos siguientes de la gestión del riego a la proposición de distintas obras de infraestructura, las que deben ser evaluadas con un nuevo modelo jerárquico construido en forma conjunta con los agricultores y operadores del sistema de riego.

Ilustración 5-1: Modelo jerárquico propuesto para sustentabilidad del riego.



Fuente: Traducido de Tiwari, Loof y Paudyal (1999).

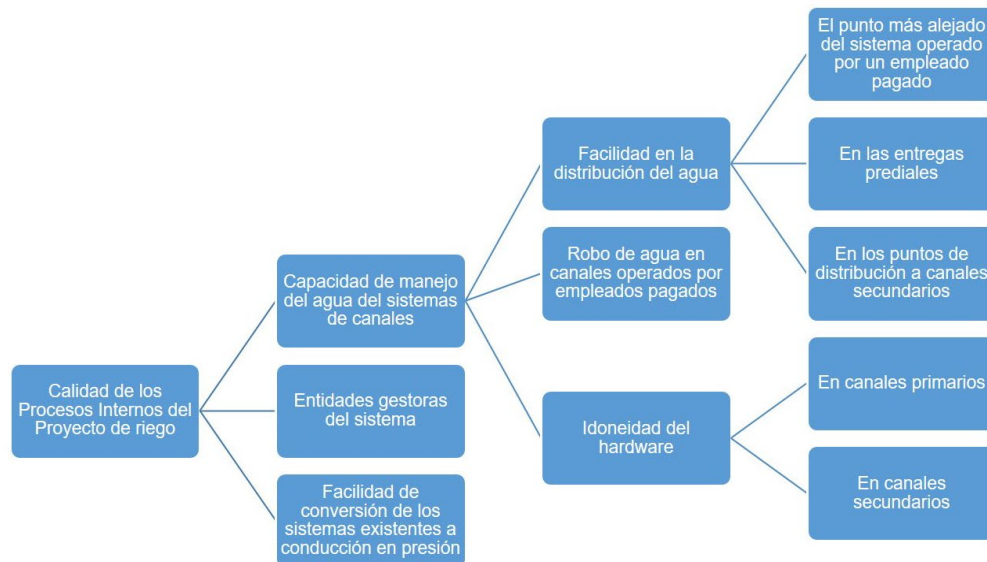
Por su parte, Okada, Styles y Grismer (2008a) inician su estudio bajo la premisa el mejoramiento de proyectos de riego existentes o la proposición de nuevas alternativas por lo general implican no solo mejoras de infraestructura y tecnología (hardware), sino también cambios en la gestión, siendo estos últimos relegados de los procesos tradicionales de toma de decisión debido a que posee componentes cualitativos que no son fácilmente incorporables en una evaluación costo-beneficio y que, por otra parte, el mejoramiento de la gestión se realiza en paralelo con el cambio de obras y tecnologías, por lo que sus componentes no siempre se observan explícitamente.

Esta investigación intenta cuantificar los efectos de las mejoras de gestión y hardware en la productividad de la operación de sistemas de riego. Para ello se desarrolló un modelo jerárquico compatible con el uso de AHP para la evaluación de proyectos de riego utilizando indicadores de procesos internos de la operación del sistema de riego (Ilustración 5-2). El modelo se aplicó para la priorización 16 proyectos de riego ubicados en distintos países y se realizó un análisis de sensibilidad para los pesos de los criterios y los indicadores de cada proyecto, revelando el enorme impacto de la eficiencia de la distribución del agua en los rendimientos de los cultivos.

La investigación mostró el potencial y la efectividad de la aplicación de AHP para el diagnóstico y evaluación de proyectos de riego, ya que, si bien se reconoce que el modelo requiere la incorporación más indicadores de gestión y de hardware para mejorar su

precisión, permite la identificación en cada proyecto de los aspectos peor evaluados y definir planes de acción u obras específicas para revertir los resultados (Okada, Styles y Grismer, 2008b).

Ilustración 5-2: Modelo jerárquico propuesto para calidad de los procesos internos de proyectos de riego.



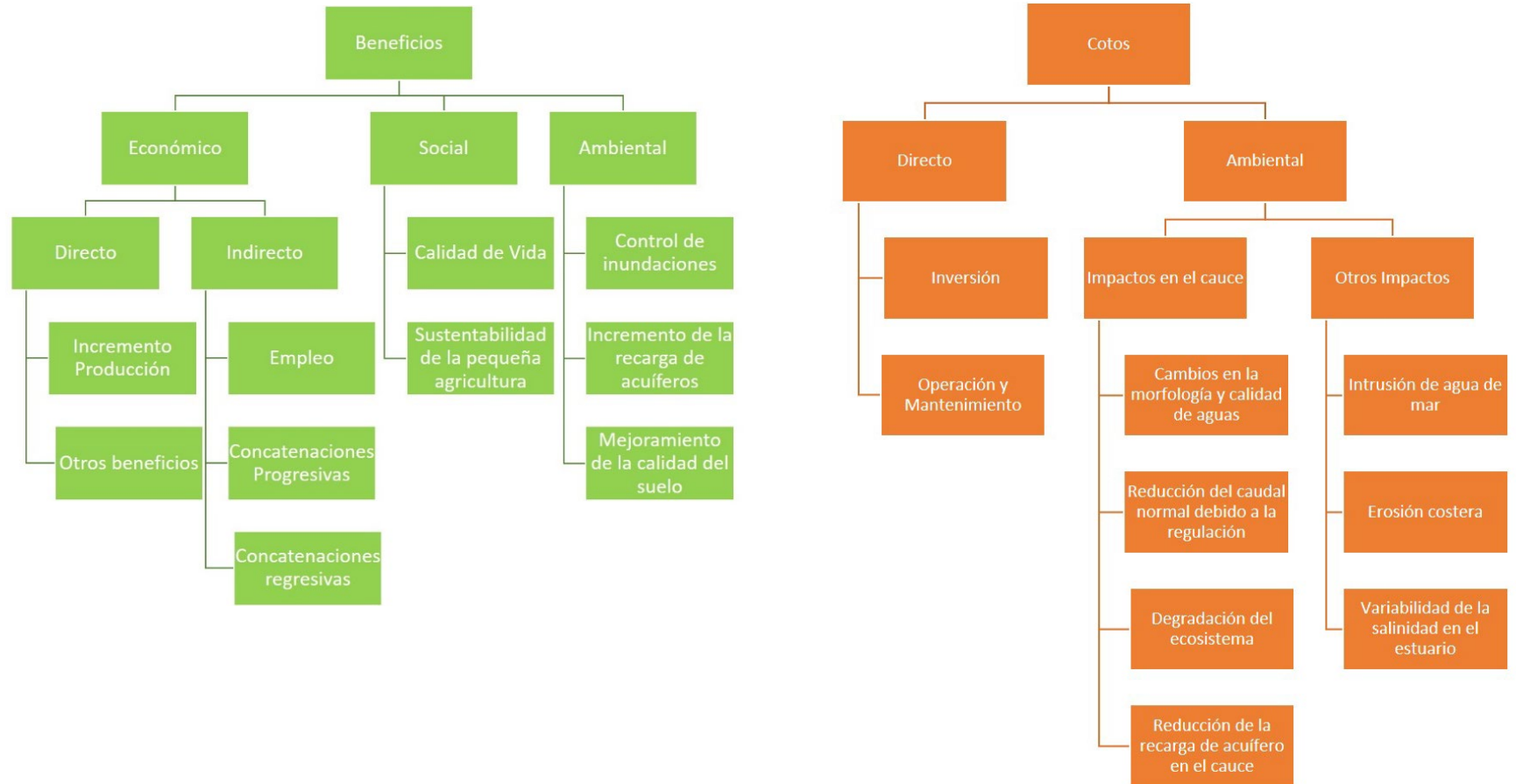
Fuente: Traducido de Okada, Styles y Grismer (2008a).

Finalmente, Anagnostopoulos y Petalas (2011) evalúan tres proyectos de distribución de agua para riego alternativos para la región de Macedonia oriental en Grecia, con el objetivo general de mejorar la gestión racional de los recursos hídricos. Para ello proponen un particular enfoque de costo-beneficio multicriterio con lógica difusa

El problema de decisión se formula como dos modelos jerárquicos, uno para los beneficios y otro para los costos, que incluyen en aspectos económicos, criterios sociales y ambientales (Ilustración 5-3). Los proyectos se clasifican según la relación beneficio/costo de sus prioridades globales obtenidas aplicando el método AHP en cada modelo para tres escenarios de disponibilidad de agua según la precipitación esperada. A través del análisis de lógica difusa se incorpora la incertidumbre que puede generar cambios en las variables, especialmente las de tipo continuo, de cada modelo.

. El método propuesto demuestra que, definiendo de buena forma el foco de un modelo jerárquico (o más de uno, como en este caso) es posible compatibilizar enfoques tradicionales, como el análisis costo-beneficio, no tan solo como un criterio, sino como parte central del problema de decisión, incorporando los costos y beneficios que no se pueden expresar fácilmente en términos monetarios.

Ilustración 5-3: Modelos jerárquicos propuestos para determinar los beneficios y costos de un proyecto de riego.



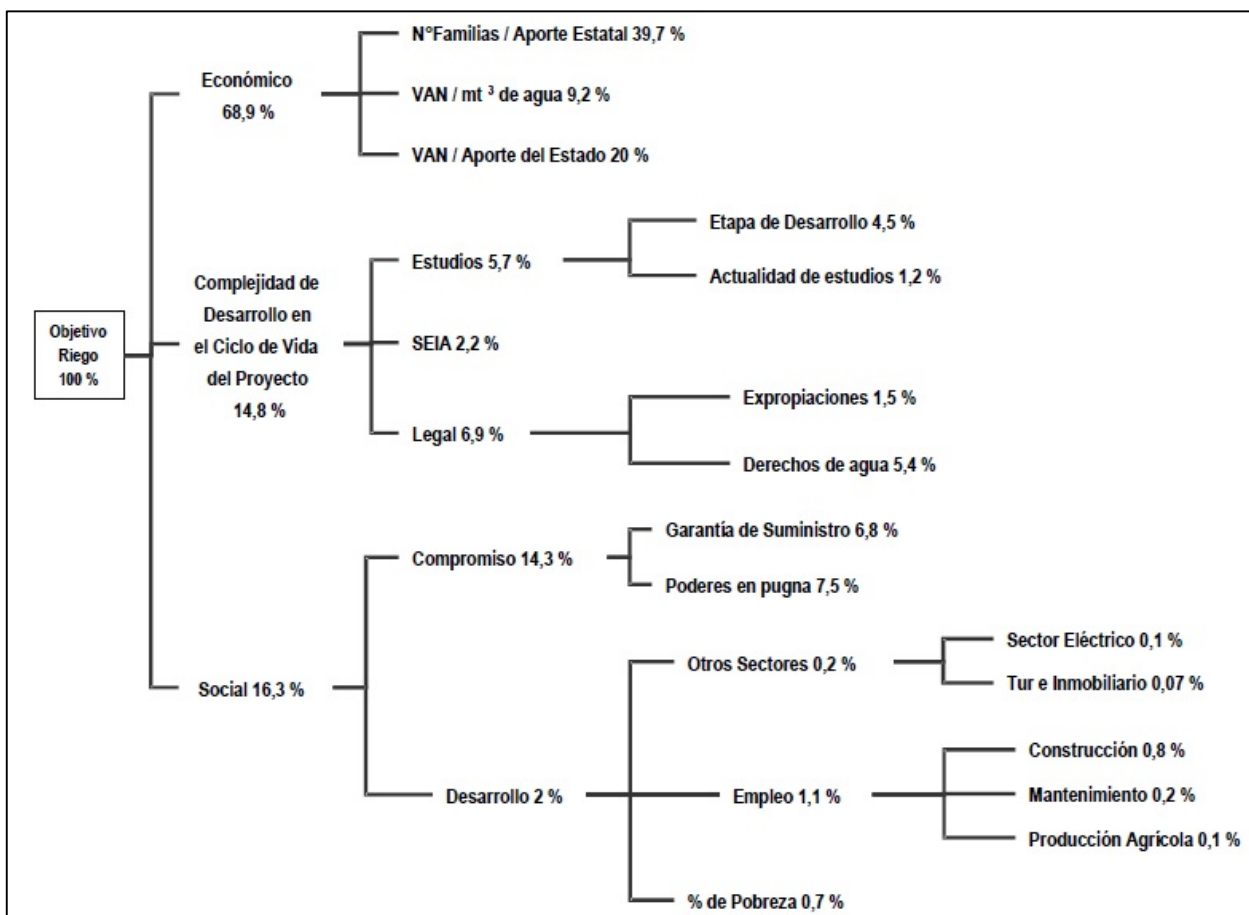
Fuente: Traducido de Anagnostopoulos y Petalas (2011)

5.2 Experiencias en Chile

En Chile las experiencias de EMC se enfocaron principalmente en la priorización de carteras de proyectos de infraestructura, sean éstos de mejoramiento de obras existentes o construcción de nuevos sistemas de riego.

A nivel académico, destaca el trabajo de Torres (2002), quien plantea un completo modelo de 4 niveles y 16 criterios terminales, cuyo foco es determinar los mejores proyectos de infraestructura hidráulica (Ilustración 5-4). El modelo, aplicado con el método AHP a 5 embalses de riego, enfatiza los factores estratégicos y territoriales de los proyectos, en el marco de una política pública, por sobre aspectos de definición de la ubicación o la materialidad, los que se consideran resueltos con anterioridad por los estudios de ingeniería e incluidos en los costos de cada alternativa. Además, la selección de criterios busca adaptarse a la lógica de requisitos del ciclo de vida que deben cumplir los proyectos en Chile, por ejemplo, la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas, dificultad del proceso de expropiaciones y las implicancias ambientales, éstas últimas vistas desde la perspectiva del cumplimiento de requisitos administrativos. Este trabajo fue incluido en el Manual Metodológico sobre Evaluación Multicriterio para Programas y Proyectos (Pacheco y Contreras, 2008), documento encargado por CEPAL.

Ilustración 5-4: Modelo jerárquico y ponderaciones criterios para evaluar proyectos de infraestructura hidráulica.



Fuente: Torres (2002), citado por Pacheco y Contreras (2008).

En el sector público, el primer esfuerzo significativo por aplicar una metodología multicriterio para la priorización de proyectos de riego fue el Programa de Modernización de Sistemas de Riego Existentes (DOH, 2007). Dicho Programa analizó con la metodología AHP cerca de 40 proyectos de construcción y mejoramiento de obras de acumulación y distribución de agua para riego en todo Chile, generando una cartera priorizada de iniciativas, las cuales formarían parte de la agenda de estudios de prefactibilidad y factibilidad del MOP por los próximos 5 años.

El modelo jerárquico (Tabla 5-2) se construyó en base a una revisión de la información existentes en estudios anteriores de cada obra, principalmente a nivel de perfil. Aun así, existieron criterios que finalmente no se utilizaron, debido a que muchas de las alternativas, o sus estudios, no disponían de información suficiente al respecto.

Tabla 5-2: Modelo jerárquico y ponderaciones criterios a nivel país para comparar proyectos de riego.

Criterios Estratégicos		Criterios Terminales		Medio de verificación
Tipo	Peso	Tipo	Peso	
Aspectos Financieros	43,90%	Interés Potenciales Beneficiarios	21,95%	Carta de Compromiso
		Garantía sobre los Derechos de Aprovechamiento de Aguas		
		Aporte Beneficiarios/Costo Estudio	21,95%	Aporte en Obras de Riego Extraprediales
Aspectos Económicos	17,40%	IVAN Social	17,40%	Inversión/VAN Social
Aspectos Sociales	14,10%	N° Beneficiarios/N° Habitantes Comuna	7,05%	Total Beneficiarios Proyecto/Habitantes Comuna
		Índice de Desarrollo Humano (IDH) Comuna	7,05%	IDH Ponderado por Superficie del proyecto en la Comuna
		% Beneficiarios INDAP		
Aspectos Ambientales	10,40%	Impactos Durante Construcción	5,98%	Análisis Ambiental Estudio
		Impactos Durante Operación	0,85%	Análisis Ambiental Estudio
		Servicios Drenaje de Aguas Lluvias	3,57%	Análisis Focus Group
Aspectos Administrativos y Legales	9,00%	Existencia Expropiaciones	2,35%	Estudio Legal
		Morosidad Usuarios Organizaciones	2,95%	Según Antecedentes Organizaciones
		Cumplimiento Informes DGA		
		Trasaso de Obra o Propiedad Privada	3,70%	Según Unidad de Trasaso
Aspectos Técnicos	5,20%	Innovación Tecnológica	4,46%	Según Análisis Focus Group
		Complejidad Técnica	0,74%	Según Análisis Focus Group

Fuente: DOH (2007)

Nota: Criterios destacados en gris finalmente no fueron utilizados.

En el año 2015, el Consejo de Ministros de la Comisión Nacional de Riego decidió implementar el Plan Nacional de Embalses, el que consideró dos líneas de acción (DOH, 2016a):

- Grandes Embalses: Se proyectó la construcción 20 obras entre los años 2015 y 2025, con un volumen de acumulación de 1.900 Hm³ en todo Chile, beneficiando aproximadamente a 30.600 predios y una superficie regada de 191.000 ha. La una inversión total estimada fue de \$MM 2.100.000
- Pequeños Embalses: Contempló la construcción 15 embalses de hasta un volumen de acumulación de 5hm³ cada uno y la rehabilitación 10 embalses existentes hasta el año 2017. Se beneficiaría aproximadamente a 9.000 predios y 17.000 hectáreas regadas, con una inversión total aproximada de \$MM 300.000.

El Plan consideró la evaluación de los proyectos para incluirlo en una figura administrativa denominada “empaquetamiento” (diseño + construcción + tramitación ambiental), con el objetivo de dar celeridad a la ejecución de los proyectos.

Con respecto a la priorización de la cartera de proyectos, el Consejo de Ministros de la CNR se elaboró un listado de criterios de referencia a nivel país (Tabla 5-3), el cual luego fue acotado por la DOH a un modelo jerárquico compatible con los requisitos técnicos exigidos en las licitaciones de diseño que ya se encontraban desarrollándose (Tabla 5-4). Entre los criterios considerados, muchos de los cuales mencionados por Torres (2002) o DOH (2007), destaca la inclusión de aspectos relacionados con las zonas extremas o económicamente rezagadas, arraigo territorial y la existencia de comunidades de pueblos originarios. En esta instancia no se especifica la metodología multicriterio a aplicar.

Finalmente, los criterios de la Tabla 5-3 son la base para la priorización de las carteras de proyectos resultantes de 23 estudios en todo Chile llevados a cabo por la CNR entre los años 2015 y 2018, denominados Planes de Gestión de Riego (CNR, 2018), lo que tienen como fin principal contribuir al uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos para riego en la cuenca.

Entre sus objetivos específicos se contemplaba proponer un conjunto de iniciativas de inversión priorizadas, así como formular mejoras institucionales y de gestión, que favorezcan el desarrollo del riego y de la agricultura de la cuenca, las que debían ser Validadas a nivel de usuarios, como también a nivel de mesas de agua y/u otras instancias regionales. En la práctica, en cada informe se adaptó un modelo jerárquico distinto para cada área de estudio, incorporando elementos propios de la realidad agrícola local, pero a la vez perdiendo un gran parte la capacidad de comparar proyectos de distintos territorios de Chile.

En dichos estudios se observa en general aplicación de metodologías de ponderación lineal tipo scoring (WSM principalmente), a pesar de que en varios de ellos se asegura haber aplicado AHP, lo que manifiesta algún grado de desconocimientos de

los alcances específicos de las distintas metodologías disponibles, tanto de las empresas consultoras como también de la contraparte de la CNR.

Tabla 5-3: Criterios de referencia a nivel país para comparar proyectos de riego del Plan Nacional de Embalses.

Criterios Estratégicos	Criterios Terminales	Definición
Económico	VAN social	Busca priorizar aquellas iniciativas rentables socialmente desde el punto de vista de la producción agrícola.
	Inversión por hectárea equivalente / Inversión por beneficiario	Indica inversión por hectárea equivalente de riego o Inversión por beneficiario.
	Inversión por predio	Indica inversión por predio beneficiado
Social	Nivel de pobreza	Se aplica una discriminación positiva a aquellas iniciativas de mayor nivel de pobreza de la población a nivel comunal.
	Superficie beneficiada pequeños agricultores	Se busca priorizar aquellos proyectos que tienen impacto en territorios con mayor proporción de explotaciones de subsistencia y/o pequeños agricultores de hasta 12 ha riego básico
	Cantidad de beneficiarios	Se desea priorizar aquellos proyectos que tienen impacto en territorios con mayor cantidad de beneficiarios
	Comunidades indígenas en el territorio	Se aplica una discriminación positiva a aquellos proyectos que benefician a comunidades indígenas
	Arraigo territorial	Se aplica una discriminación positiva a aquellos proyectos en cuyo radio de influencia el crecimiento de la población rural ha sido negativo, en las cuales el apoyo estatal determina la sobrevivencia de la vida rural.
	Zona Extrema o Fronteriza	Se aplica una discriminación positiva a aquellos proyectos que benefician a una zona extrema o fronteriza, en las cuales el apoyo estatal determina la defensa de la soberanía nacional.
Estratégico	Grado de escasez hídrica de la zona	Se aplica una discriminación positiva a aquellos proyectos que se ubican en zonas de mayores sequías del país.
	Generación de empleo agrícola	Se refiere a la potencial posibilidad de generar empleo agrícola, como consecuencia de la ejecución del proyecto.
	Agua Potable	Posibilidad de apoyar a los sistemas de Agua Potable Rural existentes o potenciales en el abastecimiento de agua.
	Hidrogenación	Se busca priorizar proyectos que generen más MWh/año
Ambiental-Territorial	Relocalización de viviendas	Se aplica una discriminación negativa a aquellos proyectos en los que se deba relocalizar viviendas
	Sitios arqueológicos	Se aplica una discriminación negativa a aquellos proyectos que afecten sitios arqueológicos
	Afectación de bosque nativo	Se aplica una discriminación negativa a aquellos proyectos que afecten mayor cantidad de hectáreas de bosque nativo.
Gestión	Interés de beneficiarios	Busca considerar el interés formal que los beneficiarios puedan lograr a través de su organización hacia el proyecto.
	Aporte económico regional	Busca considerar el interés que la región tiene hacia el proyecto.
	Desarrollo organizacional	Busca considerar la existencia y formalidad de las organizaciones de usuarios.

Fuente: DOH (2016a)

Tabla 5-4: Adaptación modelo jerárquico y criterios a nivel país para comparar proyectos de riego del Plan Nacional de Embalses.

Criterios		Subcriterios		Escala de Intensidad
Tipo	Peso	Tipo	Peso	
1. Económico	18,4	1.1. Costo unitario por hectárea equivalente	6,1	Orden de prelación
		1.2. Costo unitario por número de predios	6,1	Orden de prelación
		1.3. Rentabilidad VAN Social	6,1	Orden de prelación
2. Social	34,1	2.1. Superficie Beneficiada Pequeños Agricultores	5,7	Mayoría Predios Pequeños (<12 ha) = 1; Mayoría Predios Medianos (< 50 ha) = 5; Mayoría Predios Grandes (> 50 ha) = 10
		2.2. Número Aproximado de Futuros Beneficiarios	5,7	Mayor de 50 regantes = 1; Entre 25 a 50 regantes = 5; Menor a 25 regantes = 10
		2.3. Porcentaje de Hogares en Situación de Pobreza Comunal	5,7	Orden de prelación
		2.4. Comunidades Indígenas en el territorio	5,7	Si = 1; No = 10
		2.5. Arraigo Territorial	5,7	Crecimiento Negativo Rural = 1; Crecimiento Positivo Rural = 10
		2.6. Zona Extrema, Fronteriza o Rezagada	5,7	Si = 1; No = 10
3. Político - Estratégico	22,6	3.1. Grado de Escases Hídrica	5,7	Con Decretos Escasez Hídrica = 1; Sin Decretos Escasez Hídrica = 10
		3.2. Generación de Empleo Agrícola	5,7	si = 1; no = 10
		3.3. Apoyo a Sistemas de Agua Potable Rural	5,7	si = 1; no = 10
		3.4. Hidrogeneración	5,7	si = 1; no = 10
4. Ambiental - Territorial	9,2	4.1. Relocalización de Viviendas	3,1	no = 1; si = 10
		4.2. Sitios Arqueológicos	3,1	No existen = 1; Existen = 10
		4.3. Afecta Bosque Nativo	3,1	no = 1; si = 10
5. Complejidad Gestión	15,7	5.1. Interés de Beneficiarios	3,9	no = 1; si = 10
		5.2. Aporte Económico Regional	3,9	Orden de prelación
		5.3. Desarrollo Organizacional	3,9	Bajo = 1; Alto = 10
		5.4. Roles a Expropiar	3,9	si = 1; no = 10

Fuente: DOH (2016a)

5.3 Inclusión de la Evaluación Multicriterio en Licitaciones de Obras de Riego

Además de las experiencias anteriormente descritas, resulta interesante conocer el lugar e importancia que posee la EMC dentro de los estudios de prefactibilidad y factibilidad de obras de riego.

Tal como se expuso en el Acápite 4.4, existen importantes limitantes y falta de incentivos para modificar los requerimientos técnicos de los Términos de Referencia de una licitación. Por ello se decidió revisar para ocho concursos de licitaciones desarrollados DOH y CNR sus Términos de Referencia, con el fin de determinar si se solicita la inclusión de una evaluación multicriterio para seleccionar o priorizar obras dentro del mismo territorio, el tipo de metodología requerida y la etapa en la cual se debe

desarrollar, bajo el supuesto de que serán precisamente estas disposiciones las que se llevarán a cabo en los posteriores estudios, independiente de la calidad de su aplicación.

Un primer aspecto que se desprende de la revisión es una estructura muy similar de los contenidos de los estudios, aunque con matices en cuanto al alcance de las actividades solicitadas, en concordancia con la etapa del ciclo de vida en que se encuentre el proyecto y las características del área de estudio. Tal como se muestra en la Ilustración 5-5 Ilustración 3-1, existe dos instancias en las cuales se realiza un proceso de toma de decisión con respecto a la viabilidad y continuidad de una o más alternativas:

- En una etapa temprana, inmediatamente posterior al diagnóstico preliminar del área de estudio, se diseñan dos o más alternativas o ubicaciones de obras en base a información existente en estudios anteriores, bibliografía de carácter general y la experiencia de las primeras visitas a terreno de los especialistas. En general se trata de obras con la misma capacidad o que beneficien de igual manera a un sector de riego.

Normalmente existen un análisis de cada obra en función de distintos aspectos, principalmente materialidad o tecnología, costos generales, aspectos Legales y aceptación de la comunidad, pero en la mayoría de no aprecia un énfasis explícito para la integración de los criterios mediante una EMC (Tabla 5-5), lo que puede sesgar a la decisión en base a la consideración de un criterio en particular, generalmente el costo. Los aspectos ambientales son tratados como limitantes técnico-administrativas. Finalmente, los resultados son presentados para la validación de la comunidad y los actores claves en talleres de trabajo, en el marco del proceso de participación ciudadana contemplado.

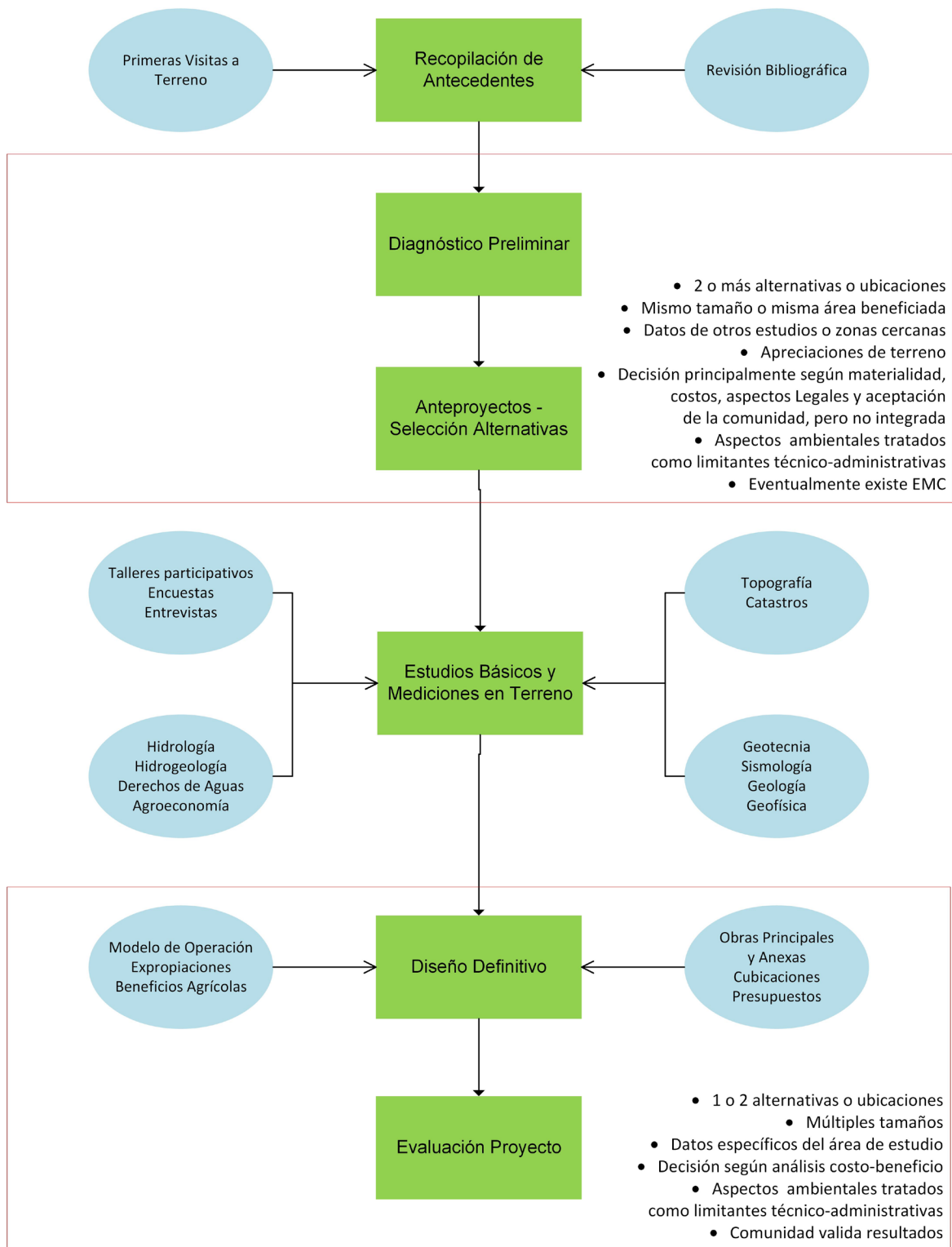
- En la etapa final del estudio, cuando se dispone de toda la información recopilada de las distintas áreas abordadas (ingeniería, agroeconomía, análisis ambiental y participación ciudadana, en otras), con datos específicos y actualizados del territorio. Las alternativas que llegan a estas instancias se encuentran a lo sumo en dos ubicaciones distintas del área de estudio, generándose distintas opciones de tamaño, obteniéndose una curva de costos con su beneficio asociado.

A pesar de que el volumen y diversidad de información es muy superior a la disponible en las primeras etapas del estudio, la decisión se basa casi exclusivamente en la adopción del enfoque de análisis costo-beneficio a partir del método del cambio de excedentes de producción y los métodos secundarios de validación (Acápites 4.5). Al igual que en la selección anterior, los aspectos ambientales son tratados como limitantes técnico-administrativas, describiéndose la pertinencia de ingreso al SEIA y realizando recomendaciones en caso de adquirir compromisos ambientales voluntarios. Los resultados son validados por la comunidad y los actores claves en la reunión final de participación ciudadana, la cual tiene un carácter informativo.

En la Tabla 5-5 se describen para los ocho proyectos analizados los requerimientos generales de sus Términos de Referencia en relación con la priorización y selección de

alternativas y la EMC. Dos de los proyectos, canal Catemu y embalse Huedque, serán evaluados con el modelo jerárquico construido en el presente trabajo (Capítulo 7).

Ilustración 5-5: Selección de alternativas en el marco de las etapas de estudios de obras de riego.



Fuente: Elaboración propia a partir de Términos de Referencia de licitaciones DOH (2013, 2015, 2016 y 2018) y CNR (2010, 2011, 2016b y 2017)

Tabla 5-5: Ejemplos de requerimientos para selección de alternativas en Términos de Referencia de licitaciones de proyectos de riego.

Términos de Referencia	Institución	Año	Tipo de Estudio	Incluye Selección de Alternativas	Método Selección de Alternativas	Principales Criterios Mencionados	Fuentes de información a Utilizar
Canal Catemu	CNR	2010	Prefactibilidad	Sí - temprana	No integrada	Costo; área y dificultad expropiación	Información de zonas cercanas; manuales; primeras visitas
Embalse Huedque	CNR	2011	Prefactibilidad	Sí - temprana	No integrada	Aspectos físicos (cuena aportante, geología); materialidad; dificultad expropiación; aceptación comunidad	Información de zonas cercanas; manuales; primeras visitas
Embalse Río Rapel Montepatria	DOH	2013	Factibilidad	Sí - temprana	No integrada	Aspectos físicos (cuena aportante, geología); materialidad; interferencias; aceptación comunidad	Información de zonas cercanas; manuales; primeras visitas
Embalse Bollenar	DOH	2015	Factibilidad	Sí - temprana	EMC (explícita)	Aspectos físicos (cuena aportante, geología, geofísica); costo; área a expropiar	Estudios anteriores en área de estudio; manuales; primeras visitas
Embalse Las Palmas	DOH	2016	Factibilidad y Diseño Definitivo	Sí - temprana	EMC (explícita)	Aspectos físicos (cuena aportante, geología); costo; aceptación comunidad	Estudios anteriores en área de estudio; manuales; primeras visitas
Embalse Mostazal	CNR	2016	Prefactibilidad	Sí - temprana	EMC (no explícita)	Costo; aceptación comunidad, área a expropiar	Información de zonas cercanas; manuales; primeras visitas
Embalse Porvenir	CNR	2017	Prefactibilidad	Sí - temprana	EMC (no explícita)	Aspectos físicos (cuena aportante, geología, geofísica); capacidad de acumulación; costo; área a expropiar	Información de zonas cercanas; manuales; primeras visitas
Canales Curacaví y Casablanca	DOH	2018	Factibilidad y Diseño Definitivo	Sí - temprana	No integrada	Costo; área y dificultad expropiación; aceptación comunidad; derechos de aguas	Información de zonas cercanas; manuales; primeras visitas

Fuente: Elaboración propia a partir de Términos de Referencia de licitaciones DOH (2013, 2015, 2016 y 2018) y CNR (2010, 2011, 2016b y 2017)

6 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

6.1 Definición del Problema de Decisión

En el presente trabajo, la metodología AHP se aplicará en dos instancias del problema de la toma de decisiones:

- **Seleccionar** una de las alternativas propuestas para aumentar la seguridad de riego en un área geográfica definida, como parte de un estudio de prefactibilidad o factibilidad de obras, de manera ser analizada con más detalle dentro del mismo estudio o promovida a la etapa siguiente del ciclo de vida del proyecto. En este caso, el tomador de decisión busca lograr una asignación eficiente de recursos públicos.
- En forma secundaria⁵, **priorizar** iniciativas dentro de una cartera de proyectos propuestos, en un contexto de escasez de recursos públicos, lo que impide la realización de todas las iniciativas en forma simultánea. A diferencia de la aplicación anterior, además de una asignación eficiente de recursos, se busca transparentar de forma objetiva la recomendación de un proyecto en particular al encargado de la asignación de recursos públicos.

6.2 Actores Involucrados en el Problema

Los actores involucrados en la toma de decisión varían dependiendo de los problemas que se enfrentarán, los que fueron definidos en Acápite precedente.

Para la **selección** de alternativas de proyectos, el tomador de decisión corresponde en primera instancia al coordinador de consultoría perteneciente a la CNR, en el caso de estudios de prefactibilidad, y al inspector fiscal para los estudios de factibilidad y diseño definitivo realizados por la DOH. En el mismo proceso participan los equipos técnicos, jefes y directores de dichos organismos, cuyo grado de involucramiento varía dependiendo de la complejidad y repercusión pública del proyecto. Finalmente, el Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO) revisa los antecedentes de la evaluación realizada, recomendando o rechazando el paso del proyecto a la siguiente etapa del ciclo de vida.

La **priorización** dentro de una cartera de proyectos, si bien considera a los actores pertenecientes a la CNR y DOH⁶, la decisión depende en mayor medida de los organismos encargados de la asignación de recursos. En el caso de iniciativas carácter

⁵ En relación a los objetivos del presente Estudio de Caso.

⁶ Organismos que, si bien generan las propuestas de partidas presupuestarias cada año, la aprobación de fondos no depende de éstos.

nacional o gestionadas por el nivel central del poder ejecutivo, el MIDESO recomienda las iniciativas el Ministerio de Hacienda, que aprueba o rechaza la partida presupuestaria respectiva. A nivel regional la decisión además puede depender de los Gobiernos Regionales, comúnmente en base a la aprobación de Fondos Nacionales de Desarrollo Regional (FNDR) para llevar a cabo el proyecto.

6.3 Estructuración del Modelo Jerárquico

6.3.1 Foco del Modelo

El primer paso para estructurar el modelo jerárquico consiste en definir su foco, en otras palabras, el objetivo general, de acuerdo al cual serán ordenadas y comparadas en su importancia relativa los criterios, subcriterios y niveles de intensidad.

En concordancia con la definición del problema principal a resolver con el método AHP, el foco del presente modelo jerárquico es: **Seleccionar la mejor alternativa de proyecto de riego.**

6.3.2 Identificación de Criterios de Decisión y Niveles de Intensidad

6.3.2.1 Aspectos Generales

A continuación, se presenta la definición de los criterios que son parte del modelo jerárquico, Cada definición se expresa en forma simple y breve, sin ahondar en conceptos técnicos específicos que son propios del estudio, con el fin facilitar una comprensión por parte de un espectro amplio de actores participantes en la determinación de los ponderadores y la evaluación de proyectos riego.

Junto con lo anterior, para cada subcriterio terminal, se determinan sus niveles de intensidad, es decir, su escala de medición y el complemento de su definición. Dependiendo del subcriterio, en este modelo es posible identificar tres formas de representar los niveles de intensidad:

- Estadísticas o indicadores de tipo continuo.
- Variables binarias.
- Variables con niveles múltiples.

6.3.2.2 Criterio 1: Económico

Aportes a la equidad y eficiencia de los recursos asignados.

a) Subcriterio 1.1: Distribución

Relación entre el número de familias beneficiadas por el proyecto respecto al aporte del Estado al mismo.

Sus niveles de intensidad son de tipo continuo según la siguiente expresión:

$$\frac{N^{\circ} \text{ Familias Beneficiadas}}{\text{Aporte Estatal } (\$MM)}$$

b) Subcriterio 1.2: Eficiencia

Valor Actual Neto del proyecto (VAN) en relación al volumen de agua entregado por el proyecto.

Sus niveles de intensidad son de tipo continuo según la siguiente expresión:

$$\frac{VAN (\$MM)}{\text{Vol. Agua Riego Distribuida } \left(\frac{Hm^3}{\text{año}}\right)}$$

c) Subcriterio 1.3: Interés Privado

Interés privado por el proyecto a partir de la relación entre el VAN del proyecto y el aporte del Estado.

Al igual que en los casos anteriores, sus niveles de intensidad son de tipo continuo según la siguiente expresión:

$$\frac{VAN (\$MM)}{\text{Aporte Estatal } (\$MM)}$$

6.3.2.3 Criterio 2: Complejidad del Proyecto

Elementos que fomentan o limitan el avance del ciclo de vida del proyecto.

a) Subcriterio 2.1: Aspectos Técnicos

Aspectos relacionados con la ingeniería, tecnología y gestión operacional del proyecto.

a1) Subcriterio 2.1.1: Complejidad Técnica

Desafíos de diseño y aplicabilidad de técnicas de construcción, uso de materiales y operación en virtud de las condiciones del entorno y el conocimiento técnico. También asociado al riesgo de accidentes.

Los niveles de intensidad para la complejidad técnica en etapa de construcción (Subcriterio 2.1.1.1) son los siguientes:

Tabla 6-1: Niveles de intensidad para medir Complejidad Técnica en la Construcción.

Nivel Intensidad	Significado
Alta	Presenta una o más dificultades técnicas significativas en cuanto al método de construcción o a las condiciones del entorno que hacen inviable el proyecto si no se implementan obras o equipos complementarios de alta complejidad y/o costo
Media	Presenta una o más dificultades técnicas significativas en cuanto al método de construcción o a las condiciones del entorno, las cuales requieren ser abordadas con obras o equipos complementarios con el fin de mejorar el funcionamiento del proyecto y disminuyan los riesgos de emergencia.
Baja	No presenta dificultades técnicas significativas en cuanto al método de construcción ni a las condiciones del entorno.

Por su parte, para medir la complejidad técnica en etapa de operación (Subcriterio 2.1.1.2) se proponen los siguientes niveles de intensidad:

Tabla 6-2: Niveles de intensidad para medir Complejidad Técnica en la Operación.

Nivel Intensidad	Significado
Alta	Presenta una o más dificultades técnicas significativas en la operación de obras o equipos, por lo que se debe implementar un sistema de gestión con parte del personal calificado, orientado a mejorar la eficiencia de suministro y evitar eventos de emergencia. Además considera el uso de herramientas tecnológicas avanzadas.
Media	Presenta una o más dificultades técnicas significativas en la operación de obras o equipos, por lo que se debe implementar un sistema de gestión con parte del personal semicalificado, orientado a mejorar la eficiencia de suministro y evitar eventos de emergencia.
Baja	No presenta dificultades técnicas significativas en la operación de obras o equipos. Se requiere de un sistema de gestión, con énfasis en la mantención del suministro.

a2) *Subcriterio 2.1.2: Innovación Tecnológica*

Existencia de introducción de tecnologías o prácticas no convencionales y de vanguardia, que mejoren el costo, la vida útil, la manejabilidad u otro aspecto significativo del proyecto.

Los niveles de intensidad asociados se presentan en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3: Niveles de intensidad para medir Innovación Tecnológica.

Nivel Intensidad	Significado
Alta	Incorpora innovaciones técnicas o de gestión que son trascendentales para el desarrollo del proyecto. Se trata de propuestas pioneras en el país, al menos para el tipo de proyecto analizado.
Media	Incorpora innovaciones técnicas o de gestión, pero que no son trascendentales para el desarrollo del proyecto. Normalmente se tratan de propuestas en base a experiencias de otros proyectos desarrollados en el país.
Baja	No incorpora innovaciones técnicas o de gestión relevantes.

b) Subcriterio 2.2: Aspectos Legales

Factores que entregan viabilidad jurídica al proyecto, tanto a nivel de los procedimientos administrativo-legales, como de los procesos de negociación.

b1) Subcriterio 2.2.1: Expropiaciones

Dificultades relacionadas con el tipo de terreno (por ejemplo, agrícola o habitacional), superficie y cantidad de propietarios involucrados, lo que repercute en aspectos tales como la necesidad de trasladar personas e involucrarse en proceso de negociación con las comunidades.

Para este subcriterio se definieron los siguientes niveles de intensidad:

Tabla 6-4: Niveles de intensidad para medir Complejidad en las Expropiaciones.

Nivel Intensidad	Significado
Alta	Se requiere expropiar sectores habitados o con un alto valor patrimonial o ambiental, lo que genera un alto rechazo por los directa o indirectamente afectados. Se requiere iniciar un proceso de negociación complejo con los propietarios, residentes y otros actores para llegar a un acuerdo con respecto a las compensaciones.
Media	Se requiere expropiar terrenos que poseen viviendas o construcciones puntuales. Se requiere iniciar un proceso de negociación con los propietarios y/o residentes de los terrenos, que eventualmente pueden tener aprehensiones con el proceso expropiatorio o con el valor de compra propuesto.
Baja	No se requieren expropiaciones o éstas se realizan en pleno acuerdo con el propietario y con la validación de la comunidad. Normalmente se trata de terrenos deshabitados y sin un valor patrimonial o ambiental significativo para los actores del territorio.

b2) Subcriterio 2.2.2: Derechos de Aprovechamiento de Aguas

Dificultades con respecto a la situación legal y titularidades de los derechos de aprovechamiento de aguas, pudiendo estar en manos del Estado, los beneficiarios u otro actor. Además, es necesario conocer si los derechos se encuentran regularizados (constituidos) o se encuentran en tramitación.

Los niveles de intensidad asociados a este subcriterios se presentan a continuación:

Tabla 6-5: Niveles de intensidad para medir Complejidad en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas.

Nivel Intensidad	Significado
Alta	Se requiere constituir los derechos de aprovechamiento de aguas necesarios para realizar el proyecto, pero existen limitantes hidrológicas y/o se visualizan oposiciones de otros usuarios del agua.
Media	Se requiere constituir los derechos de aprovechamiento de aguas necesarios para realizar el proyecto, sin detectar limitantes hidrológicas u oposiciones de otros usuarios del agua. Otra posibilidad es que los derechos de aprovechamiento de aguas se reconozcan de hecho, pero no se encuentren legalmente regularizados.
Baja	Los derechos de aprovechamiento de aguas se encuentran constituidos por cada beneficiario o la organización de usuarios de aguas.

c) Subcriterio 2.3: Aspectos Sociales y Políticos

Preferencias de la comunidad involucrada en el proyecto y viabilidad de mantenerlo en el tiempo.

c1) Subcriterio 2.3.1: Validación Social

Grado de acuerdo entre los beneficiarios, y entre estos con el Estado, acerca de la solución técnica, ubicación y costos de la solución planteada. Es importante destacar que, tal como se indica en los Acápites 4.2.1.3 y 4.3, los poseedores de derechos de aprovechamiento de aguas usados en el proyecto tienen poder de decisión sobre el paso del proyecto a la siguiente etapa de su ciclo de vida.

Los niveles de validación social se definieron de la siguiente forma:

Tabla 6-6: Niveles de intensidad para medir Validación Social del Proyecto.

Nivel Intensidad	Significado
Alta	Existe amplia aceptación por parte de los actores relevantes y la comunidad en general sobre el tipo, ubicación y efectos del proyecto en el territorio
Media	Existe aceptación por parte de la mayor parte de los actores relevantes y la comunidad en general sobre el tipo, ubicación y efectos del proyecto en el territorio. Se detectan actores o grupos disidentes, pero que no influyen de manera trascendental en la aprobación para construir el proyecto.
Baja	El proyecto genera un rechazo de la mayor parte de los actores relevantes y la comunidad en general, ya que no satisface o se encuentra en conflicto con sus expectativas o intereses, no siendo posible lograr la aprobación para construir el proyecto

c2) Subcriterio 2.3.2: Nivel Organizacional

Existencia de alguna organización contemplada en el código de aguas (junta de vigilancia, comunidades de agua o asociación de canalistas) y capacidad para la mantención y operación del proyecto luego del traspaso por parte del Estado.

Los tres niveles de intensidad propuestos en la Tabla 6-7 fueron determinados en base a la clasificación de las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAs) realizada por la Comisión Nacional de Riego en el estudio “Elaboración de una Metodología de Organización y Capacitación de Comunidades de Agua” (CNR, 2003).

Tabla 6-7: Niveles de intensidad para medir Nivel Organizacional de los Beneficiarios.

Nivel Intensidad	Significado
Alta	<ul style="list-style-type: none"> • No operativa: Es aquella organización que no realiza ninguna de las actividades básicas de administración de las obras de riego. • Básica: Es aquella Comunidad de Aguas que realiza sólo funciones básicas, es decir, distribuyen las aguas conducidas por el canal matriz y se preocupan de la mantención del canal. Se deja la administración de los canales menores a los regantes. No cuenta con un presupuesto, rara vez se preocupan de mejorar el sistema de riego que administran.
Media	<ul style="list-style-type: none"> • Operativa: Se caracteriza porque, además de realizar las funciones básicas, se preocupa de mejorar la infraestructura existente, para lo cual ha desarrollado cierta capacidad de propuesta y cuenta con un presupuesto anual que les permite operar los sistemas de captación, conducción y distribución. En general, los usuarios perciben beneficios al estar organizados. • Ordenada: Es una organización que conoce su sistema de riego y el número de acciones que les corresponde, cuenta con un registro ordenado de comuneros, lo que le facilita el cobro de las cuotas. Cuenta con normas claramente establecidas y algunos mecanismos para la solución de conflictos. Carece de participación efectiva. Muchos de sus usuarios sólo asisten a la asamblea anual y paga sus cuotas, pero no se observa una renovación sustancial de sus directores y carece de mecanismos para mejorar su gestión. • Funcional: Se caracteriza por el cumplimiento cabal de las normas legales y por una buena operación de los sistemas de captación, conducción, distribución y uso de las aguas disponibles. Los usuarios están relativamente bien informados sobre sus derechos y obligaciones.
Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Dinámica: Posee una participación activa de los usuarios en la organización y por su capacidad de tomar iniciativas para seguir fortaleciéndose. Es capaz de generar propuestas y proyectos que permiten seguir mejorando su infraestructura de riego, su organización interna y la proyección productiva de sus integrantes. • Integrada: Se caracteriza por haber desarrollado, además de todo lo anterior, lazos efectivos con los servicios estatales y privados pertinentes, garantizando así, para todos sus integrantes, un aprovechamiento óptimo de las aguas a su disposición mediante un desarrollo productivo competitivo basado en la agricultura de riego.

c3) Subcriterio 2.3.3: Implicancias Políticas

Percepción del costo político o efectos negativos para las autoridades locales, regionales o nacionales, además del perjuicio para otras políticas aplicadas en la zona del proyecto debido a la elección de una alternativa de solución en particular. Un alto costo político podría repercutir negativa en el apoyo, por ejemplo, la obtención de fondos para las siguientes etapas de estudio o construcción del proyecto, además de un posible aumento del rechazo al mismo por parte de un sector de la comunidad adherente a una autoridad en particular.

Los niveles de intensidad propuestas para este subcriterios son los siguientes:

Tabla 6-8: Niveles de intensidad para medir Implicancias Políticas del Proyecto.

Nivel Intensidad	Significado
SI	Existe algún grado significativo de reticencia o rechazo de autoridades locales, regionales o nacionales al proyecto, el que además entra en conflicto con otras políticas públicas aplicadas en el territorio.
NO	Existe apoyo de las autoridades locales, regionales y nacionales al proyecto, el que además no perjudica o incluso potencia otras políticas públicas aplicadas en el territorio.

6.3.2.4 Criterio 3: Desarrollo

Implicancias en las características socioeconómicas de las comunidades y evolución de sectores productivos distintos al agrícola, lo que finalmente repercute en la calidad de vida de las personas.

a) Subcriterio 3.1: Otros Sectores

Externalidades del proyecto en actividades económicas distintas a la agrícola o agroindustrial.

a1) Subcriterio 3.1.1: Generación Hidroeléctrica

Nivel de energía eléctrica producido por el proyecto.

Sus niveles de intensidad son de tipo continuo según la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Energía Generada } \left(\frac{MWh}{\text{año}}\right)}{\text{Vol. Agua Riego Distribuida } \left(\frac{Hm^3}{\text{año}}\right)}$$

a2) Subcriterio 3.1.2: Turismo

Existencia de beneficios turísticos asociados al proyecto.

Para este subcriterio se definieron los siguientes niveles de intensidad:

Tabla 6-9: Niveles de intensidad para medir Beneficios en el Sector Turismo.

Nivel Intensidad	Significado
SI	Se esperan potenciales beneficios en el sector turismo por el uso multipropósito de las obras de riego. Para ello se requiere 1) conocer la demanda de agua de proyectos turísticos en la zona y la existencia o viabilidad de constituir, comprar o arrendar de derechos de aprovechamiento de aguas para estos fines o 2) Si las obras permiten son por sí mismo un atractivo turístico, como puede ser, por ejemplo, el lago de un embalse.
NO	No se esperan beneficios en el sector turismo por el uso multipropósito de las obras de riego.

a3) *Subcriterio 3.1.3: Agua Potable*

Suministro de agua potable producido por el proyecto.

Sus niveles de intensidad son de tipo continuo según la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Vol. Agua Potable } \left(\frac{\text{Hm}^3}{\text{año}}\right)}{\text{Vol. Agua Riego Distribuida } \left(\frac{\text{Hm}^3}{\text{año}}\right)}$$

a4) *Subcriterio 3.1.4: Minería*

Existencia beneficios en el sector minero asociados al proyecto.

Los niveles de intensidad, de tipo binario, se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 6-10: Niveles de intensidad para medir Beneficios en el Sector Minería.

Nivel Intensidad	Significado
SI	Se esperan potenciales beneficios en el sector minero por el uso multipropósito de las obras de riego. Para ello se requiere conocer la demanda de agua de proyectos mineros en la zona y la existencia o viabilidad de constituir, comprar o arrendar de derechos de aprovechamiento de aguas para estos fines.
NO	No se esperan beneficios en el sector minero por el uso multipropósito de las obras de riego.

b) *Subcriterio 3.2: Empleo*

Magnitud de la generación de empleo directo en las obras del proyecto o en la actividad agrícola beneficiada.

b1) Subcriterio 3.2.1: Construcción

Generación de empleos durante la construcción de las obras. Se mide según el número de empleos generados al año.

b2) Subcriterio 3.2.2: Operación

Generación de empleos durante la operación de las obras. Se mide según el número de empleos generados al año.

b3) Subcriterio 3.2.3: Agrícola y Agroindustrial

Generación de empleo en la actividad agrícola y agroindustrial directamente producido por el proyecto. Se mide según el número de empleos generados al año.

c) Subcriterio 3.3: Pobreza

Nivel de pobreza comunal y que se pretende eventualmente disminuir con el proyecto. Se mide según el porcentaje de pobreza con respecto a la población total de la comuna.

6.3.2.5 Criterio 4: Ambiental

Factores que afectan negativamente a las especies, recursos naturales y los ciclos biológicos y físicos del ecosistema. Son los efectos sin considerar las medidas de mitigación, compensación o reparación.

Para todos los subcriterios ambientales, la significancia de los efectos del proyecto se definió según lo señalado en el Artículo 11 de la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente (1994) y los Artículos 5 a 10 del Decreto 40 sobre el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (2013), los que describen los tipos de impactos que comprometen la realización de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para un proyecto ingresado al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

a) Subcriterio 4.1: Efectos Directos

Efectos ambientales negativos en el área de influencia directa del proyecto.

a1) Subcriterio 4.1.1: Medio Físico

Efectos en la cantidad y calidad de aguas, suelos y aire, además variaciones de otros factores como el clima, ruido, geomorfología y riesgo geológicos.

Tanto los efectos en la etapa de construcción (Subcriterio 4.1.1.1) como también en la etapa de operación (Subcriterio 4.1.1.2) se miden con los siguientes niveles de intensidad:

Tabla 6-11: Niveles de intensidad para medir Efectos Ambientales en el Medio Físico en Etapas de Construcción y Operación.

Nivel Intensidad	Significado
Significativo	Se observa alguno de los efectos indicados en el Artículo 11 de la Ley de Bases del Medio Ambiente o en los Artículo 5 a 10 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
No Significativo	No se observa alguno de los efectos indicados en el Artículo 11 de la Ley de Bases del Medio Ambiente o en los Artículo 5 a 10 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

a2) Subcriterio 4.1.2: Medio Biótico

Efectos en la flora, fauna, biodiversidad y paisaje.

Al igual que para el medio físico, los efectos en las etapas de construcción (Subcriterio 4.1.2.1) y operación (Subcriterio 4.1.2.2) se miden con los siguientes niveles de intensidad:

Tabla 6-12: Niveles de intensidad para medir Efectos Ambientales en el Medio Biótico en Etapas de Construcción y Operación.

Nivel Intensidad	Significado
Significativo	Se observa alguno de los efectos indicados en el Artículo 11 de la Ley de Bases del Medio Ambiente o en los Artículo 5 a 10 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
No Significativo	No se observa alguno de los efectos indicados en el Artículo 11 de la Ley de Bases del Medio Ambiente o en los Artículo 5 a 10 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

a3) Subcriterio 4.1.3: Medio Social-Construido

Efectos sobre las construcciones, sitios patrimoniales, modos de vida y aspectos demográficos.

En la Tabla 6-13 se presentan los efectos en las etapas de construcción (Subcriterio 4.1.3.1) y operación (Subcriterio 4.1.3.2):

Tabla 6-13: Niveles de intensidad para medir Efectos Ambientales en el Medio Social Construido en Etapas de Construcción y Operación.

Nivel Intensidad	Significado
Significativo	Se observa alguno de los efectos indicados en el Artículo 11 de la Ley de Bases del Medio Ambiente o en los Artículo 5 a 10 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
No Significativo	No se observa alguno de los efectos indicados en el Artículo 11 de la Ley de Bases del Medio Ambiente o en los Artículo 5 a 10 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

b) Subcriterio 4.2: Efectos Indirectos

Efectos negativos producidos en forma indirecta por el proyecto, principalmente relacionado con cambios en el balance hídrico en otras zonas geográficas. Es importante destacar que, si bien, los sistemas hídricos se encuentran interconectados y una modificación el régimen hídrico siempre tendrá consecuencias sobre todo el sistema, este criterio busca identificar efectos negativos significativos en los medios físico, biótico y social-construido, tales como la disminución del suministro para consumo humano, pérdida de cultivos o afectación en áreas naturales.

Los niveles de intensidad asociados a este subcriterio se presentan en la Tabla 6-14:

Tabla 6-14: Niveles de intensidad para medir Efectos Ambientales Indirectos del Proyecto.

Nivel Intensidad	Significado
Significativo	Se prevén potenciales efectos indicados en el Artículo 11 de la Ley de Bases del Medio Ambiente o en los Artículo 5 a 10 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en otras zonas geográficas por cambios en el balance hídrico generados por el proyecto.
No Significativo	Se prevén potenciales efectos indicados en el Artículo 11 de la Ley de Bases del Medio Ambiente o en los Artículo 5 a 10 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en otras zonas geográficas por cambios en el balance hídrico generados por el proyecto.

6.3.3 Identificación de Universo de Alternativas

El nivel inferior del modelo jerárquico corresponde a las alternativas de proyectos de infraestructura de riego, cuyo origen se diferencia con respecto al problema de decisión a resolver:

- **Selección:** Alternativas de proyectos propuestas dentro de estudios a nivel de prefactibilidad y factibilidad específicos llevados a cabo por la CNR y DOH, respectivamente.
- **Priorización:** Alternativas de proyectos que provienen del MIDESO con su respectiva recomendación técnico-económica. Son iniciativas que ya fueron seleccionadas en estudios a nivel de prefactibilidad y factibilidad específicos.

Tal como se mencionó anteriormente, las normas para la formulación y presentación de proyectos son publicadas por el MIDESO, basándose en estudios metodológicos generales y específicos propios y manuales elaborados por el Consejo de Ministros de la CNR, los cuales han recopilado información de diversos proyectos realizados por la misma CNR, DOH y otras publicaciones académicas.

En este modelo, cada alternativa es evaluada de manera individual, y no a través de la comparación pareada entre ellas. No obstante, tal como se señala en el Acápite 6.4.4.2., el puntaje de algunos subcriterios terminales para una alternativa particular fue determinado en relación con las estadísticas o indicadores del resto de las alternativas evaluadas.

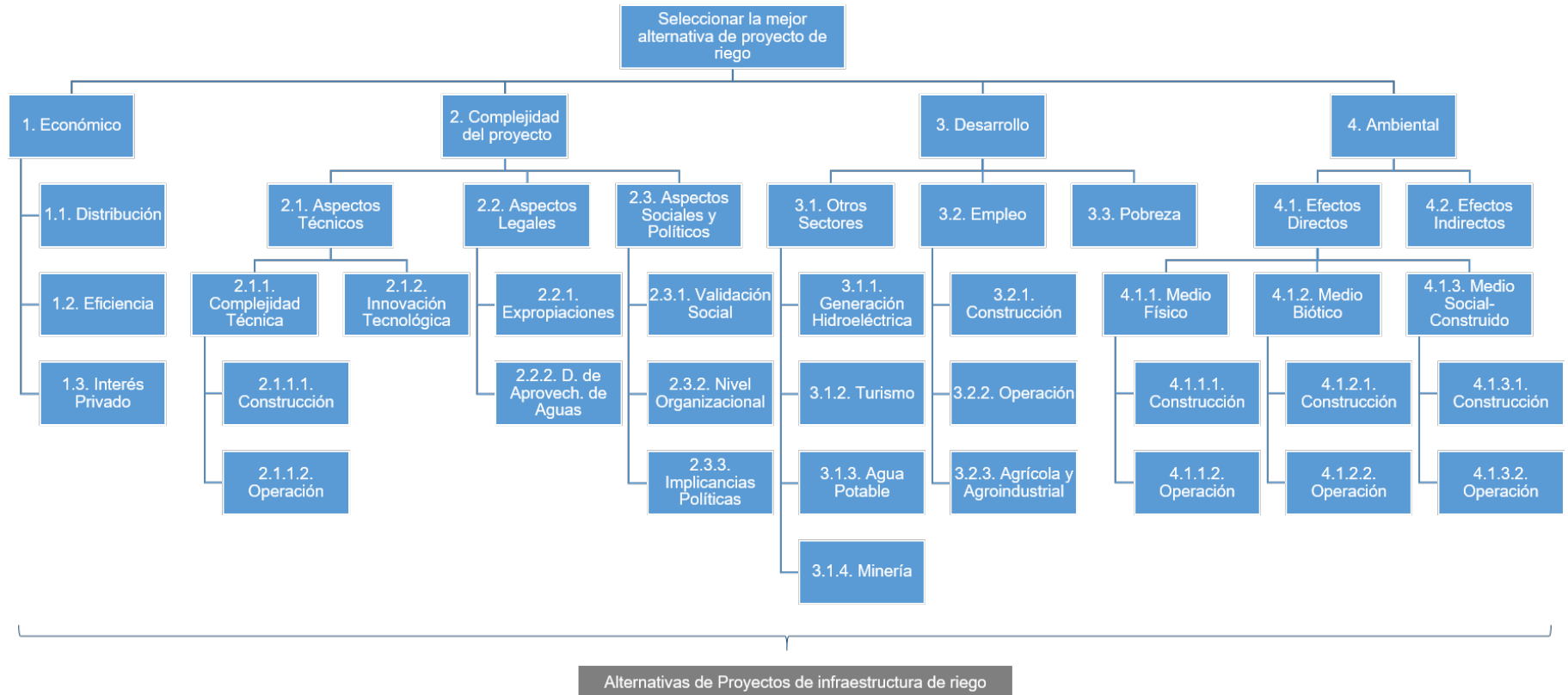
6.3.4 Jerarquía del Problema

En la Tabla 6-15 se presenta el modelo jerárquico que contiene los criterios y subcriterios ordenados por nivel para resolver el problema de decisión de seleccionar la mejor alternativa de un proyecto de infraestructura de riego. Además, en la Ilustración 6-1 se muestra su representación gráfica. Como ya se dijo anteriormente, este modelo será utilizado en forma complementaria para priorizar alternativas dentro de una cartera de proyectos.

Tabla 6-15: Modelo jerárquico de decisión propuesto.

Foco - Objetivo	Criterios Estratégicos		Subcriterios (Nivel 2)		Subcriterios (Nivel 3)		Subcriterios (Nivel 4)		Alternativas			
Seleccionar la mejor alternativa de proyecto de infraestructura de riego.	1.	Económico	1.1.	Distribución					Proyecto de infraestructura de riego.			
			1.2.	Eficiencia								
			1.3.	Interés Privado								
	2.	Complejidad del Proyecto	2.1.	Aspectos Técnicos	2.1.1.	Complejidad Técnica	2.1.1.1.	Construcción				
					2.1.2.	Innovación Tecnológica	2.1.1.2.	Operación				
			2.2.	Aspectos Legales	2.2.1.	Expropiaciones						
					2.2.2.	Derechos de Aprovechamiento de Aguas						
			2.3.	Aspectos Sociales y Políticos	2.3.1.	Validación Social						
					2.3.2.	Nivel Organizacional						
					2.3.3.	Implicancias Políticas						
			3.	Desarrollo	3.1.	Otros Sectores	3.1.1.	Generación Hidroeléctrica				
							3.1.2.	Turismo				
	3.1.3.	Agua Potable										
	3.1.4.	Minería										
	3.2.	Empleo			3.2.1.	Construcción						
					3.2.2.	Operación						
					3.2.3.	Agrícola y Agroindustrial						
	3.3.	Pobreza										
	4.	Ambiental	4.1.	Efectos Directos	4.1.1.	Medio Físico	4.1.1.1.	Construcción				
							4.1.1.2.	Operación				
4.1.2.					Medio Biótico	4.1.2.1.	Construcción					
			4.1.2.2.	Operación								
4.1.3.			Medio Social-Construido	4.1.3.1.	Construcción							
	4.1.3.2.	Operación										
4.2.	Efectos Indirectos											

Ilustración 6-1: Representación gráfica modelo jerárquico de decisión propuesto.



6.4 Determinación de Ponderadores

6.4.1 Recolección de información y Participantes

Para la determinación de los ponderadores de los subcriterios y los niveles de intensidad se realizaron entrevistas presenciales, en la que participaron ocho actores relacionados con el desarrollo de proyectos de infraestructura de riego. Dado que la mayoría de los entrevistados prefirió no ser mencionado en el presente estudio, se decidió asignar a cada una identificación en relación al tipo de actor que representa. Los entrevistados se clasifican de la siguiente forma:

- **Funcionario Público 1 y 2:** Ambos actores trabajan en la coordinación de proyectos de este tipo en la CNR y DOH, en las distintas etapas de su ciclo de vida. Son encargados de revisar y aprobar los informes técnicos y recomendar en primera instancia las alternativas seleccionadas a los niveles superiores de decisión
- **Consultor 1,2 y 3:** Los entrevistados de este grupo poseen amplia experiencia en el desarrollo de proyectos de riego extra e intraprediales e intervienen en los diagnósticos del territorio, selección de sitios y tipos de obras y en la evaluación de las alternativas.
- **Dirigente de Organización de Usuario de Aguas 1,2 y 3:** Representan a los potenciales beneficiados por los proyectos y los afectados por las externalidades negativas de los mismos. Por ley les corresponde aprobar o rechazar la construcción de los proyectos en proporción a los derechos de aprovechamiento de aguas que poseen. Además, son importantes fuente de información sobre las características multidimensionales de los territorios. En este caso, los actores entrevistados participan permanentemente participan en instancia de consulta y decisión a nivel provincial y regional (mesas del agua).

El cuestionario de entrevista consistió en una planilla formato Excel compuesta de matrices pareadas divididas en dos secciones:

- La primera sección se enfoca en conocer las importancias relativas entre los diversos grupos de criterios del modelo jerárquico.
- La segunda sección tiene como objetivo conocer las ponderaciones que el entrevistado asigna a los niveles de intensidad de los subcriterios terminales. Se excluye del cuestionario la determinación de ponderadores para subcriterios con variables binarias o basados en estadísticas o indicadores de tipo continuo.

Las entrevistas se realizaron entre el 4 y el 25 de noviembre del año 2015 de manera presencial, respaldando de manera digital las matrices resultantes.

6.4.2 Integración de Juicios

Los resultados iniciales obtenidos de las entrevistas corresponden a las matrices de comparaciones pareadas para determinar los ponderadores de los criterios y niveles de intensidades de cada participante.

Para integrar los juicios individuales y obtener los valores finales se utilizó, para cada matriz, la media geométrica de los juicios, el cuál es el estadígrafo más utilizado en este tipo de análisis (Saatv, 2000). La expresión matemática es la siguiente:

$$A_{ij} = \sqrt[n]{a_{ij}^1 * a_{ij}^2 * \dots * a_{ij}^n}$$

Donde

n = número total de participantes, en este caso ocho entrevistados.

a_{ij}^k = Valor de la celda en la fila i y columna j correspondiente al participante $k=1;2;\dots;n$.

A_{ij} = Valor final de la celda en la fila i y columna j de la matriz integrada.

Es importante destacar que, tanto para las matrices individuales como para las integradas, se verificó el cumplimiento de la consistencia de los juicios por medio de la Relación de Consistencia, cuya expresión fue descrita anteriormente.

6.4.3 Ponderadores de los Criterios

6.4.3.1 Ponderadores Locales

A continuación se presentan las matrices de comparación pareada integradas de los juicios de los participantes para cada criterio y subcriterio definido, junto con el Vector Propio respectivo, que corresponde a la ponderación de local cada criterio dentro del grupo evaluado. Además, se presenta la Relación de Consistencia obtenida.

Cabe recordar que en una matriz de $n \times n$, donde n es el número de variables comparadas, el valor de cada celda corresponde a la importancia del criterio de la fila con respecto al criterio de la columna.

a) Criterios Estratégicos

La ponderación de los criterios estratégicos en relación al foco del modelo jerárquico se calculó en base a la siguiente matriz integrada de 4×4 :

Tabla 6-16: Matriz de comparación entre criterios respecto al Foco del modelo jerárquico.

Criterios		1.	2.	3.	4.
		Económico	Complejidad del Proyecto	Desarrollo	Ambiental
1.	Económico	1,000	3,877	2,488	2,985
2.	Complejidad del Proyecto	0,258	1,000	0,497	0,565
3.	Desarrollo	0,402	2,013	1,000	1,268
4.	Ambiental	0,335	1,769	0,789	1,000

RC = 0,4%

Vector Propio = (0,497 ; 0,111 ; 0,215 ; 0,177)

b) Criterio 1: Económico

El criterio Económico se desglosa en una matriz conformada por sus tres subcriterios:

Tabla 6-17: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al ámbito Económico.

Criterios		1.1.	1.2.	1.3.
		Número de Predios/Aporte Estatal	VAN/Volumen de agua	VAN/Aporte del Estado
1.1.	Número de Predios/Aporte Estatal	1,000	1,184	1,625
1.2.	VAN/Volumen de Agua	0,845	1,000	1,732
1.3.	VAN/Aporte del Estado	0,615	0,577	1,000

RC = 0,6%

Vector Propio = (0,403 ; 0,368 ; 0,229)

c) Criterio 2. Complejidad del proyecto

En el caso de este criterio en primer lugar se obtienen las ponderaciones para sus subcriterios principales (nivel 2), mediante una matriz integrada de 3 x 3:

Tabla 6-18: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al ámbito de Complejidad del proyecto.

Criterios		2.1.	2.2.	2.3.
		Aspectos Técnicos	Aspectos Legales	Aspectos Sociales y Políticos
2.1.	Aspectos Técnicos	1,000	1,251	1,189
2.2.	Aspectos Legales	0,799	1,000	1,000
2.3.	Aspectos Sociales y Políticos	0,841	1,000	1,000

RC = 0,0%
 Vector Propio = (0,379 ; 0,308 ; 0,313)

Además, debido a la estructura del criterio, es necesario estimar las ponderaciones de los subcriterios de los niveles 3 y 4:

Subcriterio 2.1. Aspectos Técnicos

Tabla 6-19: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a los Aspectos Técnicos.

Criterios		2.1.1.	2.1.2.
		Complejidad Técnica	Innovación Tecnológica
2.1.1.	Complejidad Técnica	1,000	2,310
2.1.2.	Innovación Tecnológica	0,433	1,000

RC = 0,1%
 Vector Propio = (0,698 ; 0,302)

Subcriterio 2.1.1. Complejidad Técnica

Tabla 6-20: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a la Complejidad Técnica.

Criterios		2.1.1.1.	2.1.1.2.
		Construcción	Operación
2.1.1.1.	Construcción	1,000	2,258
2.1.1.2.	Operación	0,443	1,000

RC = 0,1%
 Vector Propio = (0,693 ; 0,307)

Subcriterio 2.2. Aspectos Legales

Tabla 6-21: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al subcriterio 2.2. Aspectos Legales.

Criterios		2.2.1.	2.2.2.
		Expropiaciones	D. Aprovechamiento de Aguas
2.2.1.	Expropiaciones	1,000	0,570
2.2.2.	D. Aprovechamiento de Aguas	1,755	1,000

RC = 0,1%
 Vector Propio = (0,363 ; 0,637)

Subcriterio 2.3. Aspectos Sociales y Políticos

Tabla 6-22: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a los Aspectos Sociales y Políticos.

Criterios		2.3.1.	2.3.2.	2.3.3.
		Validación Social	Nivel Organizacional	Implicancias Políticas
2.3.1.	Validación Social	1,000	3,303	3,952
2.3.2.	Nivel Organizacional	0,303	1,000	1,076
2.3.3.	Implicancias Políticas	0,253	0,929	1,000

RC = 0,1%
 Vector Propio = (0,643 ; 0,188 ; 0,169)

d) Criterio 3. Desarrollo

Las ponderaciones de los subcriterios de nivel 2 que componen este criterio se obtuvieron mediante una matriz integrada de 3 x 3:

Tabla 6-23: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a los Aspectos Sociales y Políticos.

Criterios		3.1.	3.2.	3.3.
		Otros Sectores	Empleo	Pobreza
3.1.	Otros Sectores	1,000	0,401	0,704
3.2.	Empleo	2,495	1,000	1,391
3.3.	Pobreza	1,421	0,719	1,000

RC = 0,6%
 Vector Propio = (0,206 ; 0,477 ; 0,317)

En forma análoga al criterio estratégico anterior, se debió calcular las ponderaciones de los subcriterios de nivel 3:

Subcriterio 3.1. Otros Sectores

Tabla 6-24: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a Beneficios en Otros Sectores.

Criterios		3.1.1.	3.1.2.	3.1.3.	3.1.4.
		Generación Hidroeléctrica	Turismo	Agua Potable	Minería
3.1.1.	Generación Hidroeléctrica	1,000	1,530	0,709	3,069
3.1.2.	Turismo	0,654	1,000	0,461	2,590
3.1.3.	Agua Potable	1,411	2,167	1,000	4,173
3.1.4.	Minería	0,326	0,386	0,240	1,000

RC = 0,4%
 Vector Propio = (0,293 ; 0,205 ; 0,411 ; 0,091)

Subcriterio 3.2. Empleo

Tabla 6-25: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Empleo.

Criterios		3.2.1.	3.2.2.	3.2.3.
		Construcción	Operación	Agrícola y Agroindustrial
3.2.1.	Construcción	1,000	1,751	0,286
3.2.2.	Operación	0,571	1,000	0,214
3.2.3.	Agrícola y Agroindustrial	3,491	4,679	1,000

RC = 0,8%
 Vector Propio = (0,208 ; 0,13 ; 0,663)

e) Criterio 4. Ambiental

Finalmente, para el criterio Ambiental se obtuvieron los ponderados para los subcriterios de nivel 2, 3 y 4:

Tabla 6-26: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Empleo.

Criterios		4.1.	4.2.
		Efectos Directos	Efectos Indirectos
4.1.	Efectos Directos	1,000	3,201
4.2.	Efectos Indirectos	0,312	1,000

RC = 0,1%
 Vector Propio = (0,762 ; 0,238)

Subcriterio 4.1. Efectos Directos

Tabla 6-27: Matriz de comparación entre subcriterios respecto a los Efectos Ambientales Directos.

Criterios		4.1.1.	4.1.2.	4.1.3.
		Medio Físico	Medio Biótico	Medio Social- Construido
4.1.1.	Medio Físico	1,000	1,286	1,207
4.1.2.	Medio Biótico	0,777	1,000	0,951
4.1.3.	Medio Social- Construido	0,829	1,052	1,000

RC = 0,0%
 Vector Propio = (0,384 ; 0,3 ; 0,317)

Subcriterio 4.1.1. Medio Físico

Tabla 6-28: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Medio Físico.

Criterios		4.1.1.1.	4.1.1.2.
		Construcción	Operación
4.1.1.1.	Construcción	1,000	2,624
4.1.1.2.	Operación	0,381	1,000

RC = 0,1%
 Vector Propio = (0,724 ; 0,276)

Subcriterio 4.1.2. Medio Biótico

Tabla 6-29: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Medio Biótico.

Criterios		4.1.2.1.	4.1.2.2.
		Construcción	Operación
4.1.2.1.	Construcción	1,000	2,495
4.1.2.2.	Operación	0,401	1,000

RC = 0,1%
 Vector Propio = (0,714 ; 0,286)

Subcriterio 4.1.3. Medio Social-Construido

Tabla 6-30: Matriz de comparación entre subcriterios respecto al Medio Social-Construido.

Criterios		4.1.3.1.	4.1.3.2.
		Construcción	Operación
4.1.3.1.	Construcción	1,000	2,495
4.1.3.2.	Operación	0,401	1,000

RC = 0,1%
 Vector Propio = (0,714 ; 0,286)

Finalmente, un aspecto destacado de las matrices de comparación pareada es que todas RC con valores menores a 10%, por lo cual se consideran que los juicios son consistentes. Además del buen nivel de comprensión de los criterios y el método AHP por parte de los participantes, la modalidad presencial de las entrevistas facilitó la resolución de dudas, por lo que se presume que pudo haber incidido en la consistencia de los juicios individuales (ver Anexo A).

6.4.3.2 Ponderadores Globales

Los ponderadores globales corresponden a la influencia que los criterios y subcriterios posee sobre el Foco del modelo, es decir, el objetivo general, a diferencia de los ponderadores locales, los cuales muestran la importancia relativa con respecto al criterio de nivel inmediatamente superior.

Para obtener este valor se debe multiplicar el ponderador local del criterio por el ponderador global del criterio de nivel superior que lo contiene:

$$Ponderador\ Global = Ponderador\ Local * Ponderador\ Global\ Criterio\ Contenedor$$

A continuación, se presenta un resumen con los ponderadores globales y locales para criterio y subcriterio del modelo jerárquico definido.

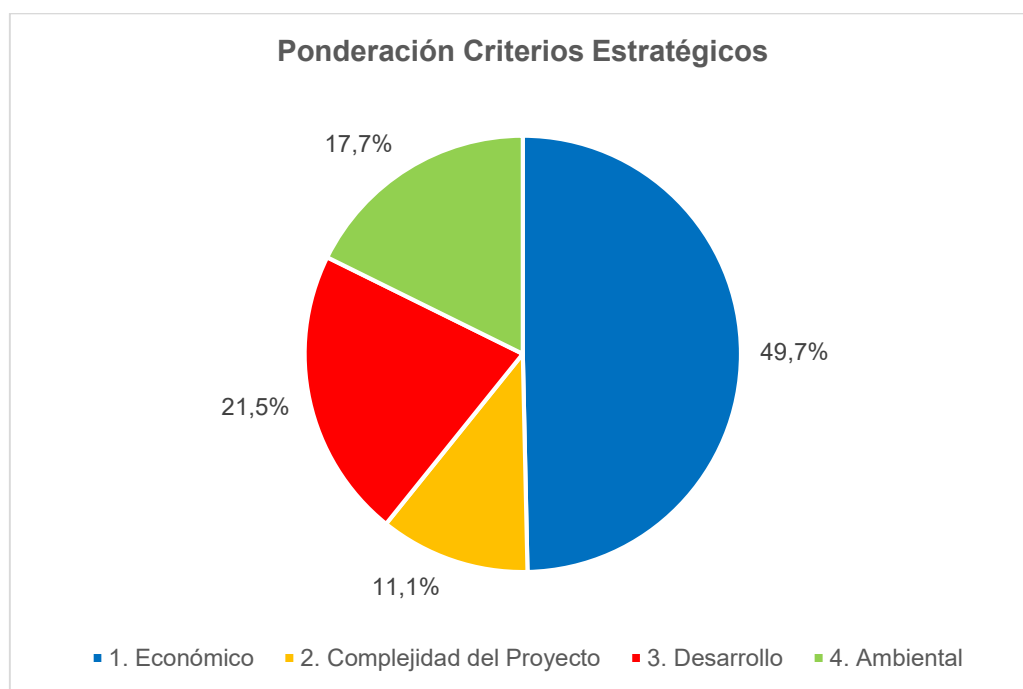
Tabla 6-31: Ponderadores globales y locales para los criterios del modelo jerárquico de decisión.

Criterios Estratégicos				Subcriterios (Nivel 2)				Subcriterios (Nivel 3)				Subcriterios (Nivel 4)							
Tipo		P.L.	P.G.	Tipo		P.L.	P.G.	Tipo		P.L.	P.G.	Tipo		P.L.	P.G.				
1.	Económico	0,497	0,497	1.1.	Distribución	0,403	0,200												
				1.2.	Eficiencia	0,368	0,183												
				1.3.	Interés Privado	0,229	0,114												
2.	Complejidad del Proyecto	0,111	0,111	2.1.	Aspectos Técnicos	0,379	0,042	2.1.1.	Complejidad Técnica	0,698	0,029	2.1.1.1.	Construcción	0,693	0,020				
								2.1.2.	Innovación Tecnológica	0,302	0,013	2.1.1.2.	Operación	0,307	0,009				
				2.2.	Aspectos Legales	0,308	0,034	2.2.1.	Expropiaciones	0,363	0,012								
								2.2.2.	Derechos de Aprovechamiento de Aguas	0,637	0,022								
				2.3.	Aspectos Sociales y Políticos	0,313	0,035	2.3.1.	Validación Social	0,643	0,022								
								2.3.2.	Nivel Organizacional	0,188	0,007								
								2.3.3.	Implicancias Políticas	0,169	0,006								
				3.	Desarrollo	0,215	0,215	3.1.	Otros Sectores	0,206	0,044	3.1.1.	Generación Hidroeléctrica	0,293	0,013				
												3.1.2.	Turismo	0,205	0,009				
3.1.3.	Agua Potable	0,411	0,018																
3.1.4.	Minería	0,091	0,004																
3.2.	Empleo	0,477	0,103					3.2.1.	Construcción	0,208	0,021								
								3.2.2.	Operación	0,130	0,013								
								3.2.3.	Agrícola y Agroindustrial	0,663	0,068								
3.3.	Pobreza	0,317	0,068																
4.	Ambiental	0,177	0,177					4.1.	Efectos Directos	0,762	0,135	4.1.1.	Medio Físico	0,384	0,052	4.1.1.1.	Construcción	0,724	0,037
				4.1.1.2.	Operación	0,276	0,014												
				4.1.2.	Medio Biótico	0,300	0,040					4.1.2.1.	Construcción	0,714	0,029				
				4.1.2.2.								Operación	0,286	0,012					
				4.1.3.	Medio Social-Constructuido	0,317	0,043	4.1.3.1.	Construcción	0,714	0,030								
								4.1.3.2.	Operación	0,286	0,012								
				4.2.	Efectos Indirectos	0,238	0,042												

A nivel de los criterios estratégicos, la importancia relativa del Criterio “Económico” llega al 49,7%, seguido por “desarrollo” con un 21,5%, luego por “ambiental” (17,7%) y “Complejidad del Proyecto” (11,1%). Estos resultados se explican de manera general por una concepción más tradicional de los proyectos por parte de los entrevistados, los que si bien reconocen la importancia de los demás criterios, asumen que en etapas futuras del ciclo de vida del proyecto, la mayor parte de las limitantes o efectos negativos del proyectos pueden ser superados con una mayor inversión en reacondicionamiento del diseño, obras de mitigación, saneamiento de propiedades, procesos de negociación y otros, lo que se verá reflajado de todas formas en la evaluación económica.

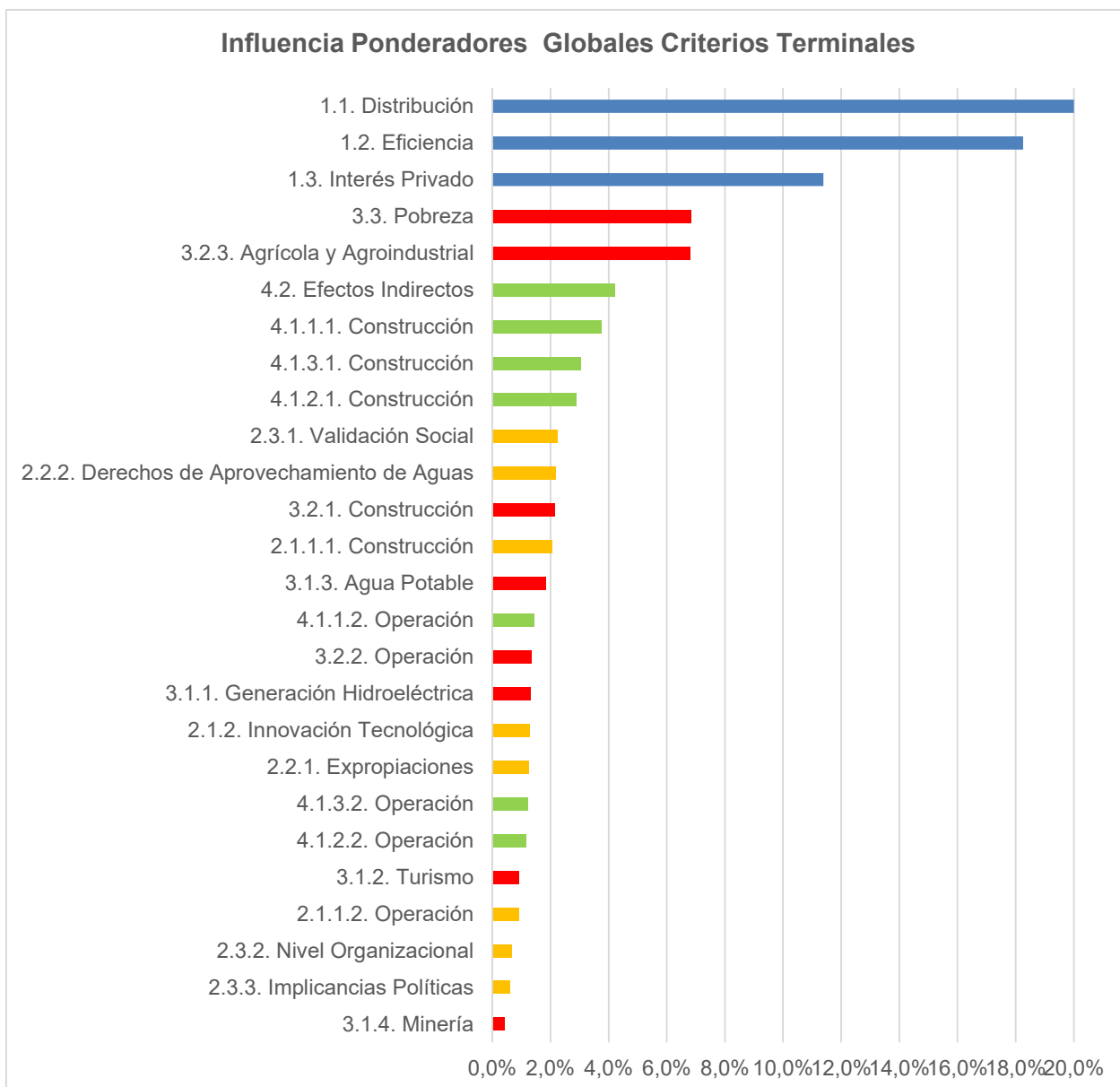
No obstante la preeminencia del criterio económico, a partir de los resultados anteriores es interesante destacar que si un proyecto se analizara solo desde el ámbito económico se estaría omitiendo más de la mitad de la información útil para su evaluación integral.

Gráfico 6-1: Comparación Ponderadores globales criterios estratégicos.



En el otro extremo del modelo jerárquico se encuentran de los ponderadores globales de los subcriterios terminales. En este sentido, tal como se muestra en el Gráfico 6-2, los tres subcriterios económicos poseen una valoración muy superior al resto de los subcriterios, siendo el subcriterio “3.1.4. Minería” el con más baja ponderación, 50 veces menos que el subcriterio “1.1. distribución”.

Gráfico 6-2: Comparación Ponderadores globales criterios terminales.



Sin embargo, comparar los subcriterios terminales sin considerar el nivel de especificidad de éstos y el grado de descomposición de los criterios base puede generar un error de apreciación de los resultados. Por ello, resulta más adecuado analizar los resultados de los subcriterios inmediatamente subyacentes a los criterios estratégicos (segundo nivel).

En este nivel de análisis, como es de esperar, los subcriterios económicos continúan siendo los más relevantes, pero con la inclusión de manera significativa de criterios ambientales y de desarrollo. El subcriterio “1.1. Distribución” (20,0%) supera a “1.2. Eficiencia” (18,3%) como el más importante, hecho explicado por dos premisas muy arraigadas en la realización de este tipo de proyectos: La demanda constante de maximización de la cobertura de los beneficios del proyecto por parte de las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAs) beneficiadas y el interés del Estado por

soluciones de ingeniería que mejoren las condiciones del riego a una gran extensión de superficie, idealmente todo un valle, de manera de generar economías de escala en las inversiones.

Por su parte el subcriterio “1.2. Eficiencia” posee alta relevancia, debido a que el indicador que lo compone es muy explicativo de la riqueza económica generada para el país, ya que tiene íntima relación con una buena elección de la ubicación del sitio del proyecto de acumulación (embalse) o de captación y distribución de agua (red de canales), buscando optimizar las condiciones geomorfológicas, climáticas e hidrológicas del área de estudio para minimizar los costos de las obras y maximizar los beneficios agropecuarios. Este es el subcriterio más cercano a los métodos tradicionales de evaluación de proyectos, aunque en el contexto de la evaluación multicriterio, su uso exclusivo omite más del 80% de la información útil para el tomador de decisión.

El tercer subcriterio en importancia son los efectos ambientales directos de los proyectos 13,5%, aspecto que ha incrementado el interés público en el país en forma significativa en los últimos años, entre otros motivos, por una mayor conciencia general de sobre las repercusiones del desarrollo productivo en los ecosistemas aledaños, incluyendo el modo de vida sus habitantes. En el caso particular de los proyectos de riego existe una especial interés por la inundación de hábitat naturales o poblados, la expansión de la frontera agrícola, la recarga de las fuentes aguas subterráneas usadas para la agricultura y el suministro de agua potable rural y la pérdida de valor de uso y no uso que provoca el deterioro paisajístico, a pesar de la proposición de medidas de mitigación, manejo y compensación ambiental de las externalidades causadas.

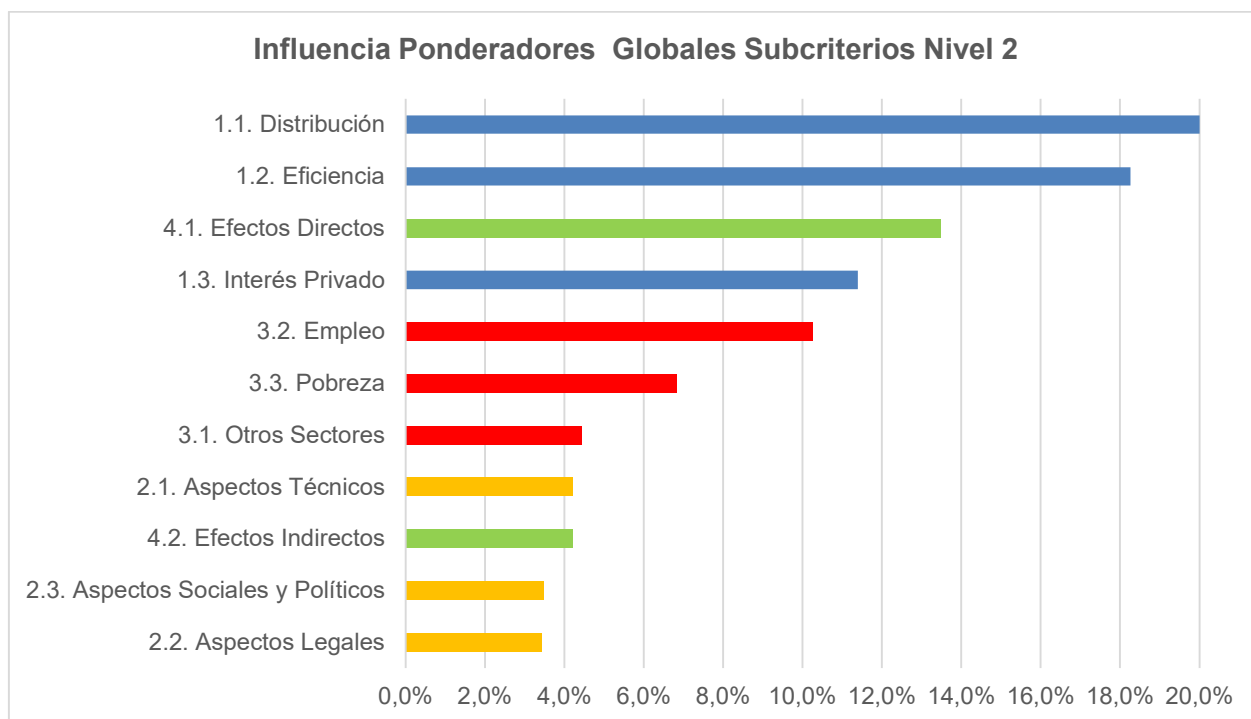
Por otra parte, el subcriterio de segundo nivel con menor valoración es “2.2.Aspectos Legales” (3,4%), debido a que, en el caso de los derechos de aprovechamiento de aguas, normalmente se realiza un análisis previo sobre su estado, priorizándose iniciativas en donde los derechos estén con un menor grado de dificultades legales. De no ser esta la situación, en los últimos años organismos tales como la CNR, DGA y CONADI han implementado programas de saneamiento, regularización y perfeccionamiento de los derechos de aprovechamiento, tanto antes como en paralelo con los proyectos de ingeniería. En relación a la dificultades de expropiación, se asume que es un aspecto solucionable en los procesos de negociación en etapas posteriores del ciclo de vida del proyecto, además que el problema se reduciría al acordar un precio adecuado de venta de terrenos.

Con una pequeña mayor ponderación, el subcriterio “2.3 Aspectos Políticos y Sociales” (3,5%) es percibido como un aspecto a ser solucionado en los procesos de participación ciudadana, destacando en estas instancias los beneficios del proyectos a los agricultores directamente involucrados. Al respecto, tanto en este subcriterio como en “2.2.Aspectos Legales” parece ser una aplicación más bien reduccionista del subcriterio, sobre todo con la evidencia de las crecientes dificultades para llevar a cabo incluso los propios estudios de proyectos como los embalses Pocuro (“Calle Larga: Preocupación por Posible Construcción de Embalse Pocuro Alto”, 2016) y La Tranca (“Embalse la Tranca: 120 Familias Perderían su Terreno”, 2018), entre otros, donde la realidad local y

los intereses de grupos directamente e indirectamente afectados por el proyecto han puesto en serio riesgo la materialización de las obras.

La ponderación del resto de los subcriterios varía de acuerdo a su consideración por parte de los encuestados como un aspecto subsanable en futuras etapas (ej: “2.1. aspectos técnicos”) y de su relación aparente con el objetivo principal del proyecto de riego (ej: “3.1. otros sectores, en especial minería y turismo).

Gráfico 6-3: Comparación Ponderadores globales criterios nivel 2.



6.4.4 Ponderadores de los Niveles de Intensidad

6.4.4.1 Clasificación General

Para cada uno de los subcriterios terminales es necesario determinar los ponderadores (vectores propios) para los niveles de intensidad propuestos. Para ello se han clasificado los ponderadores en concordancia con el método de cálculo del nivel de intensidad del subcriterio:

6.4.4.2 Indicadores de Tipo Continuo

Las variables que componen las estadísticas o indicadores de estos subcriterios se representan con unidades de medida distintas (Acápito 6.3.2), por lo que es necesario estandarizar dichos valores, para no sesgar el puntaje de un criterio en particular y afectar el cálculo del puntaje final de las alternativas evaluadas. Debido a que para todos los subcriterios propuestos en este grupo la condición deseada para el desarrollo del proyecto aumenta en forma directamente proporcional al valor del indicador (“más es

mejor”), se aplicó un solo tipo fórmula de estandarización, la cual es dependiente del valor del indicador del subcriterio en todas las alternativas analizadas:

$$I_s = \frac{X_{sk}}{\sum_{i=1}^n X_{si}}$$

Donde:

X_{sk} = Estadística o Indicador del subcriterio s de la alternativa K=1,2...n.

I_s = Intensidad estandarizada del subcriterio s entre 0 y 1.

6.4.4.3 Variables Binarias

En estos casos se aplicó el ponderador o vector propio 1 a la condición deseada para el desarrollo del proyecto y 0 al caso contrario.

6.4.4.4 Variables con Niveles Múltiples

Para determinar la ponderación de los niveles de intensidad de estos subcriterios se incluyó en el cuestionario una sección para la comparación pareadas en matrices de 3 x 3 (Alta, Media, Baja), para ser completada en forma análoga a la ponderación de los subcriterios, indicando la incidencia relativa de un cierto nivel con respecto a otro en este tipo de proyectos. A continuación se presentan los resultados de las matrices integradas, junto con la Relación de Consistencia y el vector propio respectiva.

Subcriterio 2.1.1.1. Construcción

Tabla 6-32: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Complejidad Técnica en la Construcción.

Intensidad	Alta	Media	Baja
Alta	1,000	0,228	0,169
Media	4,394	1,000	0,423
Baja	5,931	2,363	1,000

RC = 3,6%

Vector Propio = (0,085 ; 0,309 ; 0,606)

Subcriterio 2.1.1.2. Operación

Tabla 6-33: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Complejidad Técnica en la Operación.

Intensidad	Alta	Media	Baja
Alta	1,000	0,214	0,158
Media	4,679	1,000	0,461
Baja	6,322	2,167	1,000

RC = 2,6%
Vector Propio = (0,081 ; 0,322 ; 0,597)

Subcriterio 2.1.2. Innovación Tecnológica

Tabla 6-34: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Innovación Tecnológica.

Intensidad	Alta	Media	Baja
Alta	1,000	2,486	3,528
Media	0,402	1,000	2,486
Baja	0,283	0,402	1,000

RC = 3,7%
Vector Propio = (0,581 ; 0,282 ; 0,137)

Subcriterio 2.2.1. Expropiaciones

Tabla 6-35: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Complejidad en las Expropiaciones.

Intensidad	Alta	Media	Baja
Alta	1,000	0,169	0,140
Media	5,910	1,000	0,639
Baja	7,140	1,565	1,000

RC = 0,8%
Vector Propio = (0,07 ; 0,382 ; 0,548)

Subcriterio 2.2.2. Derechos de Aprovechamiento de Aguas

Tabla 6-36: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Complejidad en los Derechos de Aprovechamiento de Aguas.

Intensidad	Alta	Media	Baja
Alta	1,000	0,123	0,115
Media	8,104	1,000	0,750
Baja	8,722	1,334	1,000

$$\text{RC} = 0,5\%$$
$$\text{Vector Propio} = (0,056 ; 0,421 ; 0,523)$$

Subcriterio 2.3.1. Validación Social

Tabla 6-37: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para la Validación Social del Proyecto.

Intensidad	Alta	Media	Baja
Alta	1,000	6,300	8,722
Media	0,159	1,000	2,060
Baja	0,115	0,485	1,000

$$\text{RC} = 1,8\%$$
$$\text{Vector Propio} = (0,78 ; 0,141 ; 0,078)$$

Subcriterio 2.3.2. Nivel Organizacional

Tabla 6-38: Matriz de comparación entre niveles de intensidad para el Nivel Organizacional de los Beneficiarios.

Intensidad	Alto	Medio	Bajo
Alto	1,000	3,952	6,474
Medio	0,253	1,000	3,040
Bajo	0,154	0,329	1,000

$$\text{RC} = 4,4\%$$
$$\text{Vector Propio} = (0,696 ; 0,216 ; 0,087)$$

Al igual que en el caso de las matrices de comparación de criterios, la RC nunca superó el 10%, por lo que los juicios se consideran consistentes.

6.4.4.5 Resumen de Ponderadores

En la Tabla 6-39 se presenta un resumen de los ponderadores de los niveles de intensidad, a partir de los cuales se determinan los puntajes de los subcriterios terminales.

Tabla 6-39: Ponderadores niveles de intensidad para criterios terminales.

Criterios Base	Criterios Terminales	Ponderador Nivel Intensidad ⁷
1. Económico	1.1. Distribución	$\frac{N^{\circ} \text{ Familias Beneficiadas}}{\text{Aporte Estatal } (\$MM)}$
	1.2. Eficiencia	$\frac{VAN (\$MM)}{\text{Vol. Agua Riego Distribuida } (\frac{Hm^3}{año})}$
	1.3. Interés Privado	$\frac{VAN (\$MM)}{\text{Aporte Estatal } (\$MM)}$
2. Complejidad del Proyecto/ 2.1. Aspectos Técnicos/ 2.1.1. Complejidad Técnica	2.1.1.1. Construcción	Alta = 0,085 ; Media = 0,309 ; Baja = 0,606
	2.1.1.2. Operación	Alta = 0,081 ; Media = 0,322 ; Baja = 0,597
2. Complejidad del Proyecto/ 2.1. Aspectos Técnicos	2.1.2. Innovación Tecnológica	Alta = 0,581 ; Media = 0,282 ; Baja = 0,137
2. Complejidad del Proyecto/ 2.2. Aspectos Legales	2.2.1. Expropiaciones	Alta = 0,07 ; Media = 0,382 ; Baja = 0,548
	2.2.2. Derechos de Aprovechamiento de Aguas	Alta = 0,056 ; Media = 0,421 ; Baja = 0,523
2. Complejidad del Proyecto/ 2.3. Aspectos Sociales y Políticos	2.3.1. Validación Social	Alta = 0,78 ; Media = 0,141 ; Baja = 0,078
	2.3.2. Nivel Organizacional	Alto = 0,696 ; Medio = 0,216 ; Bajo = 0,087
	2.3.3. Implicancias Políticas	SI = 0 ; NO = 1
3. Desarrollo/ 3.1. Otros Sectores	3.1.1. Generación Hidroeléctrica	$\frac{\text{Energía Generada } (\frac{MWh}{año})}{\text{Vol. Agua Riego Distribuida } (\frac{Hm^3}{año})}$
	3.1.2. Turismo	SI = 1 ; NO = 0
	3.1.3. Agua Potable	$\frac{\text{Vol. Agua Potable } (\frac{Hm^3}{año})}{\text{Vol. Agua Riego Distribuida } (\frac{Hm^3}{año})}$
	3.1.4. Minería	SI = 1 ; NO = 0
3. Desarrollo/ 3.2. Empleo	3.2.1. Construcción	N° Empleos Generados Anuales
	3.2.2. Operación	N° Empleos Generados Anuales
	3.2.3. Agrícola y Agroindustrial	N° Empleos Generados Anuales
3. Desarrollo	3.3. Pobreza	Pobreza Comunal (%)
4. Ambiental/ 4.1. Efectos Directos/ 4.1.1. Medio Físico	4.1.1.1. Construcción	Significativo = 0 ; No Significativo = 1
	4.1.1.2. Operación	Significativo = 0 ; No Significativo = 1
4. Ambiental/ 4.1. Efectos Directos/ 4.1.2. Medio Biótico	4.1.2.1. Construcción	Significativo = 0 ; No Significativo = 1
	4.1.2.2. Operación	Significativo = 0 ; No Significativo = 1
4. Ambiental/ 4.1. Efectos Directos/ 4.1.3. Medio Social- Construido	4.1.3.1. Construcción	Significativo = 0 ; No Significativo = 1
	4.1.3.2. Operación	Significativo = 0 ; No Significativo = 1
4. Ambiental	4.2. Efectos Indirectos	Significativo = 0 ; No Significativo = 1

⁷ Los indicadores con fórmulas se muestran en su expresión original. Para obtener el vector propio final se debe aplicar al resultado la fórmula estandarización antes señalada.

7 APLICACIÓN EN PROYECTOS ESPECÍFICOS

7.1 Definición de Proyectos y Alternativas

7.1.1 Proyecto de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección Río Aconcagua (CNR, 2012a).

El Valle de Catemu se ubica en la Comuna del mismo nombre, región de Valparaíso (Ilustración 7-1). Actualmente, la seguridad de riego para los agricultores de la zona agrícola de la comuna de Catemu, se ve comprometida por una tendencia a la inestabilidad en el trazado de los canales y las frecuentes roturas de los mismos. Existen elevadas pérdidas de agua, alrededor de 50% en la extensa conducción de los canales matrices por ladera de cerro, cuyas longitudes aproximadas corresponden a: canal Catemu Alto 46 km de largo, canal Bajo Catemu 37 km de largo y canal Pepino o Huidobro con una longitud aproximada de 22,4 km. La superficie abastecida a través del sistema de Canales descritos alcanza a las 5.680 ha aproximadamente, pero de manera deficiente.

Ilustración 7-1: Ubicación general proyecto de riego en Catemu.



Fuente: Elaboración propia a partir de CNR (2012a).

El objetivo general del proyecto fue proponer y evaluar alternativas de mejoramiento para el sistema actual de riego de la comuna de Catemu a través de la unificación de

bocatomas y multiuso de las aguas, para los canales Arriba de Catemu; Abajo de Catemu y Pepino. En forma específica, las 5 alternativas analizadas buscaban:

- Disminuir el riesgo de deslizamientos y desbordes en el sector de Puntilla Las Máquinas que pueda provocar daños a terceros en la localidad de Catemu.
- Mejoramiento del control de las aguas lluvias provenientes de las quebradas existentes que interceptan con el trazado del canal Arriba de Catemu.
- Mejoramiento en la conducción de las aguas
- Aprovechamiento de caídas de agua para la generación hidroeléctrica.

Para el presente estudio se comparan las dos alternativas priorizadas a partir del diagnóstico preliminar realizado en la Etapa 2, de seis contempladas en el estudio:

- **La Alternativa 3 (C3)** considera la conducción de las aguas de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, por medio de un canal revestido proyectado, identificado como Canal Unificado. Esta nueva conducción se proyecta sobre el trazado del canal Arriba de Catemu en dos tramos, desde el actual punto de toma Km 0,00 hasta el Km 13,7 donde se proyecta el inicio del Túnel Salesiano (incluye la ampliación del Túnel 1), y desde la salida del Túnel Salesiano (Km 18,2) hasta su fin en el Km 19,1. Además incluye la proyección del Túnel Salesiano y las obras de entrega en el Km 13,7 para el canal Abajo de Catemu y en el Km 5,95 hacia el canal Pepino.
- En el fin de su trazado, el canal Unificado, divide sus aguas en tres: una parte continúa por el canal Arriba de Catemu y una segunda parte se entrega al canal Abajo de Catemu, ambas para satisfacer la demanda de riego requerido por los regantes de dichos canales. El resto, será descargado hasta el canal Pepino a través de una tubería en presión, o un rápido de descarga, en caso de que se aproveche, o no, la caída de agua para la hidrogenación. Luego de captar la demanda de riego por el canal Pepino, el excedente de aguas de riego será finalmente trasvasado al estero Catemu a través de una restitución proyectada.
- La Alternativa 4 (C4) considera la conducción de las aguas de los canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, por medio de un canal revestido proyectado, identificado como Canal Unificado. Esta nueva conducción se proyecta sobre el trazado del canal Arriba de Catemu, desde el actual punto de toma Km 0,00 hasta el Km 16,05 (70 m aguas abajo del Túnel 2), lo que incluye la ampliación de los Túnel 1 y Túnel 2 y un tramo abovedado desde el Km 13,7 hasta el inicio del Túnel 2 ubicada en el Km 15,8. Además, incluye la obra de entrega en el Km 5,95 hacia el canal Pepino.
- En el fin de su trazado, el canal Unificado, divide sus aguas en tres: una parte continúa por el canal Arriba de Catemu y una segunda parte se entrega al canal

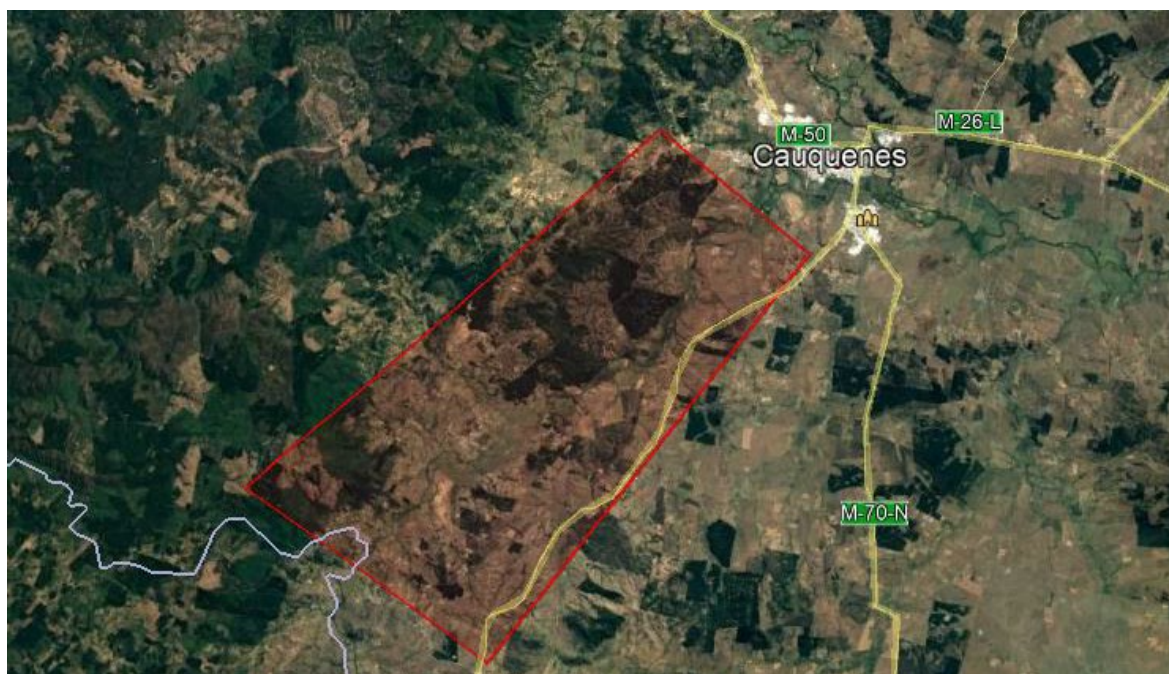
Abajo de Catemu, ambas para satisfacer la demanda de riego requerido por los regantes de dichos canales. El resto, será descargado hasta el canal Pepino a través de una tubería en presión, o un rápido de descarga, en caso de que se aproveche, o no, la caída de agua para la hidrogenación. Luego de captar la demanda de riego por el canal Pepino, el excedente de aguas de riego será trasvasado al estero Catemu a través de una restitución proyectada. Por último, se incluye el abovedamiento del canal Arriba y Abajo de Catemu desde la entrega del Canal Unificado hacia aguas abajo en el sector de puntilla Las Máquinas y las descargas de aguas lluvias en los Km 1,8 y Km 5,45.

7.1.2 Estudio de Prefactibilidad del Proyecto “Construcción de Embalse de Riego Huedque, Comuna de Cauquenes (CNR, 2012b).

La zona de estudio del proyecto (Ilustración 7-2), se encuentra al sur de la comuna de Cauquenes, región del Maule. Abarca un área de 3.000 ha aproximadamente.

Actualmente, la agricultura de esta zona se remite exclusivamente a cultivos de secano como el trigo, vid vinífera variedad “País” y empastadas naturales, todos ellos desarrollados principalmente con objetivos de autoconsumo y, en algunos casos, comerciales, pero que en general no generan ingresos suficientes como para vivir de la agricultura. No existen bocatomas ni canales de riego que extraigan actualmente agua del estero Huedque.

Ilustración 7-2: Ubicación general proyecto de riego en Huedque.



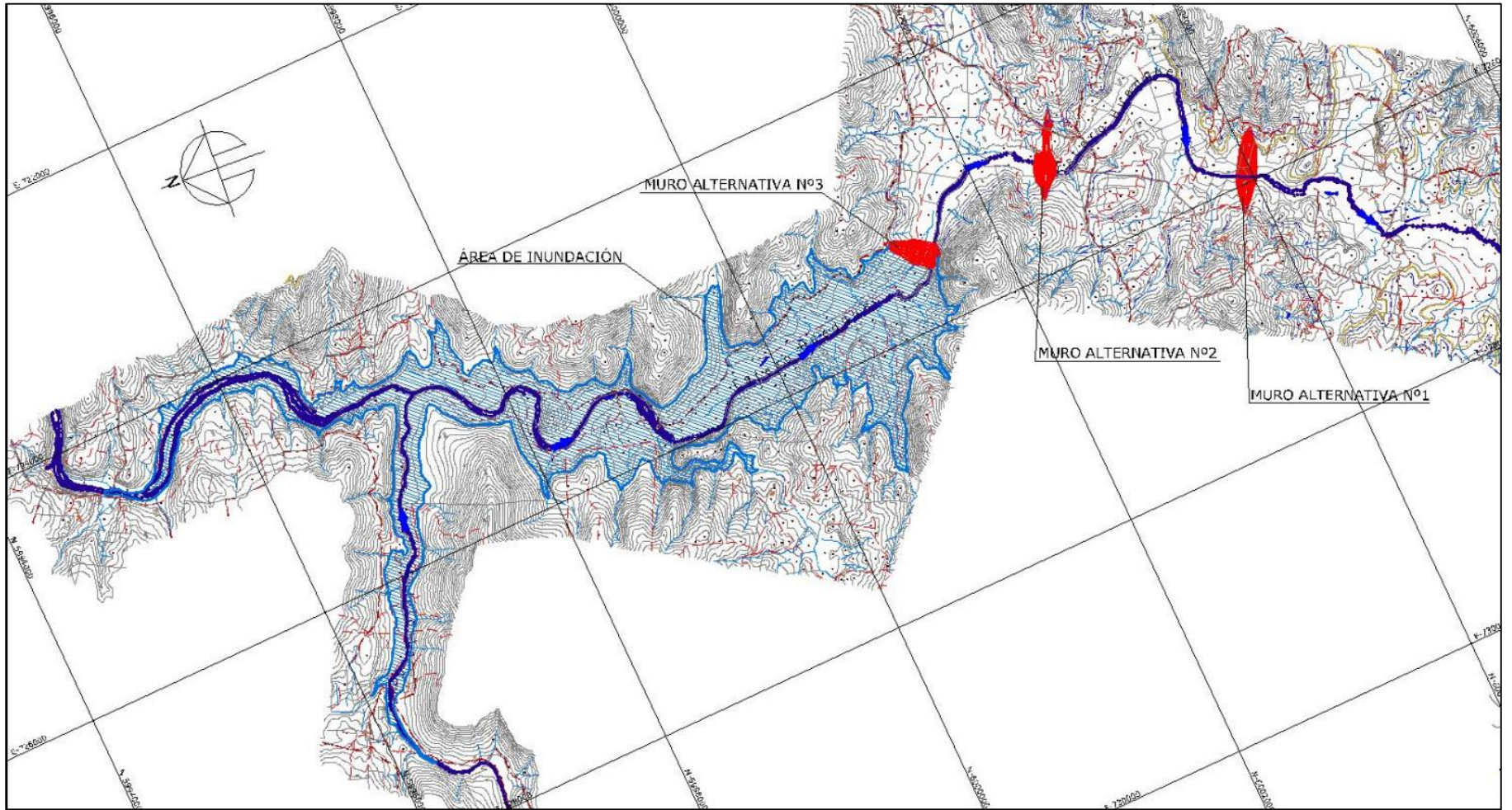
Fuente: Elaboración propia a partir de CNR (2012b).

El objetivo del proyecto fue evaluar a nivel de prefactibilidad alternativas para la implementación de un sistema de riego compuesto por un embalse y una red de canales que distribuyen el agua extraída del estero Huedque.

Las alternativas consideradas se diferencian esencialmente por la ubicación del sitio de embalse, lo que incide en que el trazado de la red de canales y el área de inundación varíen. Para el presente estudio se compararán dos de las tres alternativas propuestas por la CNR.

- **La alternativa 1 (H1)** es la ubicada más aguas arriba del área de estudio, corresponde a la ubicación identificada en el reporte técnico a nivel de perfil elaborados por la CNR.
- **La alternativa 3 (H3)** se ubica aguas abajo del puente sobre el río Huedque, en un sector donde es posible identificar algunas viviendas.

Ilustración 7-3: Alternativas proyecto de riego en Huedque.



Fuente: CNR (2012b).

7.2 Resultados

Las características de las alternativas se resumen en la Tabla 7-1 para el Proyecto Catemu y en la Tabla 7-2 en el caso del proyecto Huedque. Esta información corresponde al input para el cálculo de indicadores y de los puntajes de los criterios y subcriterios del modelo jerárquico propuesto. Además se indica la sección del estudio de donde se obtuvo la información.

Tabla 7-1: Resumen características alternativas proyecto de riego en Catemu.

Indicador	Catemu C3	Catemu C4	Fuente Información
N° de Familias Beneficiadas	644	644	Estudio Agroeconómico
VAN Social Riego (Millones de \$)	1.249	1.817	Evaluación Económica
Aporte del Estado (Millones de \$)	9.549	9.315	Programa de Participación Ciudadana
Vol. de Agua Distribuido (hm ³ /año)	40,4	40,4	Modelo de Operación
Complejidad Técnica Construcción	Media	Media	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Complejidad Técnica Operación	Baja	Baja	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Innovación Tecnológica	Baja	Baja	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Dificultad Expropiaciones	Baja	Baja	Estudio de Expropiaciones- Programa de Participación Ciudadana
Dificultad Derechos de Aprovechamiento de Aguas	Baja	Baja	Análisis Legal - Programa de Participación Ciudadana
Validación Social	Media	Media	Programa de Participación Ciudadana
Nivel Organizacional Beneficiarios	Alta	Alta	Programa de Participación Ciudadana
Implicancias Políticas Negativas	NO	NO	Programa de Participación Ciudadana
MWh/año Generados	19.074	21.113	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Existencia Beneficios Turismo	NO	NO	Evaluación Económica
Hm ³ /año Agua Potable	0	0	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Existencia Beneficios Minería	NO	NO	Evaluación Económica
Empleo en Construcción Obra	S/I	S/I	-
Empleo en Operación Obra	S/I	S/I	-
Empleo Permanente Agrícola y Agroindustrial Adicional	82	82	Estudio Agroeconómico
% Pobreza Comunal	21,1	21,1	Encuesta CASEN 2013, (CASEN 2015 no disponible para comuna de Catemu)
Efectos Negativos Medio Físico - Etapa Construcción	No Significativo	No Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Físico - Etapa Operación	No Significativo	No Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Biótico - Etapa Construcción	Significativo	Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Biótico - Etapa Operación	No Significativo	No Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Social Construido - Etapa Construcción	No Significativo	No Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Social Construido - Etapa Operación	No Significativo	No Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Indirectos	No Significativo	No Significativo	Estudios Hidrológico y de Análisis Ambiental

S/I : Sin información

Tabla 7-2: Resumen características alternativas proyecto de riego en Huedque.

Indicador	Huedque H1	Huedque H3	Fuente Información
N° de Familias Beneficiadas	313	300	Estudio Agroeconómico
VAN Social Riego (Millones de \$)	702	1.247	Evaluación Económica
Aporte del Estado (Millones de \$)	26.676	24.751	Análisis Financiero
Vol. de Agua Distribuido (hm ³ /año)	29,6	28,4	Modelo de Operación
Complejidad Técnica Construcción	Media	Media	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Complejidad Técnica Operación	Baja	Baja	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Innovación Tecnológica	Baja	Baja	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Dificultad Expropiaciones	Baja	Media	Estudio de Expropiaciones- Programa de Participación Ciudadana
Dificultad Derechos de Aprovechamiento de Aguas	Baja	Baja	Análisis Legal - Programa de Participación Ciudadana
Validación Social	Media	Media	Programa de Participación Ciudadana
Nivel Organizacional Beneficiarios	Baja	Baja	Programa de Participación Ciudadana
Implicancias Políticas Negativas	NO	NO	Programa de Participación Ciudadana
MWh/año Generados	0	0	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Existencia Beneficios Turismo	NO	NO	Evaluación Económica
Hm ³ /año Agua Potable	0	0	Estudio de Ingeniería - Diseño de Obras
Existencia Beneficios Minería	NO	NO	Evaluación Económica
Empleo en Construcción Obra	S/I	S/I	-
Empleo en Operación Obra	S/I	S/I	-
Empleo Permanente Agrícola y Agroindustrial Adicional	412	395	Estudio Agroeconómico
% Pobreza Comunal	28,4	28,4	Encuesta CASEN 2015
Efectos Negativos Medio Físico - Etapa Construcción	Significativo	Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Físico - Etapa Operación	Significativo	Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Biótico - Etapa Construcción	Significativo	Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Biótico - Etapa Operación	Significativo	Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Social Construido - Etapa Construcción	No Significativo	Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Negativos Medio Social Construido - Etapa Operación	No Significativo	No Significativo	Estudio de Análisis Ambiental - Criterios Reglamento SEIA
Efectos Indirectos	Significativo	Significativo	Estudios Hidrológico y de Análisis Ambiental

S/I: Sin información

Con la información anterior se calculó el puntaje final de cada alternativa, el que corresponde a la suma de las ponderaciones globales asignadas de acuerdo a sus niveles de intensidad en cada subcriterio. En el caso de los subcriterios de empleo en las etapas de construcción y operación de las obras (4.1.1.1. y 4.1.1.2., respectivamente) no fue posible obtener la información, por lo que se asignó un puntaje igual a cero. Además se calculó el puntaje de todos los criterios intermedios y estratégicos en base a la suma de las ponderaciones locales de los criterios que lo componen en el nivel inmediatamente inferior. Finalmente se determinó el ranking de cada alternativa del proyecto para su selección.

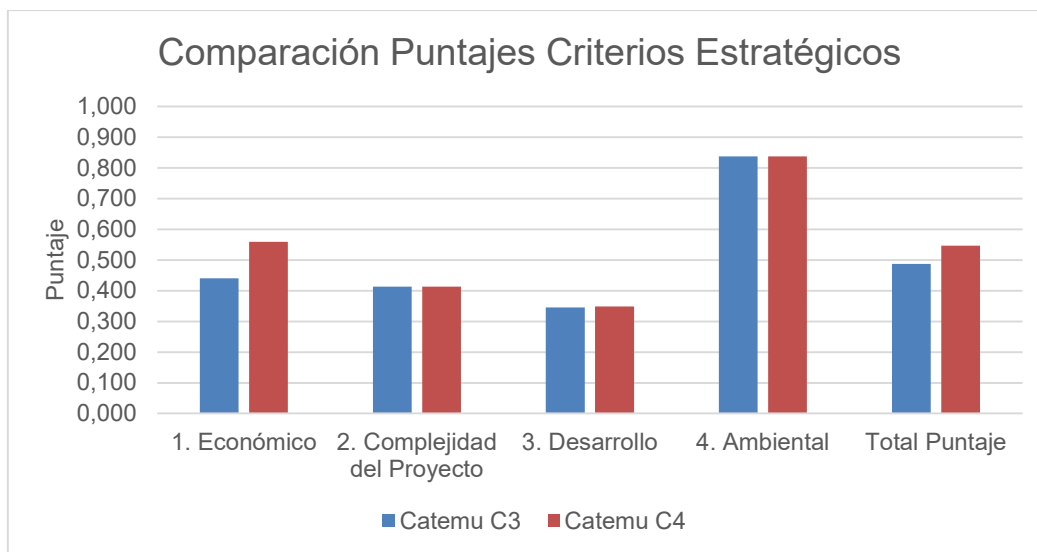
Tabla 7-3: Puntajes y ranking evaluación multicriterio proyecto de riego en Catemu.

Criterio o Subcriterio	Puntaje Obtenido	
	Catemu C3	Catemu C4
1. Económico	0,441	0,559
1.1. Distribución	0,494	0,506
1.2. Eficiencia	0,407	0,593
1.3. Interés Privado	0,401	0,599
2. Complejidad del Proyecto	0,413	0,413
2.1. Aspectos Técnicos	0,319	0,319
2.1.1. Complejidad Técnica	0,397	0,397
2.1.1.1. Construcción	0,309	0,309
2.1.1.2. Operación	0,597	0,597
2.1.2. Innovación Tecnológica	0,137	0,137
2.2. Aspectos Legales	0,532	0,532
2.2.1. Expropiaciones	0,548	0,548
2.2.2. Derechos de Aprovechamiento de Aguas	0,523	0,523
2.3. Aspectos Sociales y Políticos	0,410	0,410
2.3.1. Validación Social	0,141	0,141
2.3.2. Nivel Organizacional	0,696	0,696
2.3.3. Implicancias Políticas	1,000	1,000
3. Desarrollo	0,345	0,348
3.1. Otros Sectores	0,139	0,154
3.1.1. Generación Hidroeléctrica	0,475	0,525
3.1.2. Turismo	0,000	0,000
3.1.3. Agua Potable	0,000	0,000
3.1.4. Minería	0,000	0,000
3.2. Empleo	0,331	0,331
3.2.1. Construcción	0,000	0,000
3.2.2. Operación	0,000	0,000
3.2.3. Agrícola y Agroindustrial	0,500	0,500
3.3. Pobreza	0,500	0,500
4. Ambiental	0,837	0,837
4.1. Efectos Directos	0,786	0,786
4.1.1. Medio Físico	1,000	1,000
4.1.1.1. Construcción	1,000	1,000
4.1.1.2. Operación	1,000	1,000
4.1.2. Medio Biótico	0,286	0,286
4.1.2.1. Construcción	0,000	0,000
4.1.2.2. Operación	1,000	1,000
4.1.3. Medio Social-Construido	1,000	1,000
4.1.3.1. Construcción	1,000	1,000
4.1.3.2. Operación	1,000	1,000
4.2. Efectos Indirectos	1,000	1,000
Total Puntaje	0,4873	0,5467
Ranking	2	1

Al observar gráficamente los puntajes obtenidos por ambas alternativas en los criterios estratégicos queda de manifiesto que las diferencias más importante se

presentan en el criterio Económico, seguida en una magnitud mucho menor por el criterio de Desarrollo, en específico el subcriterio de Generación Hidroeléctrica. La razón inmediata de esta situación es la gran similitud de las alternativas propuestas en el estudio, diferenciándose básicamente en soluciones de ingeniería en pequeños tramos de la red de canales, en especial en el sector de captación del agua en el río Aconcagua. Debido a lo anterior, la **Alternativa C4** la seleccionada en la evaluación multicriterio coincide con la evaluación económica del estudio realizado por la CNR (2012a).

Gráfico 7-1: Comparación puntajes obtenidos en criterios estratégicos por alternativa proyecto de riego en Catemu.



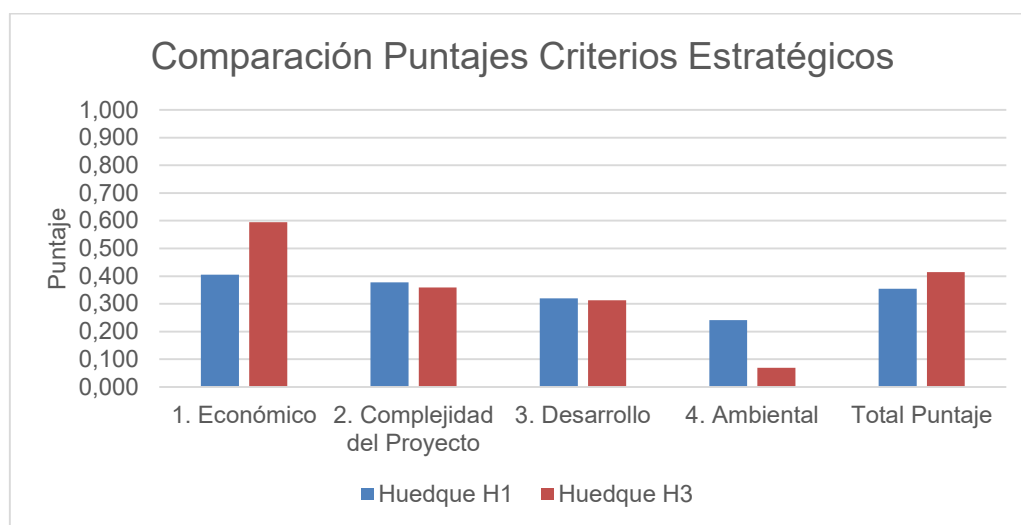
En el caso del embalse Hueque existe una mayor diversidad de resultados, debido a que las alternativas se ubican en distintos puntos del valle, con características ambientales, de tenencia de la tierra distintas y beneficiarios diferenciadas.

Destaca la relación inversa entre la mejor alternativa desde el punto de vista económico y ambiental, siendo la primera la determinante para el puntaje final, por lo que la **Alternativa H3** seleccionada en la evaluación multicriterio no coincide con la evaluación económica del estudio realizado por la CNR (2012b). Esto se debe a que esta alternativa fue descartada antes de realizar la evaluación económica, debido a las dificultades detectadas en cuanto al efecto en el medio cosntruido y las posibilidades de expropiación de los terrenos.

Tabla 7-4: Puntajes y ranking evaluación multicriterio proyecto de riego en Huedque.

Criterio o Subcriterio	Puntaje Obtenido	
	Huedque H1	Huedque H3
1. Económico	0,406	0,594
1.1. Distribución	0,492	0,508
1.2. Eficiencia	0,351	0,649
1.3. Interés Privado	0,343	0,657
2. Complejidad del Proyecto	0,377	0,359
2.1. Aspectos Técnicos	0,319	0,319
2.1.1. Complejidad Técnica	0,397	0,397
2.1.1.1. Construcción	0,309	0,309
2.1.1.2. Operación	0,597	0,597
2.1.2. Innovación Tecnológica	0,137	0,137
2.2. Aspectos Legales	0,532	0,472
2.2.1. Expropiaciones	0,548	0,382
2.2.2. Derechos de Aprovechamiento de Aguas	0,523	0,523
2.3. Aspectos Sociales y Políticos	0,295	0,295
2.3.1. Validación Social	0,141	0,141
2.3.2. Nivel Organizacional	0,087	0,087
2.3.3. Implicancias Políticas	1,000	1,000
3. Desarrollo	0,320	0,313
3.1. Otros Sectores	0,000	0,000
3.1.1. Generación Hidroeléctrica	0,000	0,000
3.1.2. Turismo	0,000	0,000
3.1.3. Agua Potable	0,000	0,000
3.1.4. Minería	0,000	0,000
3.2. Empleo	0,338	0,324
3.2.1. Construcción	0,000	0,000
3.2.2. Operación	0,000	0,000
3.2.3. Agrícola y Agroindustrial	0,511	0,489
3.3. Pobreza	0,500	0,500
4. Ambiental	0,241	0,069
4.1. Efectos Directos	0,317	0,091
4.1.1. Medio Físico	0,000	0,000
4.1.1.1. Construcción	0,000	0,000
4.1.1.2. Operación	0,000	0,000
4.1.2. Medio Biótico	0,000	0,000
4.1.2.1. Construcción	0,000	0,000
4.1.2.2. Operación	0,000	0,000
4.1.3. Medio Social-Construido	1,000	0,286
4.1.3.1. Construcción	1,000	0,000
4.1.3.2. Operación	1,000	1,000
4.2. Efectos Indirectos	0,000	0,000
Total Puntaje	0,3549	0,4146
Ranking	2	1

Gráfico 7-2: Comparación puntajes obtenidos en criterios estratégicos por alternativa proyecto de riego en Huedque.



Tal como se mencionó en el Acápite 6.1., en forma adicional a la aplicación del modelo jerárquico para la **selección** de alternativas, se evaluó de manera integrada las alternativas de los proyectos de riego de Catemu y Huedque. El fin de este ejercicio es analizar la utilización del modelo jerárquico propuesto para **priorizar** alternativas dentro de una cartera de proyectos.

Cabe destacar que, tal como se muestra en la Tabla 7-5, la mayor parte de los puntajes y vectores propios se mantuvieron igual que en la aplicación anterior. La diferencia se genera en los subcriterios con ponderadores basados en estadísticas o indicadores de tipo continuo, en los cuales la estandarización de los resultados ahora se realiza en relación a las cuatro alternativas analizadas.

Los resultados de esta aplicación muestran en primer lugar que las alternativas del proyecto Catemu se encuentran mucho mejor evaluadas que las alternativas del proyecto Huedque, debido a la mayor rentabilidad de las obras y un menor impacto ambiental. En estos indicadores poseen una alta incidencia la estructura de los cultivos implementables en cada área de estudio⁸ y la tipología de las obras⁹, que generan impactos ambientales de distinta magnitud.

Por otra parte, al disminuir el puntaje de los criterios económicos de las alternativas del proyecto Huedque, ahora en relación a los puntajes del proyecto Catemu respectivos, el ranking de prioridad se invirtió, siendo más recomendable realizar la Alternativa H3 que H1.

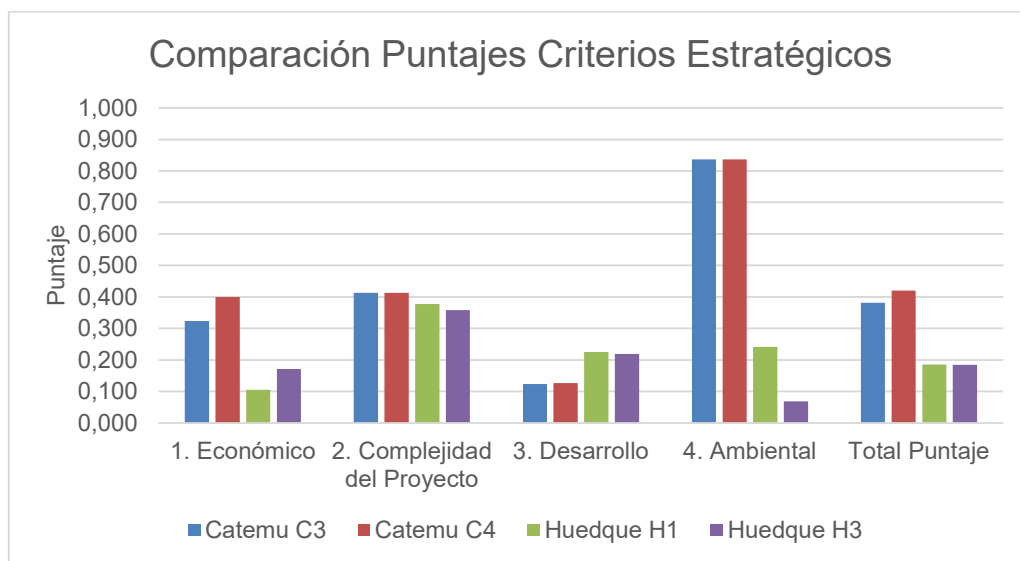
⁸ En Catemu frutales de exportación y en Huedque una combinación de frutales y hortalizas para el mercado local.

⁹ En Catemu una modificación de la red de canales existente y en Huedque la construcción de un embalse y red de canales completa.

Tabla 7-5: Puntajes y ranking evaluación multicriterio integrada.

Criterio o Subcriterio	Puntaje Obtenido			
	Catemu C3	Catemu C4	Huedque H1	Huedque H3
1. Económico	0,323	0,400	0,105	0,172
1.1. Distribución	0,420	0,431	0,073	0,076
1.2. Eficiencia	0,215	0,313	0,165	0,306
1.3. Interés Privado	0,325	0,484	0,065	0,125
2. Complejidad del Proyecto	0,413	0,413	0,377	0,359
2.1. Aspectos Técnicos	0,319	0,319	0,319	0,319
2.1.1. Complejidad Técnica	0,397	0,397	0,397	0,397
2.1.1.1. Construcción	0,309	0,309	0,309	0,309
2.1.1.2. Operación	0,597	0,597	0,597	0,597
2.1.2. Innovación Tecnológica	0,137	0,137	0,137	0,137
2.2. Aspectos Legales	0,532	0,532	0,532	0,472
2.2.1. Expropiaciones	0,548	0,548	0,548	0,382
2.2.2. Derechos de Aprovechamiento de Aguas	0,523	0,523	0,523	0,523
2.3. Aspectos Sociales y Políticos	0,410	0,410	0,295	0,295
2.3.1. Validación Social	0,141	0,141	0,141	0,141
2.3.2. Nivel Organizacional	0,696	0,696	0,087	0,087
2.3.3. Implicancias Políticas	1,000	1,000	1,000	1,000
3. Desarrollo	0,123	0,126	0,225	0,219
3.1. Otros Sectores	0,139	0,154	0,000	0,000
3.1.1. Generación Hidroeléctrica	0,475	0,525	0,000	0,000
3.1.2. Turismo	0,000	0,000	0,000	0,000
3.1.3. Agua Potable	0,000	0,000	0,000	0,000
3.1.4. Minería	0,000	0,000	0,000	0,000
3.2. Empleo	0,056	0,056	0,281	0,270
3.2.1. Construcción	0,000	0,000	0,000	0,000
3.2.2. Operación	0,000	0,000	0,000	0,000
3.2.3. Agrícola y Agroindustrial	0,084	0,084	0,424	0,407
3.3. Pobreza	0,213	0,213	0,287	0,287
4. Ambiental	0,837	0,837	0,241	0,069
4.1. Efectos Directos	0,786	0,786	0,317	0,091
4.1.1. Medio Físico	1,000	1,000	0,000	0,000
4.1.1.1. Construcción	1,000	1,000	0,000	0,000
4.1.1.2. Operación	1,000	1,000	0,000	0,000
4.1.2. Medio Biótico	0,286	0,286	0,000	0,000
4.1.2.1. Construcción	0,000	0,000	0,000	0,000
4.1.2.2. Operación	1,000	1,000	0,000	0,000
4.1.3. Medio Social-Construido	1,000	1,000	1,000	0,286
4.1.3.1. Construcción	1,000	1,000	1,000	0,000
4.1.3.2. Operación	1,000	1,000	1,000	1,000
4.2. Efectos Indirectos	1,000	1,000	0,000	0,000
Total Puntaje	0,3810	0,4198	0,1853	0,1846
Ranking	2	1	3	4

Gráfico 7-3: Comparación puntajes obtenidos en criterios estratégicos alternativas proyectos de riego en Catemu y Huedque.



7.3 Análisis de Sensibilidad

Al hacer cualquier evaluación, siempre hay un elemento de incertidumbre asociado a las variables y alternativas que se estudian, lo que dificulta una toma de decisiones con mayor seguridad. Una forma de disminuir o dimensionar esta incertidumbre es a través un análisis de sensibilidad, que busca identificar las variables que más afectan el resultado de la evaluación, de un proyecto y la magnitud de su incidencia.

En el caso de la evaluación multicriterio, este análisis permite, por ejemplo, determinar el impacto de la variación en las ponderaciones de los criterios considerados y, en el caso de que existan diferencias significativas entre las preferencias de los actores participantes, comparar los resultados al modificar la cantidad de matrices evaluadas o la importancia asignada a las opiniones de cada actor.

Debido a que, en general, las matrices de comparación pareada integradas presentan Relaciones de Consistencia (CR) con valores muy bajos, no se consideró el análisis a nivel de los actores. Por ello, el análisis de sensibilidad que se presenta a continuación se concentró en la variación del puntaje de las alternativas de proyecto en función de distintas ponderaciones de cada criterio estratégico¹⁰.

En el Gráfico 7-4 y el Gráfico 7-5 se presenta el análisis de sensibilidad para el proyecto de riego en Catemu en base a la modificación de la ponderación de los criterios estratégicos Económico y de Desarrollo, respectivamente, los cuales son los criterios únicos en donde originalmente las alternativas poseen características distintas. En este sentido, se observa que la Alternativa C4 siempre obtiene un puntaje total mayor que la

¹⁰ Al modificar el valor de la ponderación de un criterio estratégico, los criterios restantes mantienen la razón entre ellos.

Alternativa C3, independiente de las variaciones de los criterios realizada, lo que se debe a la significativa mayor ponderación del criterio Económico sobre el de Desarrollo.

Gráfico 7-4: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Catemu. Criterio 1 Económico.

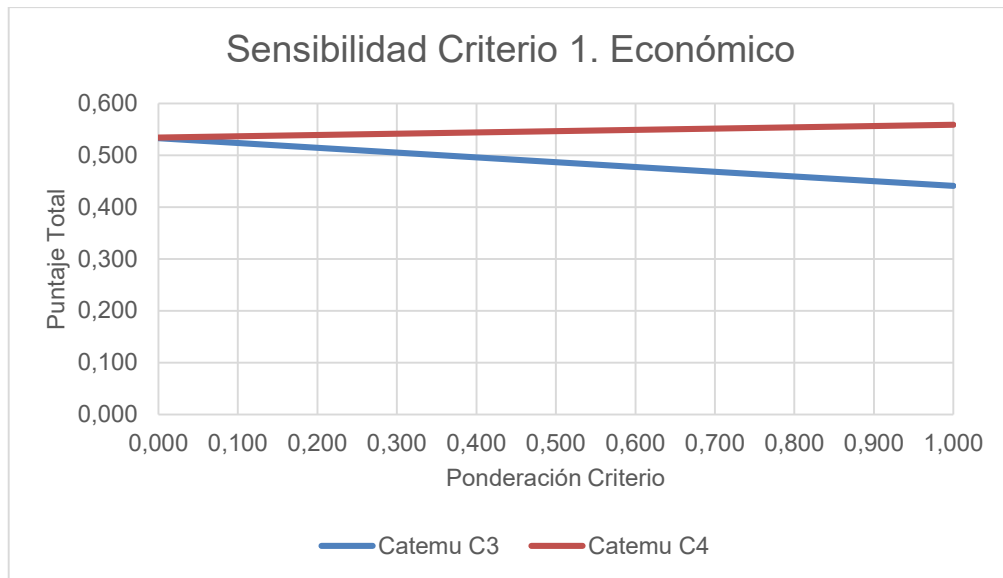
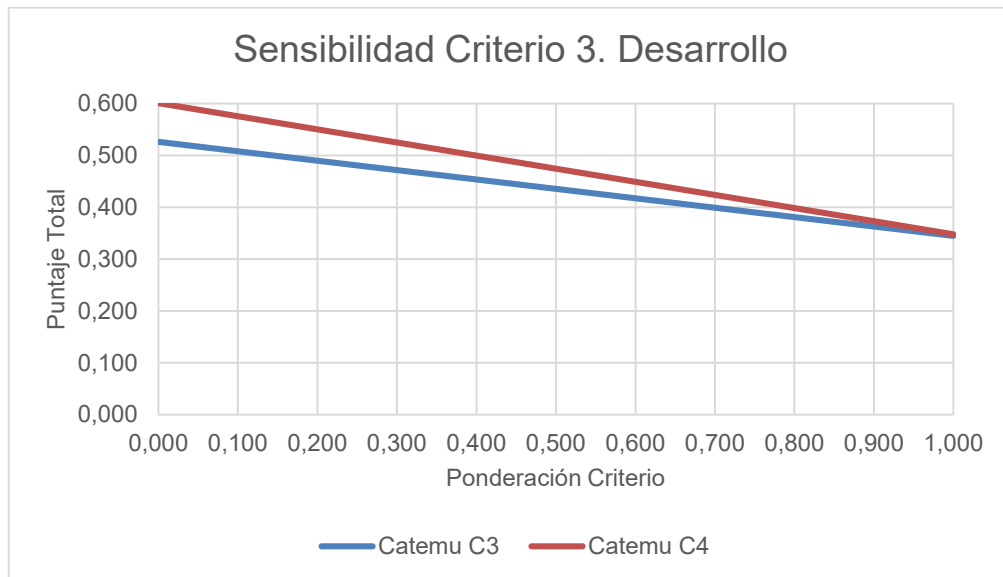
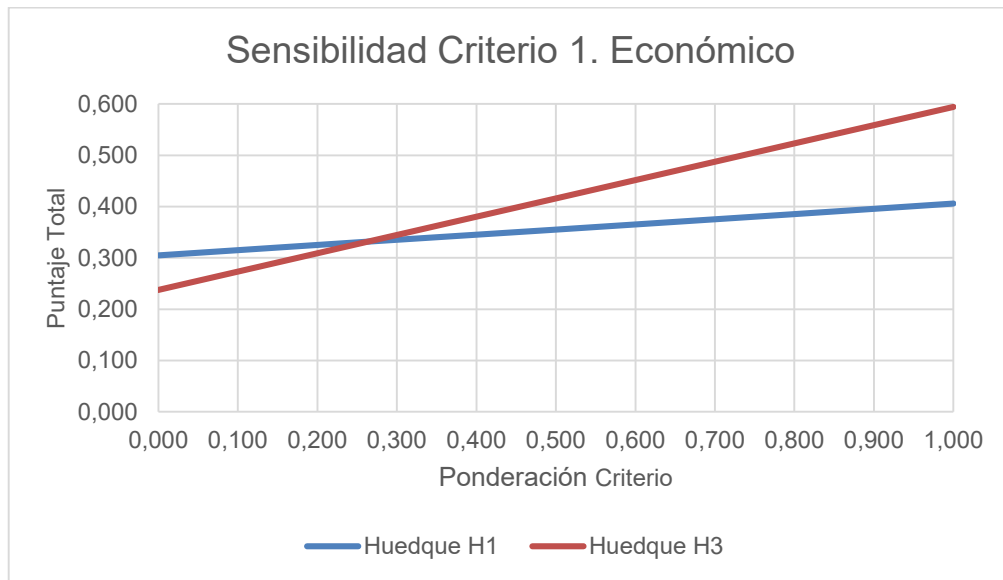


Gráfico 7-5: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Catemu. Criterio 3 Desarrollo.



En el caso del análisis de sensibilidad del proyecto de riego en Huedque (Gráfico 7-6 a Gráfico 7-9), para todos los criterios estratégicos es posible encontrar un escenario de variación en donde la alternativa seleccionada cambie con respecto a la evaluación original.

**Gráfico 7-6: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Huedque.
Criterio 1 Económico.**



**Gráfico 7-7: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Huedque.
Criterio 2 Complejidad del Proyecto.**

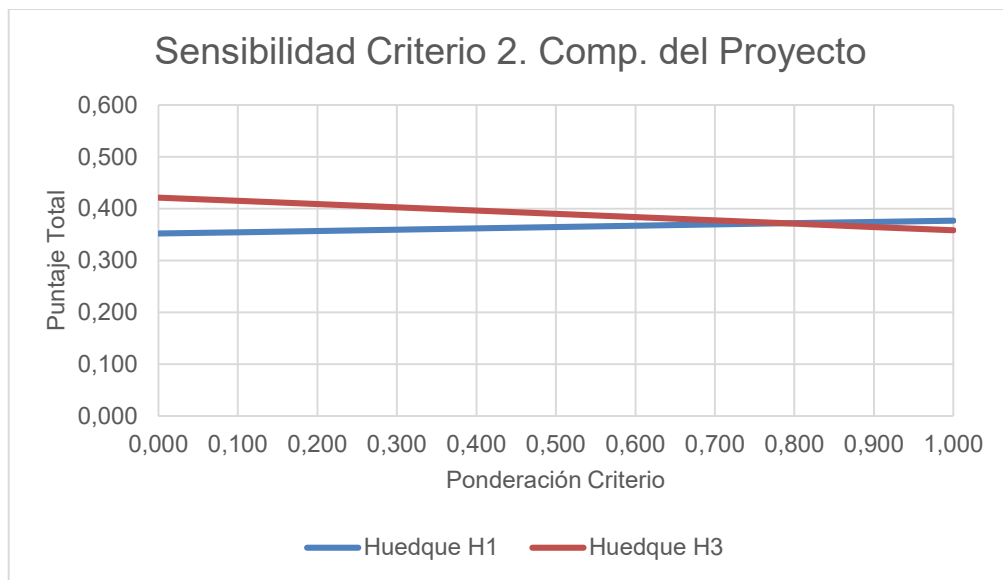


Gráfico 7-8: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Huedque. Criterio 3 Desarrollo.

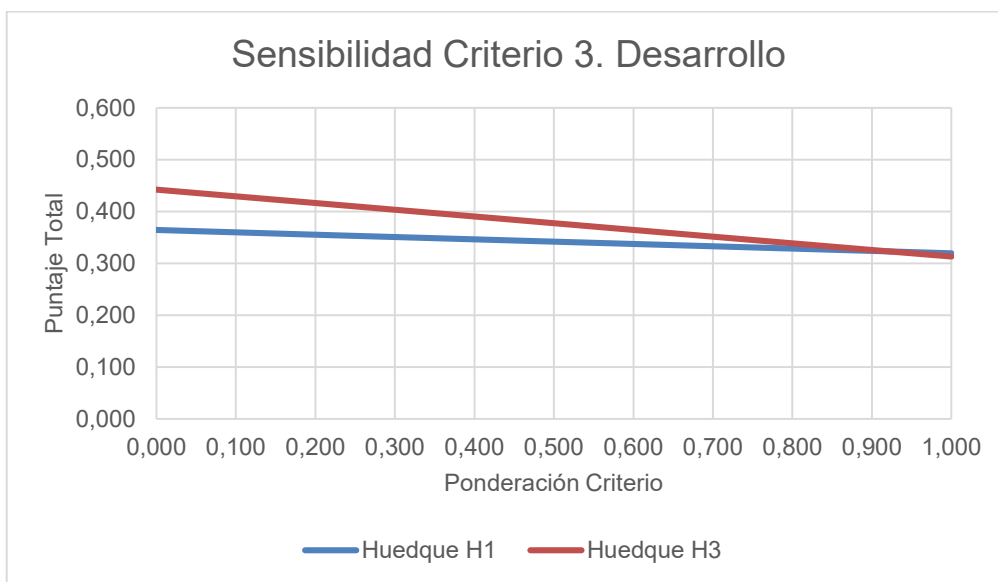
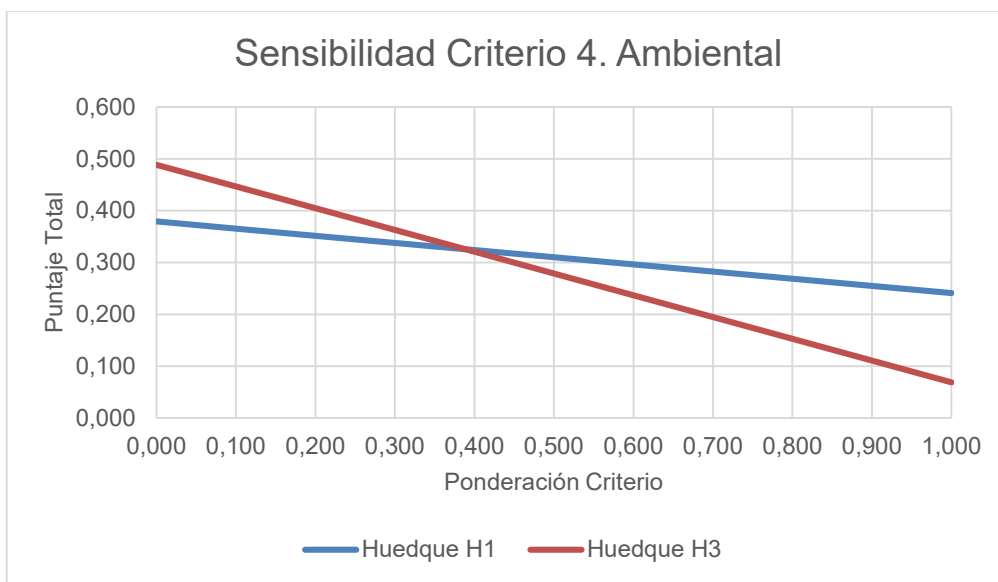


Gráfico 7-9: Análisis de sensibilidad proyecto de riego en Huedque. Criterio 4 Ambiental.



En los Gráficos anteriores, y con mayor detalle en la Tabla 7-6, es posible apreciar que los Criterios Económico (hasta 26,4%) y Ambiental (hasta 38,9%) son los que requieren una variación menos significativa para que la alternativa del proyecto de riego en Huedque seleccionada cambie con respecto a la evaluación original, es decir, sea H1 en vez de H3.

Tabla 7-6: Combinación ponderadores (vectores propios) críticos para igualar puntajes totales alternativas proyecto de riego en Huedque.

Criterio	Ponderadores				
	Originales	Huedque H1= Huedque H3			
1. Económico	0,497	0,264	0,118	0,050	0,369
2. Complejidad del Proyecto	0,111	0,163	0,789	0,011	0,083
3. Desarrollo	0,215	0,315	0,051	0,921	0,160
4. Ambiental	0,177	0,259	0,042	0,018	0,389
Total Puntaje	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Finalmente, para la evaluación complementaria realizada para priorizar una alternativa en la cartera conjunta de ambos proyectos (Gráfico 7-10 a Gráfico 7-13), solo en el Criterio de Desarrollo existe la posibilidad de que el puntaje total de las alternativas de Huedque sea mayor a las de Catemu, con una ponderación para los criterios Económico de 16,4%, Complejidad del proyecto 3,7%, Desarrollo 74,2% y ambiental 5,8%, lo que significa un cambio drástico con respecto a las valoraciones iniciales obtenidas.

Gráfico 7-10: Análisis de sensibilidad proyectos de riego en Catemu y Huedque. Criterio 1 Económico.

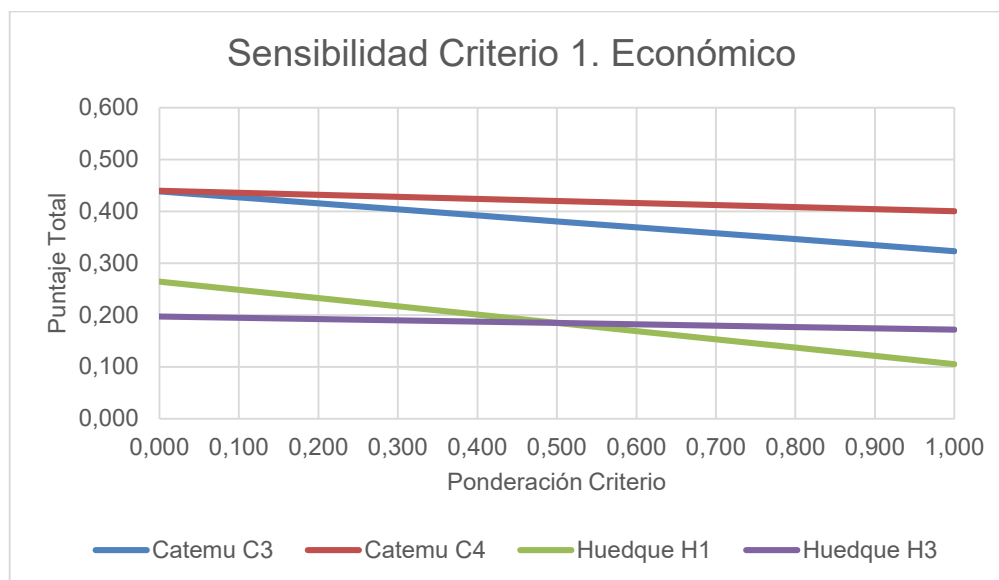


Gráfico 7-11: Análisis de sensibilidad proyectos de riego en Catemu y Huedque. Criterio 2 Complejidad del Proyecto.

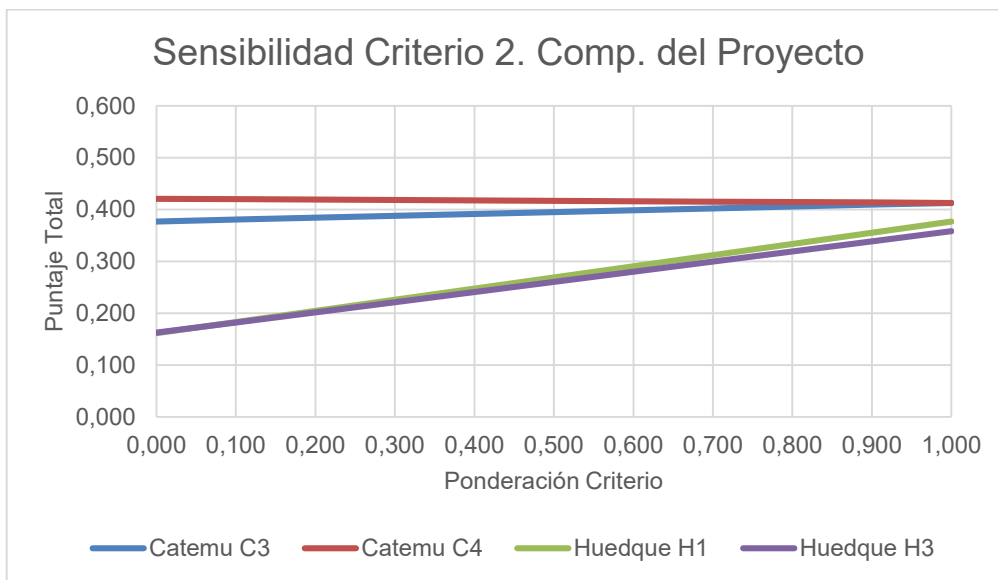


Gráfico 7-12: Análisis de sensibilidad proyectos de riego en Catemu y Huedque. Criterio 3 Desarrollo.

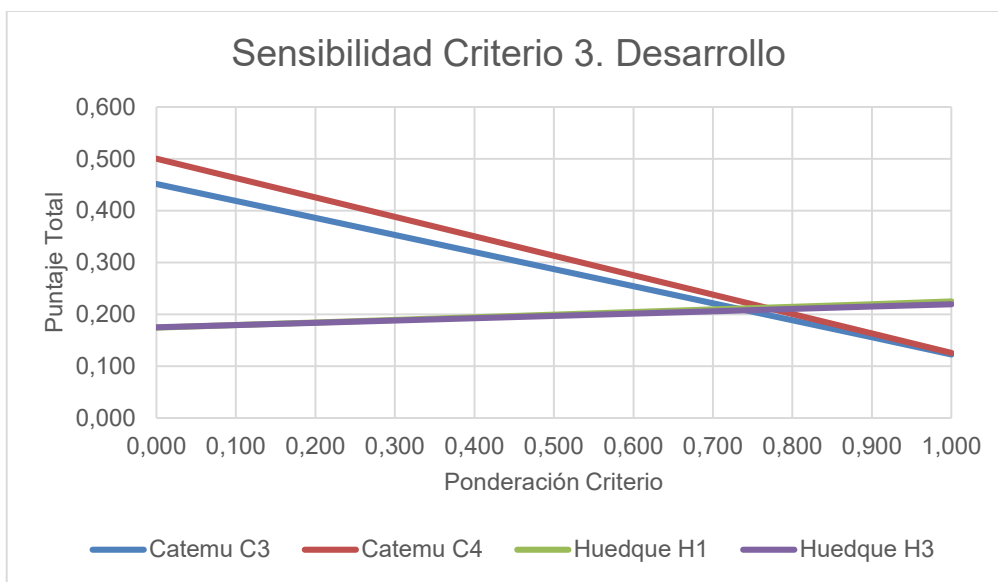
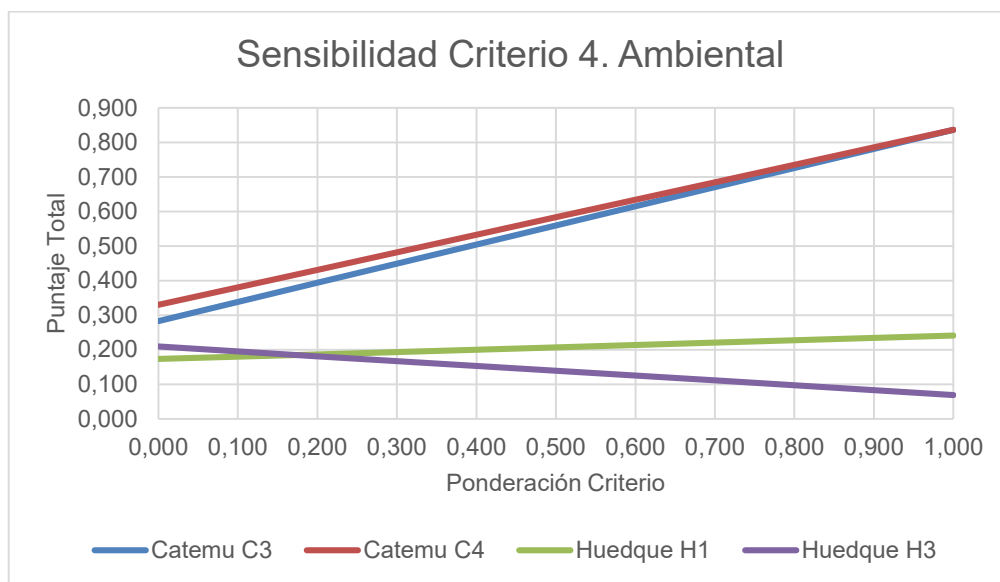


Gráfico 7-13: Análisis de sensibilidad proyectos de riego en Catemu y Huedque. Criterio 4 Ambiental.



8 DISCUSIÓN

En primer lugar, el modelo construido y aplicado a los casos de estudio abarca diversos ámbitos de los proyectos, mucho más allá que solo los aspectos de ingeniería o económicos. Representa una mirada más integral del entorno y consecuencias de un proyecto de riego en un territorio.

Lo anterior se refleja en diferentes componentes, pero especialmente en los pesos obtenidos, los cuales difieren de estudios anteriores. Por ejemplo, los aspectos económicos y financieros (49,7%) poseen una menor importancia que en los modelos propuestos por Torres (2002) y por DOH (2007), en los cuales este criterio alcanza el 68,9% y el 61,3%, respectivamente. Por otra parte, los aspectos relacionados con el desarrollo social (21,5%), superan en un 5% de importancia a los pesos de los estudios comparados. Situación similar ocurre con el criterio ambiental, el que pasa de poseer una ponderación de 2,2% en Torres (2002) y 10,4% en DOH (2007) a un 21,5%. El motivo de estas diferencias se explica por dos factores:

- Cambio efectivo de la importancia relativa de criterios en la sociedad, en particular de los de tipo estratégico: La creciente conciencia y difusión de los efectos de los proyectos en el medio ambiente y en los modos de vida de las comunidades, incluso a nivel global (cambio climático, migraciones, entre otros), ha motivado una mayor consideración dentro de la toma de decisiones que hace 15 o 10 años atrás.
- Planteamiento del modelo jerárquico: El enfoque de la definición de un criterio y el lugar que ocupa dentro de la jerarquía necesariamente condicionan la asignación de pesos por parte de los actores participantes. El caso más representativo de esta situación es el criterio ambiental. Tanto en Torres (2002) como en DOH (2007) este aspecto es tratado en el sentido de la posibilidad de existencias de trabas administrativas para llevar a cabo un proyecto en el marco del SEIA (obtención de permisos, oposiciones ciudadanas, necesidad de mayores inversiones, etc.). Esto queda más claro en el caso de Torres (2002), que sitúa este criterio dentro del criterio estratégico de “Complejidad de Desarrollo en el Ciclo de Vida del Proyecto”. En el presente modelo jerárquico se evalúa directamente el efecto de los proyectos en los componentes del medio ambiente, en mayor concordancia una visión integral del territorio y de su desarrollo sustentable, situándolo como uno de los criterios estratégicos, diferencias sustanciales con respecto a los dos modelos comparados.

No obstante las potencialidades conceptuales del modelo propuesto, y a pesar de que éste se diseñó para ser compatible con los requisitos básicos de los Términos de Referencia de licitaciones públicas de estudios de prefactibilidad y factibilidad de proyectos de riego, para realizar una evaluación completa se requiere de una cantidad importante de información por proyecto, 26 datos específicos, varios de los cuales no se encuentran disponibles en todos los estudios o no se presentan en las unidades de medida o con la precisión requerida para determinar su nivel de intensidad. En esta misma línea, en varios de los criterios aplicados, en especial los relacionados con la

complejidad del proyecto, los niveles de intensidad se encuentran definidos de forma tal que las alternativas sean caracterizadas a partir de información dispersa en distintas secciones del estudio, de manera de inferir la intensidad obtenida, sin que esta precaución haya resuelto la carencia y heterogeneidad de la información de los estudios analizados.

Otra expresión de esta discordancia entre la aplicación de metodologías de EMC y los requerimientos de los estudios de prefactibilidad y factibilidad es la definición del momento más apto (en el contexto expresado anteriormente) para realizar la EMC, con respecto a la información disponible y las alternativas comparadas. Tal como se mencionó en el Acápite 5.3, existe una primera priorización de alternativas en una etapa temprana del estudio, en la cual se comparan, normalmente sin una aplicación formal de EMC, un conjunto de propuestas preliminares de obras de infraestructura a partir de información secundaria o de baja precisión. Es así como a la etapa final llegan una o dos alternativas, las que poseen un nivel de caracterización muy superior a la relegadas anteriormente. Es así como, bien podría darse que, si se aplicara una EMC a todas las alternativas inicialmente disponibles, pero con un mayor nivel de información, algunos de los proyectos descartados podrían resultar ser el más conveniente. Aunque es comprensible que, en un escenario de recursos limitados para la realización de todos los estudios específicos para cada una de las alternativas (especialmente mediciones y pruebas de terreno), resulta importante identificar el momento óptimo para realizar la EMC o, por el contrario, determinar las actividades posibles de ser reprogramadas con el fin de disponer de la mayor cantidad de información al comienzo del estudio, fortaleciendo la preselección de alternativas.

Dicho lo anterior, los estudios revisados presentan alternativas con grados medios a altos de similitud, diferenciándose principalmente en ámbitos tales como ubicación y tamaño en el caso de los embalses¹¹ y materialidad o modificación de algún tramo específico en canales. Otros aspectos como la población beneficiada o afectada, organizaciones involucradas, derechos de aprovechamiento de aguas, problemas ambientales o uso multipropósito de las obras resultan casi idénticos para todas las alternativas. Más aún, la evaluación económica realizada en la etapa final del estudio contempla una diversidad de alternativas aún más acotada, diferenciándose casi exclusivamente por tamaño o por la incorporación de un área específica al riego. Esto queda demostrado en el caso de la EMC de los proyectos canal Catemu y embalse Huedque (Acápite 7.2), en el cual el criterio económico es, muy por sobre el resto de los criterios, el principal factor diferenciador de las alternativas de obras evaluadas. En este sentido, el resultado sería el mismo o muy similar (dependiendo del indicador) si se aplicará solamente un análisis costo-beneficio.

Es por todos los motivos anteriores que vale la pena cuestionar el grado aporte de la EMC para la priorización de proyectos de riego en estudios de prefactibilidad o factibilidad en un área de riego específica, dadas las características propias de los

¹¹ En el caso del proyecto Huedque las alternativas de sitios de embalse se encuentran a una distancia de 500 m.

proyectos de riego y de las alternativas propuestas y las condiciones actuales de gestión de los estudios por parte de la CNR y DOH. En este sentido, una mayor especificación de los alcances de los estudios y delimitación del área potencialmente beneficiada se contraponen a la expectativa de disponer de un mayor número y diversidad de alternativas, de lo cual se desprende que a medida que un proyecto avanza en su ciclo de vida sería menos recomendable el uso de una metodología de EMC para la priorización dentro de un conjunto de alternativas, principalmente debido al mayor grado de homogeneidad de las mismas.

9 CONCLUSIONES

Los antecedentes y el desarrollo metodológico presentados en el presente trabajo permitieron la elaboración y aplicación de un modelo jerárquico de uso generalizado para realizar EMC a partir de AHP en proyectos de infraestructura de riego. Esta es una de las múltiples aplicaciones de las metodologías de MCDM identificadas en el ámbito de los recursos hídricos.

La inclusión de una metodología de EMC constituye un avance y a la vez un desafío de integración a la toma de decisiones aspectos ambientales, sociales, legales y políticos, normalmente subordinados a los indicadores económicos o simplemente no considerados. Al superar el problema de la existencia de distintas escalas y unidades de medida de variables cuantitativas y cualitativas, la EMC permite obtener resultados conceptual y técnicamente más robustos que el análisis costo-beneficio, a partir de una comprensión más acabada de las características e implicancias de los proyectos.

El modelo propuesto define la evaluación los proyectos de riego desde un enfoque territorial y estratégico. Es así como se incorporan criterios relacionados con el desarrollo del proyecto en su ciclo de vida y los efectos en la sociedad, el medio ambiente y a nivel político, en desmedro de aspectos como la materialidad de las obras y su ubicación o trazado de acuerdo a las características físicas del área de estudio, los cuales se consideran abordados por los estudios técnicos e incluidos en los costos de cada alternativa. Esta visión facilita la comprensión del estudio y posterior construcción de estos proyectos en el contexto de una política pública y no tan solo como inversiones en activos físicos.

Por otra parte; cabe destacar la versatilidad del modelo propuesto para ser aplicado a distintos tipos de proyectos de riego, tales como la construcción de obras nuevas, ampliación de obras existentes o su mejoramiento, además de medidas tendientes a mejorar la operación de las mismas, como pueden ser la adquisición de equipos de automatización, implementación de software de medición o cambios de organización y operación de las obras.

Con respecto a los resultados obtenidos, la evolución observada en la importancia asignada a los aspectos relacionados con el desarrollo social y el medio ambiente, en comparación con modelos desarrollados anteriormente, se explica tanto por la mayor importancia y exposición que han adquirido estas temáticas en la sociedad en general, como también por la caracterización de estos criterios presente modelo en relación a los efectos potenciales del proyecto en estas dimensiones y no tan solo como limitantes administrativas o legales.

A pesar de las virtudes expuestas, en la aplicación del modelo jerárquico con AHP a proyectos específicos se detectaron algunas dificultades con respecto a 1) la existencia y calidad de la información disponible para construir los indicadores y niveles de intensidad del modelo, especialmente la relacionada con la complejidad del proyecto, 2) problemas de coherencia entre la disponibilidad de información y etapas del proyecto en donde se pretende realizar la EMC y 3) La menor heterogeneidad y cantidad de

alternativas analizadas de un proyecto a medida que los estudios avanzan en su ciclo de vida y en las etapas de un mismo estudio.

Una de las opciones para abordar exitosamente la calidad y coherencia de la información es incorporar en la etapa de planificación y licitaciones de los estudios por parte de los equipos técnicos de la CNR y DOH la adopción de al menos un modelo jerárquico de uso general para la EMC de proyectos de riego, ya sea elaborado por la propia institución o incorporado desde otras fuentes de información, cuya aplicación sea solicitada de antemano en los Términos de Referencia, explicitando los indicadores idóneos que se deben obtener y la(s) etapa(s) de su realización, velando por la coherencia con respecto al momento de obtención de la información necesaria.

Sin embargo, el manejo del número de alternativas evaluadas y su heterogeneidad parece ser un problema más difícil de solucionar, ya que depende de las características intrínsecas de este tipo de proyectos y del territorio en el que se sitúan, además de la lógica de eficiencia en el uso de recursos económicos detrás de la selección de alternativas en etapas tempranas de los estudios. Incluso, al realizar una EMC en una etapa temprana de un estudio de prefactibilidad, asumiendo las limitantes de información, parte de la situación descrita aún persiste.

Dados todos los antecedentes y análisis entregados en el presente trabajo es posible establecer que es viable aplicar una metodología de EMC en los estudios de prefactibilidad y factibilidad de infraestructura riego, siendo necesaria una reorientación de su consideración dentro del proceso de planificación y licitación de dichos estudios, con el fin de disponer de antemano de bases metodológicas coherentes con la información requerida para implementar un modelo jerárquico propuesto.

Sin embargo, a pesar de su viabilidad de aplicación, tal como se conciben actualmente los objetivos, alternativas y productos requeridos en los estudios de prefactibilidad y factibilidad, el grado de utilidad adicional para la priorización de alternativas que entrega la EMC, especialmente en la etapa de evaluación final, resulta limitado.

En este sentido se recomienda en primer lugar fomentar su uso formal dentro de estos estudios, pero acotando su alcance a la decisión de selección de proyectos luego de la priorización con análisis costo-beneficio, aprovechando su significativo aporte para la caracterización y comprensión de las implicancias de los proyectos en diversos ámbitos, con diferentes unidades y escalas de medida, permitiendo incluso tomar acciones para subsanar los aspectos negativos identificados.

Además, es posible mejorar la utilidad de la EMC, al menos para la decisión priorización en una etapa temprana del estudio, en la medida que la diversidad de alternativas inicialmente definidas sea mayor. Para ello resulta imprescindible que a nivel de los tomadores de decisiones exista una redefinición de los alcances de estos estudios, incorporando objetivos más integrales, con énfasis en el desarrollo territorial, que permita estudiar soluciones adicionales a las obras de infraestructura, tales como reorientación del uso del suelo agrícola, medidas organizacionales y de gestión orientadas a mejorar

la eficiencia de uso del agua, además de la incorporación de medios tecnológicos para la operación de obras existentes. Lo anterior también repercute en el diseño de un modelo jerárquico cuyo Foco sea coherente con los nuevos objetivos formulados, tal como se pudo observar en las experiencias internacionales presentadas en el Acápite 5.1.

Las falencias mencionadas disminuyen de manera importante si se considera la aplicación del modelo jerárquico propuesto para la priorización de una cartera de proyectos ubicados diferentes territorios, en la que la diversidad de condiciones físicas, ambientales, sociales, legales y políticas es mucho mayor, por lo que una exitosa (e influyente) EMC dependerá principalmente de la existencia de información idónea para obtener resultados confiables.

Finalmente, resulta importante destacar que la inclusión de las metodologías de EMC en el desarrollo de políticas públicas, como es la inversión en infraestructura de riego, posee otras ventajas, entre las que se encuentran b) mejora el proceso lógico de toma de decisiones, b) la posibilidad de incorporar diversos actores al proceso, tales como tomadores de decisión, asesores expertos y dirigentes locales, c) una mayor transparencia de las decisiones, ya que las opiniones deben ser explícitas y d) posibilidad de aprovechar la diversidad de opiniones para fomentar el dialogo y construir acuerdos sólidos sobre el futuro de los proyectos.

10 GLOSARIO DE ABREVIATURAS

AHP:	Analytic Hierarchy Process - Proceso de Análisis Jerárquico
ANP:	Analytic Network Process - Proceso de Análisis de Redes
AMC:	Análisis Multicriterio
CEPAL:	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CNR:	Comisión Nacional de Riego
CONADI:	Corporación Nacional de Desarrollo Indígena
CP:	Compromise Programming - Programación de Compromiso
DGA:	Dirección General de Aguas
DIA:	Declaración de Impacto Ambiental
DOH:	Dirección de Obras Hidráulicas
EIA:	Estudio de Impacto Ambiental
ELECTRE:	Elimination ex Choix Traduisant la Réalité - Eliminación y Elección Expresando la Realidad
EMC:	Evaluación Multicriterio
FNDR:	Fondo Nacional de Desarrollo Regional
INDAP:	Instituto de Desarrollo Agropecuario
MAUT:	Multi Attribute Utility Theory - Teoría de Utilidad Multiatributo
MCDM	Multicriteria Decisión Making - Decisión Multicriterio
MCQA:	Multicriterion Q-Analysis - Análisis Q multicriterio
MIDESO:	Ministerio de Desarrollo Social
MMA:	Ministerio del Medio Ambiente
MOP:	Ministerio de Obras Públicas
OUA:	Organización de Usuarios de Aguas
PROMETHEE:	Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations - Método de Organización de Ranking de Preferencias para Enriquecer Evaluaciones
RC	Razón de Consistencia
SEIA:	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SIG	Sistema de Información Geográfica
VAN:	Valor Actual Neto
TOPSIS:	Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution - Técnica para Ordenar Preferencia según Similitud con una Solución Ideal
WPM:	Weighted Product Model - Modelo de Producto Ponderado
WSM:	Weighted Sum Model - Modelo de Suma Ponderada

11 BIBLIOGRAFÍA

Anagnostopoulos, K.P., & Petalas, C. (2011). A Fuzzy Multicriteria Benefit–Cost Approach for Irrigation Projects Evaluation. *Agricultural Water Management*. 98(8). 1409–1416.

Arancibia, S., Contreras, E., Mella, S., Torres, P., y Villablanca, I. (2003). Evaluación Multicriterio: Aplicaciones para la Formulación de Proyectos de Infraestructura Deportiva. *Documentos de Trabajo. Serie Gestión DII. N° 48. Universidad de Chile*. Recuperado de: <http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/ceges48.pdf>

Barredo, J., y Bosque, J. (1998). Multicriteria Evaluation Methods for Ordinal Data in a GIS Environment. *Geographical Systems*. 5(4). 313-327.

Berumen, S., y Llamazares, F. (2007). La utilidad de los Métodos de Decisión Multicriterio (como el AHP) en un Entorno de Competitividad Creciente. *Cuadernos de Administración Pontificia Universidad Javeriana*. 20(34), 65-87. Recuperado de: http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuadernos_admon/article/view/4043/3018

Calle Larga: Preocupación por Posible Construcción de Embalse Pocuro Alto. (24 de julio de 2016). Radio Aconcagua News. Recuperado de: <http://www.aconcaguanews.cl/?url=http://www.aconcaguanews.cl//portal/calle-larga-preocupacion-por-posible-construccion-de-embalse-pocuro-alto/>

CNR (2003). Elaboración de una Metodología de Organización y Capacitación de Comunidades de Agua. Chillán. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/9358/CNR-0061.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CNR. (2010). Términos de Referencia Licitación Pública Proyecto de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección Río Aconcagua. Región de Valparaíso. Recuperado de: <http://www.mercadopublico.cl/Home/> (ingresar código 870-51-LP10)

CNR (2011). Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego. Recuperado de: <https://www.cnr.gob.cl/DivisionDeEstudios/Documents/Manual%20para%20el%20desarrollo%20de%20grandes%20obras%20de%20riego%20version%202014%20Abril%202011.pdf>

CNR (2011). Términos de Referencia Licitación Pública Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Construcción de Embalse de Riego Huedque, Comuna de Cauquenes. Región del Maule. Recuperado de: <http://www.mercadopublico.cl/Home/> (ingresar código 870-77-LP11)

CNR (2012a). Proyecto de Prefactibilidad Mejoramiento de Canales Arriba de Catemu, Abajo de Catemu y Pepino, Segunda Sección Río Aconcagua. Región de Valparaíso, Chile.

CNR (2012b). Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Construcción de Embalse de Riego Huedque, Comuna de Cauquenes. Región del Maule, Chile.

CNR y MIDESO (2014). Guía Metodológica para Proyectos de Inversión acogidos a la Ley de Fomento al Riego y Drenaje Ley 18.450. Recuperado de: <https://www.cnr.gob.cl/Home/Documents/Gu%C3%ADa%20Metodol%C3%B3gica%20Evaluaci%C3%B3n%20Social%20Obras%20Medianas%202014.pdf>

CNR (2016). Términos de Referencia Licitación Pública Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Uso y Regulación Recursos Hídricos Mostazal. Recuperado de: <http://www.mercadopublico.cl/Home/> (ingresar código 870-28-LR16)

CNR (2017). Términos de Referencia Licitación Pública Estudio Construcción Proyecto de Riego Magallanes, Comuna Porvenir. Recuperado de: <http://www.mercadopublico.cl/Home/> (ingresar código 870-25-LR17)

CNR (2018) Planes de Gestión de Riego (Compilación). Recuperado de: <https://www.cnr.gob.cl/DivisionDeEstudios/Paginas/Pregriego.aspx> (Consultado 15 de noviembre de 2018)

Colson, G., & de Bruyn, C. (1989). Models and Methods in Multiple Objectives Decision. *Making. Mathematical and Computer Modelling*. 12(10). 1201–1211.

Contreras, E. (2004). Evaluación Social de Inversiones Públicas: Enfoques Alternativos y su Aplicabilidad para Latinoamérica. Serie Manuales CEPAL N°37. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/5603-evaluacion-social-inversiones-publicas-enfoques-alternativos-su-aplicabilidad>

Decreto 40 MMA. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Santiago. Chile. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 12 de agosto de 2013.

Decreto 48 MOP. Reglamento para Contratación de Trabajos de Consultoría. Santiago. Chile. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 16 de marzo de 1998.

Decreto 90 MOP. Fija Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado del DFL MOP 164 de 1991, Ley de Concesiones de Obras Públicas. Santiago. Chile. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 18 de diciembre de 1999.

DFL 1.122. Código de Aguas. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 29 de octubre de 1981.

DFL 1.123. Normas sobre Ejecución de Obras de Riego por el Estado. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 21 de diciembre de 1981.

DOH (2007). Programa de Modernización de Sistemas de Riego Existentes, Primera Fase. Santiago. Chile.

DOH (2013). Términos de Referencia Licitación Pública Factibilidad Embalse Río Rapel, Comuna de Monte Patria Región de Coquimbo. Recuperado de: <http://www.mercadopublico.cl/Home/> (ingresar código 1503-28-LP13)

DOH (2015). Términos de Referencia Licitación Pública Estudio de Ingeniería y Ambientales Embalse Bollenar en Río Claro de Rengo, Región de O'Higgins. Recuperado de: <http://www.mercadopublico.cl/Home/> (ingresar código 975-75-LR15)

DOH (2016a). Plan Nacional de Embalses. Octava Sesión de Trabajo. Recuperado de: https://www.mop.cl/participacion_ciudadana/Documents/cosoc/actas/ANEXO_SESION_8_N_2_COSOC_MOP_14012016.pdf

DOH (2016b). Términos de Referencia Licitación Pública Mejoramiento Sistema de Riego Las Palmas, Comuna de Petorca, Región de Valparaíso. Recuperado de: <http://www.mercadopublico.cl/Home/> (ingresar código 1504-18-LP16)

DOH (2018). Términos de Referencia Licitación Pública Construcción Sistema de Regadío, Valles de Curacaví y Casablanca, Regiones Metropolitana y Valparaíso. Recuperado de: <http://www.mercadopublico.cl/Home/> (ingresar código 975-1-O118)

DGA (2015). Diagnóstico Plan Maestro de Recursos Hídricos Región Metropolitana de Santiago. Santiago. Chile.

DGA (2018). Registro Público de Organizaciones de Usuarios de Aguas. Recuperado de: <http://www.dga.cl/administracionrecursoshidricos/OU/Paginas/default.aspx> (Consultado 10 de noviembre de 2018)

Duckstein, L., Teele, A., Nachnebel, H. P. & Hobbs, B. F. (1989). Multicriterion Analysis of Hydropower Operation. *Journal of Energy Engineering*. 115(3). 132-153.

Embalse la Tranca: 120 Familias Perderían su Terreno. (6 de marzo de 2018). Ovalle Hoy. Recuperado de: <https://ovallehoy.cl/120-familias-perderian-su-terreno-con-el-nuevo-embalse-la-tranca/>

Forman, E.H., & Gass, S.I. (2001). The Analytic Hierarchy Process: An Exposition. *Operations Research*. 49(4). 469-486.

Gallardo, S. (1999). Modelo y Método para la Toma de Decisiones de Ordenación Territorial para la Gestión Comunal. En: J. Gastó, P. Rodrigo, e I. Aránguiz, (eds.) *Ordenación Territorial y Desarrollo de Predios y Comunas Rurales* (pp 300-314). Santiago, Chile.

Guajardo, M., Aguilera, R. y Andalaft, A. (2008). Evaluación Socioeconómica de Proyectos con el Método de Opciones Reales. *Revista Ingeniería Industrial*. 7(2). 47-64. Recuperado de: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/103>

Kabir, G., Sadiq, S., & Tesfamariam, S. (2013). A Review of Multi-criteria Decision-Making Methods for Infrastructure Management. *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*. 10(9). 1176-1210.

Köksalan, M., Wallenius, J., & Zionts, S. (2013). An Early History of Multiple Criteria Decision Making. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 20(1). 87-94.

Ley 18.450. Normas para el Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 30 de octubre de 1985.

Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K.MD., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipourb, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*. 28(1). 516–571.

Martínez, E. (1997). Evaluación y Decisión Multicriterio: Una Perspectiva. Recuperado de: http://www.academia.edu/8916746/EVALUACION_Y_DECISION_MULTICRITERIO_UNA_PERSPECTIVA

Méndez, M. 2003. *Análisis Multicriterio Discreto para la Formulación y Priorización de Proyectos de Infraestructura Educativa*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

MIDESO (2016). Metodología Formulación y Evaluación Proyectos de Riego. Santiago, Chile. Recuperado de: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/download/obras-de-riego/?wpdmdl=2214>

MIDESO (2018a). Nuestra Misión. Recuperado de: <http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/mision> (Consultado 10 de noviembre de 2018)

MIDESO (2018b). Banco Integrado de Proyectos (BIP). Recuperado de: <https://bip.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/bip2-trabajo/app/login.jsessionid=FD20496EB4BDE2BB975D3E782595080F> (Consultado 10 de noviembre de 2018)

MOP (2012). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025. Recuperado de: https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf

Okada, H., Styles, S.W., & Grismer, M.E. (2008a). Application of the Analytic Hierarchy Process to Irrigation Project Improvement. Part I. Impacts of Irrigation Project Internal Processes on Crop Yields. *Agricultural Water Management*. 95(3). 199–204.

Okada, H., Styles, S.W., & Grismer, M.E. (2008b). Application of the Analytic Hierarchy Process to Irrigation Project Improvement. Part II. How Professionals Evaluate an Irrigation Project for its Improvement. *Agricultural Water Management*. 95(3). 205–210.

Oyarce, C. 2005. *Análisis Multicriterio Discreto para la Evaluación de alternativas de Solución a Proyectos Viales Urbanos*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Pacheco, J., y Contreras, E. (2008). Manual Metodológico de Evaluación Multicriterio para Políticas y Planes. Serie Manuales CEPAL N°58. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/35914-manual-metodologico-evaluacion-multicriterio-programas-proyectos>

Raju, K.S. (2009). Multicriterion Decision Making: A Brief Overview, *Ish Journal of Hydraulic Engineering*. 15(1). 129-150.

Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill. Pittsburgh, U.S.A.

Saaty, T. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications. Universidad de Pittsburgh. Pittsburgh, U.S.A.

Sandoval, J. (2003). El Riego en Chile. *Ensayo Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)*. Recuperado de: http://www.doh.gov.cl/publicacionesyestudios/Documents/historia_del_riego_en_chile.pdf

Tiwari, D.N., Loof, R., & Paudyal, G.N. (1999). Environmental - Economic Decision-making in Lowland Irrigated Agriculture Using Multi-criteria Analysis Techniques. *Agricultural Systems*. 60(2). 99-112.

Torres, P. (2002). *Aplicación de una Metodología Multicriterio para la Priorización de Proyectos de Infraestructura Hidráulica*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Hurtado, T., Bruno, G. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. Lima, Perú.

12 ANEXO A: RESULTADOS COMPARACIÓN POR PARES PARTICIPANTES

Participantes:

- 1: Consultor 1
- 2: Dirigente OUA 1
- 3: Dirigente OUA 2
- 4: Consultor 2
- 5: Funcionario Público 1
- 6: Funcionario Público 2
- 7: Dirigente OUA 3
- 8: Consultor 3

Resultados Comparación Criterios

0 Estratégicos

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Económico	47%	37%	38%	65%	53%	72%	65%	13%
Complejidad del Proyecto	19%	12%	12%	5%	10%	9%	4%	16%
Desarrollo	12%	40%	43%	12%	22%	10%	9%	35%
Ambiental	22%	11%	7%	18%	16%	10%	21%	35%

RC:	6%	0%	2%	8%	2%	0%	8%	1%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Económico	Complejidad del Proyecto	2	3	3	7	5	9	9	1
	Desarrollo	5	1	1	6	3	7	7	1/3
	Ambiental	2	3	5	6	3	7	5	1/3
Complejidad del Proyecto	Desarrollo	2	1/3	1/5	1/3	1/2	1	1/3	1/2
	Ambiental	1/2	1	2	1/4	1/2	1	1/6	1/2
Desarrollo	Ambiental	1	4	5	1/2	2	1	1/3	1

1 Económico

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de Predios/Aporte Estatal	9%	60%	60%	43%	64%	7%	43%	66%
VAN/Volumen de agua	45%	20%	20%	43%	26%	65%	43%	16%
VAN/Aporte del Estado	45%	20%	20%	14%	10%	28%	14%	19%

RC:	0%	0%	0%	0%	4%	7%	0%	3%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Número de Predios/Aporte Estatal	VAN/Volumen de agua	1/5	3	3	1	3	1/7	1	5
	VAN/Aporte del Estado	1/5	3	3	3	5	1/5	3	3
VAN/Volumen de agua	VAN/Aporte del Estado	1	1	1	3	3	3	3	1

2 Complejidad

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Aspectos Técnicos	50%	33%	43%	60%	14%	54%	43%	14%
Aspectos Legales	25%	33%	43%	20%	43%	16%	14%	53%
Aspectos Sociales y Políticos	25%	33%	14%	20%	43%	30%	43%	33%

RC:	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	6%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Aspectos Técnicos	Aspectos Legales	2	1	1	3	1/3	3	3	1/3
	Aspectos Sociales y Políticos	2	1	3	3	1/3	2	1	1/3
Aspectos Legales	Aspectos Sociales y Políticos	1	1	3	1	1	1/2	1/3	2

2.1 Aspectos Técnicos

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Complejidad Técnica	17%	83%	83%	67%	75%	75%	90%	50%
Innovación Tecnológica	83%	17%	17%	33%	25%	25%	10%	50%
RC:	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Complejidad Técnica	Innovación Tecnológica	1/5	5	5	2	3	3	9	1

2.1.1 Complejidad Técnica

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	83%	75%	75%	50%	50%	75%	50%	83%
Operación	17%	25%	25%	50%	50%	25%	50%	17%
RC:	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	Operación	5	3	3	1	1	3	1	5

2.2 Aspectos Legales

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Expropiaciones	33%	25%	50%	50%	25%	50%	50%	17%
Derechos de Aprovechamiento de Aguas	67%	75%	50%	50%	75%	50%	50%	83%
RC:	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Expropiaciones	Derechos de Aprovechamiento de Aguas	1/2	1/3	1	1	1/3	1	1	1/5

2.3 Aspectos Sociales y Políticos

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Validación Social	60%	60%	48%	73%	60%	64%	67%	65%
Nivel Organizacional	20%	20%	41%	19%	20%	10%	24%	7%
Implicancias Políticas	20%	20%	11%	8%	20%	26%	9%	28%

RC:	0%	0%	3%	7%	0%	4%	1%	7%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Validación Social	Nivel Organizacional	3	3	1	5	3	5	3	7
	Implicancias Políticas	3	3	5	7	3	3	7	3
Nivel Organizacional	Implicancias Políticas	1	1	3	3	1	1/3	3	1/5

3 Desarrollo

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Otros Sectores	20%	19%	43%	22%	25%	20%	9%	9%
Empleo	40%	73%	43%	46%	50%	20%	45%	45%
Pobreza	40%	8%	14%	32%	25%	60%	45%	45%

RC:	0%	7%	0%	14%	0%	0%	0%	0%
-----	----	----	----	-----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Otros Sectores	Empleo	1/2	1/5	1	1/3	1/2	1	1/5	1/5
	Pobreza	1/2	3	3	1	1	1/3	1/5	1/5
Empleo	Pobreza	1	7	3	1	2	1/3	1	1

3.1 Otros Sectores

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Generación Hidroeléctrica	20%	25%	48%	50%	50%	30%	17%	7%
Turismo	20%	18%	14%	13%	18%	10%	17%	59%
Agua Potable	52%	52%	31%	31%	26%	30%	50%	30%
Minería	8%	5%	6%	6%	6%	30%	17%	4%

RC:	2%	5%	2%	4%	8%	0%	0%	8%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Generación Hidroeléctrica	Turismo	1	2	3	5	3	3	1	1/9
	Agua Potable	1/3	1/3	2	2	3	1	1/3	1/7
	Minería	3	5	7	5	5	1	1	3
Turismo	Agua Potable	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	3
	Minería	3	5	3	3	5	1/3	1	9
Agua Potable	Minería	5	7	5	5	5	1	3	7

3.2 Empleo

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	16%	15%	29%	47%	20%	33%	14%	7%
Operación	19%	7%	5%	7%	20%	14%	14%	28%
Agrícola y Agroindustrial	66%	79%	66%	47%	60%	53%	71%	65%

RC:	3%	8%	8%	0%	0%	6%	0%	7%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	Operación	1	3	7	7	1	3	1	1/5
	Agrícola y Agroindustrial	1/5	1/7	1/3	1	1/3	1/2	1/5	1/7
Operación	Agrícola y Agroindustrial	1/3	1/9	1/9	1/7	1/3	1/3	1/5	1/3

4 Ambiental

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Efectos Directos	83%	88%	88%	75%	50%	83%	50%	75%
Efectos Indirectos	17%	13%	13%	25%	50%	17%	50%	25%

RC:	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Efectos Directos	Efectos Indirectos	5	7	7	3	1	5	1	3

4.1 Efectos Directos

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Medio Físico	20%	65%	60%	64%	33%	33%	33%	10%
Medio Biótico	40%	12%	20%	10%	33%	33%	33%	67%
Medio Social- Construido	40%	23%	20%	26%	33%	33%	33%	23%

RC:	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	9%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Medio Físico	Medio Biótico	1/2	5	3	5	1	1	1	1/5
	Medio Social- Construido	1/2	3	3	3	1	1	1	1/3
Medio Biótico	Medio Social- Construido	1	1/2	1	1/3	1	1	1	4

4.1.1 Medio Físico

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	83%	83%	75%	50%	50%	75%	67%	83%
Operación	17%	17%	25%	50%	50%	25%	33%	17%

RC:	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	Operación	5	5	3	1	1	3	2	5

4.1.2 Medio Biótico

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	83%	83%	67%	50%	50%	75%	67%	83%
Operación	17%	17%	33%	50%	50%	25%	33%	17%

RC:	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	Operación	5	5	2	1	1	3	2	5

4.1.3 Medio Social-Construido

Criterio	Pesos Criterios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	83%	83%	67%	50%	50%	75%	67%	83%
Operación	17%	17%	33%	50%	50%	25%	33%	17%

RC:	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Criterio A	Criterio B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción	Operación	5	5	2	1	1	3	2	5

Resultados Comparación Niveles de Intensidad

2.1.1.1. Complejidad Técnica - Construcción

Intensidad	Pesos Intensidades							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	10%	10%	7%	6%	5%	12%	14%	5%
Media	26%	26%	28%	35%	29%	32%	43%	29%
Baja	64%	64%	65%	60%	66%	56%	43%	66%

RC:	4%	4%	7%	2%	8%	2%	0%	8%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Intensidad A	Intensidad B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	Media	1/3	1/3	1/5	1/7	1/7	1/3	1/3	1/7
	Baja	1/5	1/5	1/7	1/9	1/9	1/4	1/3	1/9
Media	Baja	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1/3

2.1.1.2. Complejidad Técnica - Operación

Intensidad	Pesos Intensidades							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	10%	10%	7%	5%	5%	12%	10%	5%
Media	26%	26%	28%	47%	47%	32%	26%	29%
Baja	64%	64%	65%	47%	47%	56%	64%	66%

RC:	4%	4%	7%	0%	0%	2%	4%	8%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Intensidad A	Intensidad B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	Media	1/3	1/3	1/5	1/9	1/9	1/3	1/3	1/7
	Baja	1/5	1/5	1/7	1/9	1/9	1/4	1/5	1/9
Media	Baja	1/3	1/3	1/3	1	1	1/2	1/3	1/3

2.1.2. Innovación Tecnológica

Intensidad	Pesos Intensidades							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	64%	61%	54%	64%	64%	61%	33%	61%
Media	26%	27%	30%	26%	26%	27%	33%	27%
Baja	10%	12%	16%	10%	10%	12%	33%	12%

RC:	4%	8%	1%	4%	4%	8%	0%	8%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Intensidad A	Intensidad B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	Media	3	3	2	3	3	3	1	3
	Baja	5	4	3	5	5	4	1	4
Media	Baja	3	3	2	3	3	3	1	3

2.2.1. Expropiaciones

Intensidad	Pesos Intensidades							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	7%	6%	7%	5%	8%	6%	5%	14%
Media	28%	27%	47%	47%	33%	35%	47%	43%
Baja	65%	67%	47%	47%	59%	60%	47%	43%

RC:	7%	3%	0%	0%	1%	2%	0%	0%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Intensidad A	Intensidad B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	Media	1/5	1/5	1/7	1/9	1/5	1/7	1/9	1/3
	Baja	1/7	1/9	1/7	1/9	1/7	1/9	1/9	1/3
Media	Baja	1/3	1/3	1	1	1/2	1/2	1	1

2.2.2. Derechos de Aprovechamiento de Aguas

Intensidad	Pesos Intensidades							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	8%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Media	33%	23%	47%	47%	47%	47%	47%	47%
Baja	59%	72%	47%	47%	47%	47%	47%	47%

RC:	1%	22%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-----	----	-----	----	----	----	----	----	----

Intensidad A	Intensidad B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	Media	1/5	1/7	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9
	Baja	1/7	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9
Media	Baja	1/2	1/5	1	1	1	1	1	1

2.3.1. Validación Social

Intensidad	Pesos Intensidades							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	75%	79%	82%	75%	76%	79%	82%	74%
Media	18%	15%	9%	18%	16%	15%	9%	17%
Baja	7%	7%	9%	7%	8%	7%	9%	9%

RC:	3%	8%	0%	3%	0%	8%	0%	1%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Intensidad A	Intensidad B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	Media	5	7	9	5	5	7	9	5
	Baja	9	9	9	9	9	9	9	7
Media	Baja	3	3	1	3	2	3	1	2

2.3.2. Nivel Organizacional

Intensidad	Pesos Intensidades							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	65%	64%	64%	64%	67%	79%	78%	73%
Media	28%	26%	26%	26%	24%	15%	13%	19%
Baja	7%	10%	10%	10%	9%	7%	8%	8%

RC:	7%	4%	4%	4%	1%	8%	4%	7%
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Intensidad A	Intensidad B	Comparación entre Pares (Importancia de A sobre B)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Alta	Media	3	3	3	3	3	7	7	5
	Baja	7	5	5	5	7	9	8	7
Media	Baja	5	3	3	3	3	3	2	3